

ISSN 2073-7432

**МИР ТРАНСПОРТА
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4-2 (79) 2022

Главный редактор:
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.

Заместитель главного редактора:
Васильева В.В. к.т.н., доц.

Редакция:
Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бажинов А.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бондаренко Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия)
Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Жаковская Л. д-р наук, проф. (Польша)
Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Мартюченко И.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Митусов А.А. д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
Нордн В.В. к.т.н., доц. (Россия)
Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва)
Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия)
Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия)
Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия)
Сиваченко Л.А. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)
Юнгмейстер Д.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Шарата А. д-р наук, проф. (Польша)

Ответственный за выпуск: **Акимочкина И.В.**

Адрес редакции:
302030, Россия, Орловская обл., г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел. +7 905 856 6556
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>
E-mail: srmostu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по
надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).
Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.

Подписной индекс: **16376**
по объединенному каталогу «Пресса России»
на сайтах www.ppressa-rf.ru и www.akc.ru

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,
2022

Содержание

Материалы VIII международной научно-практической конференции
«Информационные технологии и инновации на транспорте»

Эксплуатация, ремонт, восстановление

К.К. Панайотов Аспекты определения вероятностных параметров надежности автомобилей в реальных условиях эксплуатации.....	3
А.В. Пузаков Бортовой мониторинг технического состояния стартерных аккумуляторных батарей.....	9
Н.А. Загородний, Ю.А. Заяц, А.С. Семькина, А.Н. Новиков Влияние индикаторов технического состояния грузового автомобильного транспорта на основные эксплуатационные показатели его работы.....	16
А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, Н.В. Титов Направления совершенствования электродуговой металлизации.....	24
С.А. Суханов, А.Н. Новиков, Х.М. Тахтамьшев К вопросу обоснования методики испытаний по ускоренной приработке отремонтированных двигателей внутреннего сгорания с использованием диагностических средств.....	31

Технологические машины

А.Ю. Родичев, И.В. Родичева, М.А. Токмакова, К.В. Васильев Диагностики состояния подшипников скольжения жидкостного трения в режиме реального времени и способ её осуществления.....	39
---	----

Безопасность движения и автомобильные перевозки

И.Е. Агуреев, А.В. Ахромешин К вопросу разработки модели транспортной системы индивидуальных перемещений с управлением.....	49
А.А. Вальковская, А.В. Куликов Моделирование транспортного процесса в логистической системе обеспечения потребителей крупного города продукцией (клей обойный) химического предприятия.....	58
Н.М. Каримов, А.Ю. Михайлов Обоснование модели оценки пропускной способности городских трехполосных кольцевых пересечений.....	68
А.Г. Локтионова, А.Г. Шевцова Оценка технических параметров автомобилей в транспортном потоке.....	75
Д.В. Капский, С.В. Скирковский, Л.А. Лосин Применение математических методов для решения задач транспортного планирования.....	81
А.Ю. Артемов, С.В. Дорохин Разработка алгоритма оценки эффективности координированного управления.....	88
В.Н. Игин Формирование технических требований к интеллектуальной системе локомотива.....	95

Вопросы экологии

А.В. Корочкин Использование грунтов, укрепленных вяжущими, в конструкции дорожных одежд.....	101
М.Ю. Елагин, Р.Н. Хмелев Прогнозирование изменения экологических показателей дизельного двигателя.....	107
М.Ю. Карелина, М.О. Воронцова Разработка методики улучшения экологической безопасности ТС, эксплуатирующихся в аэропорту.....	113

Образование и кадры

А.В. Кулев, Е.М. Минаева Онлайн-тестирование студентов в рамках пропаганды безопасности дорожного движения.....	119
В.В. Боровик, А.Ю. Трубин, А.В. Боровик, А.В. Боровик, Д.М. Лепехина Оценка уровня содержания автомобильных дорог на основе цифрового моделирования ...	126

Экономика и управление

В.В. Епифанов, С.И. Гусев, Е.Н. Никитина Проблемы функционирования беспилотных автотранспортных средств.....	132
---	-----

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по научным специальностям: 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте, 2.9.4. Управление процессами перевозок, 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы, 2.9.9. Логистические транспортные системы

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 4-2(79) 2022

World of transport and technological machines

Founder - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Orel State University named after I.S. Turgenev»
(Orel State University)

<p><i>Editor-in-Chief</i> A.N. Novikov <i>Doc. Eng., Prof.</i></p> <p><i>Associate Editor</i> V.V. Vasileva <i>Can. Eng.</i></p>	<h2>Contents</h2> <p><i>Operation, Repair, Restoration</i></p> <p>K.K. Panayotov <i>Aspects of determining probabilistic parameters of car reliability in real operating conditions</i> 3</p> <p>A.V. Puzakov <i>On-board monitoring of the technical condition of starter batteries</i> 9</p> <p>N.A. Zagorodny, Yu.A. Zayats, A.S. Semykina, A.N. Novikov <i>Impact of indicators of technical condition of truck transport on the main operational indicators of its operation</i> 16</p> <p>A.V. Kolomeichenko, V.N. Logachev, N.V. Titov <i>Directions of improvement of electric arc metallization</i> 24</p> <p>S.A. Sukhanov, A.N. Novikov, H.M. Takhtamyshev <i>To the question of substantiation of the test methodology for the accelerated breaking-in of repaired internal combustion engines using diagnostic tools</i> 31</p> <p><i>Technological machines</i></p> <p>A.Yu. Rodichev, I.V. Rodicheva, M.A. Tokmakova, K.V. Vasiliev <i>Diagnostics of the condition of plain bearings of liquid friction in real time and a method for its implementation</i> 39</p> <p><i>Road safety and road transport</i></p> <p>I.E. Agureev, A.V. Akhromeshin <i>On the issue of developing a model of a transport system of individual movements with management</i> 49</p> <p>A.A. Valkovskaya, A.V. Kulikov <i>Modeling of the transport process in the logistics system of providing consumers of a large city with products (wallpaper glue) of a chemical enterprise</i> 58</p> <p>N.M. Karimov, A.Yu. Mikhaylov <i>Validation of the capacity estimation model for urban three-lane traffic circles</i> 68</p> <p>A.G. Loktionova, A.G. Shevtsova <i>Estimation of technical parameters of cars in the traffic flow</i> 75</p> <p>D.V. Kapski, S.V. Skirkouski, I.A. Losin <i>Application of mathematical methods for solving transport planning problems</i> 81</p> <p>A.Yu. Artemov, S.V. Dorokhin <i>Development of an algorithm for assessing the efficiency of coordinated management</i> 88</p> <p>V.N. Igin <i>Formation of technical requirements for the intelligent locomotive system</i> 95</p> <p><i>Ecological Problems</i></p> <p>A.V. Korochkin <i>The use of binder reinforced soils in road pavement design</i> 101</p> <p>M.Y. Elagin, R.N. Khmelev <i>Forecasting changes in the environmental performance of a diesel engine</i> 107</p> <p>M.Yu. Karelina, M.O. Vorontsova <i>Development of a method for improving the environmental safety of vehicle operating at the airport</i> 113</p> <p><i>Education and Personnel</i></p> <p>A.V. Kulev, E.M. Minaeva <i>Online testing of students as part of the promotion of road safety</i> 119</p> <p>V.V. Borovik, A.Yu. Trubin, A.V. Borovik, A.V. Borovik, D.M. Lepekhina <i>Assessment of the level of maintenance of roads on the basis of digital modeling</i> 126</p> <p><i>Economics and Management</i></p> <p>V.V. Epifanov, S.I. Gusev, E.N. Nikitina <i>Problems of functioning of unmanned vehicles</i> 132</p>
<p><i>Editorial Board:</i></p> <p>E.V. Ageev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>I.E. Agureev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>A.V. Bazhinov <i>Doc. Eng., Prof. (Ukraine)</i></p> <p>V.N. Baskov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>E.V. Bondarenko <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>V.M. Vlasov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>S.N. Glagolev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>M. Demic <i>Doc. Eng., Prof. (Serbia)</i></p> <p>A.S. Denisov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>L. Żakowska <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p> <p>S.V. Zhankaziev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>V.V. Zyryanov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>I.G. Martychenko <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>A.A. Mitusov <i>Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan)</i></p> <p>V.V. Nordin <i>Can. Eng. (Russia)</i></p> <p>O. Prentkovskis <i>Doc. Eng., Prof. (Lithuania)</i></p> <p>P. Pribyl <i>Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)</i></p> <p>A.E. Pushkarev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>A.N. Rementsov <i>Doc. Edc., Prof. (Russia)</i></p> <p>V.I. Sarbaev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>L.A. Sivachenko <i>Doc. Eng., Prof. (Belarus)</i></p> <p>D.A. Yungmeister <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i></p> <p>A. Szarata <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p>	
<p><i>Person in charge for publication:</i> I.V. Akimochkina</p>	
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p>	
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p>	
<p>Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rt.ru и www.akc/ru</p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2022</p>	

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science, for the degree of doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission (VAK) in the scientific specialties: 2.9.1. Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport, 2.9.4. Management of transportation processes, 2.9.5. Operation of motor transport, 2.9.8. Intelligent transport systems, 2.9.9. Logistic transport systems

Научная статья
УДК 681.3.01
doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-3-8

К.К. ПАНАЙОТОВ

АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. Приведены результаты представления и формирования функции технического состояния автомобиля, с учетом условий вероятностного характера изменения параметров диагностики при эксплуатации автомобиля в реальных условиях. Приведены данные исследования потока отказов парка подвижного состава пассажирского автопредприятия.

Ключевые слова: период межремонтного обслуживания, диагностические параметры, общая надежность, вероятность безотказной работы, функция технического состояния, интеллектуальная система технического обслуживания

Введение

При разработке методик определения периодов технического и межремонтного обслуживания автомобилей, большое внимание должно уделяться определению параметров надежности автомобиля, исходя из реальных условий эксплуатации. С учетом состояния дорожного покрытия, качества горюче-смазочных материалов, технических жидкостей и запасных частей, отсутствием оперативного диагностического контроля состояния узлов и агрегатов автомобиля, необходимо рассматривать поток отказов как сугубо вероятностную величину. Это дает возможность более точно определять техническое состояние автотранспортного средства, как совокупность эксплуатационных состояний, характеризующихся показателями надежности.

Вопросы определения технических состояний автомобилей и параметров надежности систем автомобиля описаны в работах В.Н. Баскова [1], В.П. Захарова [2], В.М. Пестрикова [3], Д.С. Быкова [4]. Повышение уровня надежности систем и агрегатов и автомобиля в целом, во время эксплуатации обеспечивается проведением технического обслуживания и ремонта, правильностью и рациональностью их установления и своевременностью проведения [5-8]. Согласно существующих исследований большинство автомобилей на автохозяйствах обслуживаются исходя из плано-предупредительной стратегии технического обслуживания и ремонта, которая в полной мере не обеспечивает эксплуатационную надежность их систем и агрегатов [9]. Для достижения достоверности функции технического состояния необходимо формировать и проводить обработку полученной диагностической информации с последующей оценкой показателей надежности для определения перечня работ по техническому обслуживанию и моментов их проведения. Это дает возможность повысить надежность и эффективность использования автомобилей в тяжелых условиях эксплуатации и реализовать усовершенствованную стратегию технического обслуживания и ремонта.

Материал и методы

Существующие методы прогнозирования ремонтов и текущего обслуживания транспортных средств на маршрутах, в том числе и органолептические методы и методы объективного контроля, являются малоэффективными [10], так не способны определить сроки предупредительных ремонтов и своевременной замены узлов и агрегатов, срок службы которых сокращается в разы в реальных условиях эксплуатации. Это не дает возможность повышать надежность узлов, агрегатов и систем автомобиля в процессе эксплуатации.

Управление техническим состоянием автомобиля заключается в обеспечении высокого или оптимального уровня работоспособности и исправности машины при изготовлении, восстановлении, ремонте и техническом обслуживании, а также создание условий, позволяющих уменьшить частоту отказов при сокращении материальных и денежных затрат [12, 17].

В данном случае необходимым условием для обеспечения управления техническим состоянием автомобилей является получение достоверных и своевременных данных, каса-

тельно реальных параметров состояния транспортных средств. Но, как показывает практика эксплуатации измерение параметров состояния автомобилей происходит периодически, в соответствии с регламентными работами или в момент исследования. Также наблюдения показывают, что привязка к любым временным интервалам понижает точность получаемых данных, появляются погрешности. Интервальные исследования исключают своевременность получения данных, что делает невозможным эффективное управление техническим состоянием автомобильных транспортных средств.

В управлении техническим состоянием машины можно выделить цель, управляемую систему, управляющие показатели и воздействия, целевые функции управления, динамический характер и причинную связь элементов системы, обратную связь. При эксплуатации техники цель управления заключается в сохранении высокой или оптимальной надежности машины как управляемой системы. Обратная связь в процессе управления техническим состоянием машины служит для получения информации о фактических показателях надежности, эффективности, экологичности работы машины после управления, проверки результатов управления сравнением ожидаемых оптимальных значений показателей машин с фактическими показателями, корректировки управляющих показателей [13, 16].

Теория

В идеальном случае функция технического состояния должна включать совокупность всех эксплуатационных состояний, что обеспечивает нормальную эксплуатацию автомобиля и которые контролируются различными диагностическими параметрами и показателями надежности [12]. Диагностические параметры, имея свои начальные и предельные значения, позволяют перевести их в вероятностную систему отсчета. При этом переходы между техническими состояниями автомобиля формируются на основе вероятностного подхода. Свойство динамичности функции технического состояния автомобиля описывается системой дифференциальных уравнений, которая в полной мере формирует реальную картину эксплуатации систем и агрегатов и автомобиля в целом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_{OB}}{dL} = -\lambda_k P_{OB} + \mu_k P_P; \\ \frac{dP_P}{dL} = -\mu_k P_P + \lambda_i P_{KP}; \\ \frac{dP_{TO}}{dL} = -\mu_j P_{TO} + \lambda_j P_{KP}; \\ \frac{dP_{KP}}{dL} = \lambda_k P_{OB} + \mu_j P_{TO} + (-\mu_j - \lambda_i - \lambda_j) P_{KP} + \lambda_i P_{HЭ}; \\ \frac{dP_{HЭ}}{dL} = \mu_i P_{KP} - \lambda_i P_{HЭ}; \end{array} \right. \quad (1)$$

где $P_{HЭ}$ – вероятность нормальной эксплуатации;

P_K – вероятность контроля;

P_P – вероятность минимального регулирования;

P_{TO} – вероятность технического обслуживания;

P_{OB} – вероятность обкатки, интенсивность перехода между состояниями: λ_i – нормальная эксплуатация-контроль и минимальное регулирование, λ_j – контроль и минимальное регулирование - ТО, λ_k – обкатка-контроль и минимальное регулирование;

μ_i – контроль и минимальное регулирование – нормальная эксплуатация;

μ_j – ТО-контроль и минимальное регулирование;

μ_k – ремонт-обкатывание.

При этом в предлагаемой стратегии ТО автомобиля состояние контроля и регулирования характеризуется двумя составляющими: вероятностной статистической и вероятностной фактической. Последняя включает в себя фактическое значение диагностического параметра. При таких условиях математическая интерпретация состояния контроля и минимального регулирования будет иметь вид:

$$P_{KP} = P_{SKP} * P_{Di},$$

где P_{SKP} – статистическая составляющая;

$P_{Di} = \exp((D_{гр} - Di)/D_{гр})L$ - фактическая составляющая вероятностей состояния;
 $D_{гр}, Di$ – предельное и прогнозируемое или измеряемое значение диагностического параметра.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1), использован метод Эйлера [13], в котором общее решение подается через частичные решения:

$$\begin{cases} P_{ОБ} = P_{ОБ} \exp(k_c, L); \\ P_P = P_{ОР} \exp(k_c, L); \\ P_{ТО} = P_{ОТО} \exp(k_c, L); \\ P_{КР} = P_{ОКР} \exp(k_c, L); \\ P_{НЭ} = P_{ОНЭ} \exp(k_c, L), \end{cases} \quad (2)$$

где $P_{ОБ}, P_{ОР}, P_{ОТО}, P_{ОНЭ}$ – вероятности технических состояний автомобиля, а именно, обкатка, ремонт, ТО, нормальная эксплуатация в начальный момент пробега ($L = 0$);

k_c – постоянная характеризующая интенсивность изменения состояний;

$P_{ОКР} = P_1, \dots, P_i, \dots, P_N$ – вероятность состояния контроля и регулирования $P_i = (D_{гр} - Di)/D_{гр}$.

В существующих методиках и расчетах [1-7] принято считать величину потока отказов λ постоянной величиной, для определенных систем, агрегатов или узлов автомобиля. В реальных условиях эксплуатации необходимо рассматривать параметр потока отказов λ , как функцию от времени $\lambda(t)$. Это дает возможность учитывать множество ситуаций и корректировать периоды технического обслуживания и ремонтов для каждой единицы парка подвижного состава в реальных условиях на маршрутах движения [18].

Формирование функции технического состояния автомобиля, с учетом ее условий эксплуатации является одной из ключевых и сложных теоретических задач эксплуатационной надежности [11]. Сложность заключается в том, что все контролируемые и неконтролируемые сопряжения деталей систем и агрегатов автомобиля существенно влияют на их надежность [12, 20]. Диагностирование этих систем и агрегатов автомобилей характеризуется неопределенностью их технического состояния в процессе эксплуатации, а его изменение возможно контролировать диагностическими параметрами. Контроль каждого параметра снижает неопределенность технического состояния автомобиля. В свою очередь, диагностируемые параметры должны формировать максимум информации о техническом состоянии объекта и адекватно отражать реальное состояние с учетом вероятностных характеристик его отказов при эксплуатации.

Задача выбора контролируемых параметров для определения технического состояния систем и агрегатов автомобиля формулируется следующим образом: для выявленного перечня узлов и агрегатов автомобиля, которые характеризуются конечным множеством контролируемых диагностических параметров и показателей надежности, необходимо обосновать некоторые группы этих объектов, имеющие наибольшую информативность. Критерий информативности дает возможность выбора необходимого количества диагностических параметров на основе внесения их максимальной диагностической информативности в техническое состояние. Критерий относительной чувствительности диагностических параметров используется при исследовании процессов изменения технического состояния ТМ. Основным его преимуществом является безразмерность и отображение фактических относительных изменений диагностических параметров относительно пробега или показателя надежности систем и агрегатов ТМ. Для сведения диагностических параметров к одной интерпретации, функцию технического состояния автомобиля можно представить в виде универсального графа состояний.

Результаты и обсуждение

Для получения достоверной информации о всех ресурсоопределяющих агрегатов и систем автомобиля, необходимо использовать подходы основанные на принципах работы интеллектуальных систем. Применяемая компьютерная диагностика, бортовая система контроля дают периодические данные о наличии так называемых «ошибок». Окончательное принятие решения о необходимом виде и объеме технического обслуживания и ремонта, его

своевременности принимается интуитивно инженерно-техническими работниками, что может быть не объективным.

Значительный поток информации о техническом состоянии автомобиля приходится на органолептические методы, что в свою очередь снижает шанс получить достоверную информацию о основных системах автомобиля. Бортовая система современного автомобиля не позволяет получить полноценные данные от всех работающих узлов и агрегатов. Это проблема решается увеличением количества датчиков в критически важных узлах, что позволит улучшить объективный контроль.

Частота отказов и выходов из строя узлов и агрегатов является слабо прогнозируемой величиной и не зависит от фактического пробега транспортного средства. В условиях реальной эксплуатации могут превалировать внезапные поломки над постепенными, вызванными процессами изнашивания и усталостного разрушения [14, 15, 19].

Для реализации функции технического состояния автомобилей был проанализирован поток отказов парка городских пассажирских автобусов (рис. 1).

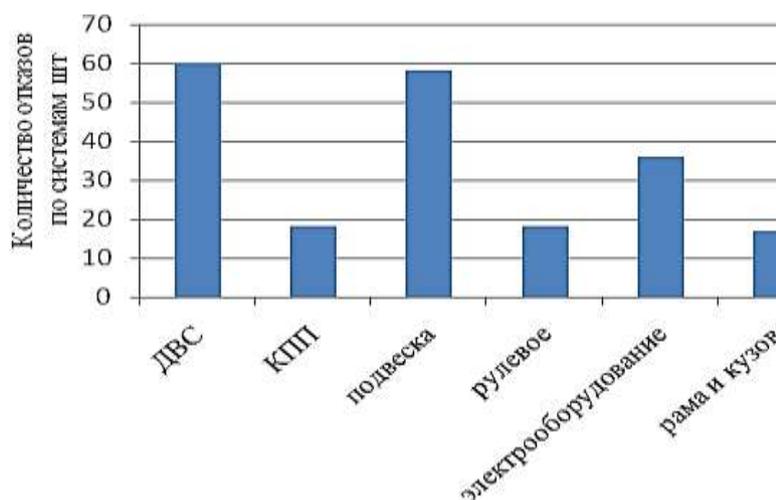


Рисунок 1 – Анализ потока отказов по всему исследуемому автопарку

В реальной ситуации АТП вынуждено использовать дизельное топливо низкого качества, что приводит к выходу из строя топливных форсунок, датчиков управления двигателем, топливных насосов высокого давления (ТНВД) и других элементов топливной системы, что приводит к выходу из строя ДВС (60 поломок за исследуемый период).

Второй по частоте появления являлась поломка подвески – 58 случаев. Наиболее часто выходили из строя элементы и узлы передней и задней подвески автобусов, агрегаты и узлы пневмосистемы, элементы и части кузова и рамы (особенно краны управления уровня пола). Из-за низкого качества дорог наблюдается обрыв амортизаторов передней и задней подвески автобусов, обрывы кронштейнов крепления двигателя, разрушение силовых ферм заднего моста, обрыв полуосей ведущих мостов, обрыв патрубков системы охлаждения, выход из строя элементов пневмосистемы автобуса. Кроме этого наблюдались поломки электрооборудования, КПП, рулевого управления и рамы и кузова.

Учитывая данные экспериментальных исследований и системы указанных решений, при помощи программного обеспечения возможно получить значение функции состояния автомобиля, для каждой конкретной модели транспортного и условий эксплуатации.

При этом для повышения объема и достоверности и диагностической информации с помощью объективного (на основе компьютерной диагностики) контроля необходимо усовершенствовать существующую или штатную систему диагностирования автомобиля. По данным учета потока отказов систем автомобилей и сопоставления его с возможностью бортовой системы контроля, необходимо установить дополнительные датчики (датчики Холла для измерения угловых зазоров; температурные датчики для контроля перегрева узлов и агрегатов; датчики для определения диэлектрической проницаемости масел в картерах двига-

теля, КПП и мостов, и т. п.) на системы со значительным потоком отказов и недостаточной диагностируемостью.

Выводы

Предложенная информационно-логическая интерпретация функции технического состояния автомобиля с учетом вероятностного характера изменения диагностических параметров надежности, свидетельствует о возможности совершенствования управления системой технической эксплуатации автомобилей на автопредприятии. Система дифференциальных уравнений и ее решение в общем виде создают условия динамичности, поскольку цикличность решений вызывает изменение диагностических параметров. Это дает возможность получения значений функции для отдельно взятой единицы парка подвижного состава автопредприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басков В.Н. Повышение надежности автомобиля использованием рационального измерителя процесса эксплуатации: Дис. ... д-ра техн. наук / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2004. – 375 с.
2. Захаров В.П., Денисов А.С., Асоян А.Р. Изменение технического состояния основных элементов дизелей КамАЗ-Евро в процессе эксплуатации // Технологические и организационные проблемы сервиса машин и пути их решения: сб. науч. тр. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т. - 2010. - С. 16-24.
3. Пестриков В.М., Евкарпиев В.Е. Особенности диагностики современных автотранспортных средств // Техничко-технологические проблемы сервиса - Изд-во: Санкт-Петербургский государственный экономический университет. - №4(30). - 2014. - С. 14-19.
4. Быков Д.С. Моделирование потока отказов специальных автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук. – Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2006. – 165 с.
5. Опанович В.А., Карпиевич Ю.Д., Грибко Г.П. Диагностирование технического состояния автомобилей // Минск: Вестник БНТУ. - №5. – 2010. – С. 74-18.
6. Борщенко Я.А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: Дис. ... канд. техн. наук. - Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2003. - 175 с.
7. Прудовский Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач // Вестник гражданских инженеров. - СПб: СПбГАСУ. - 2015. - №2(49). - С. 154-159.
8. Gary Barnes, Peter Langworthy. The per-mile costs of operating automobiles and trucks // Minnesota Department of Transportation. - 2003. - P. 48
9. Гребенников, А.С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. - 196 с.
10. Аулин В.В., Замота О.Н. Экономическое обоснование эффективности и рентабельности использования транспортных средств на АТП // Вестник инженерной академии Украины. - №3. - 2014. - С.151-158.
11. Замота Т.Н., Аулин В.В., Лысенко С.В. Повышение эксплуатационной износостойкости деталей машин их триботехническим восстановлением и управлением процессами приработки // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2016. - Vol.18. – №4. - С. 89-96.
12. Аулин В.В., Гринькив А.В. Теоретическое обоснование метода и системы диагностирования состояния мобильной сельскохозяйственной техники // Вестник ХНТУСГ им. П. Василенко. - 2015. - №163. - С. 39-45.
13. Николайчук О.А. Методы, модели и инструментальное средство для исследования надежности и безопасности сложных технических систем: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – Иркутск, 2010. - 37 с.
14. Крупица О.В., Замота Т.Н., Панайотов К.К., Караичев А.А. Распределенная интеллектуальная система удаленной диагностики транспортных средств по каналу Wi-Fi // Современные технологии и перспективы развития наземных транспортно-технологических средств: Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции. - 2020г. – С. 63-68.
15. Замота Т.Н., Панайотов К.К., Караичев А. А. Характеристика отказов и структура диагностической информации о техническом состоянии автомобиля Nissan // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – Луганск: ЛГУ им. В. Даля. - 2020. - 100 с.
16. Волгин, В.В. Бесприборная диагностика неисправностей легковых автомобилей – СПб: Питер, 2011. – 169 с.
17. Новиков, А.Н. Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами – Орел: ОрелГАУ, 2001. – 233 с.
18. Федотов, А.И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» – Иркутск: Иркутский гос. технический ун-т., 2012. – 476 с.
19. Громаковский, А.А. Диагностика неисправностей автомобиля в понятных схемах – СПб: Питер, 2009. – 196 с.
20. Набоких, А.Н. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов – М.: Форум, 2015. – 210 с.

Панайотов Константин Константинович

Луганский государственный университет имени Владимира Даля

Адрес: 91034, Россия, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

К.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и транспорта

K.K. PANAYOTOV

ASPECTS OF DETERMINING PROBABILISTIC PARAMETERS OF CAR RELIABILITY IN REAL OPERATING CONDITIONS

Abstract. *The article presents the results of the presentation and formation of the function of the technical condition of the car, taking into account the conditions of the probabilistic nature of the change in diagnostic parameters during the operation of the car in real conditions. The data of the study of the failure rate of the rolling stock fleet of a passenger automobile enterprise are presented.*

Keywords: *the period of inter-repair maintenance, diagnostic parameters, overall reliability, probability of trouble-free operation, technical condition function, intelligent maintenance system*

BIBLIOGRAPHY

1. Baskov V.N. Povyshenie nadezhnosti avtomobilya ispol'zovaniem ratsional'nogo izmeritelya protsessa eksploatacii: Dis. ... d-ra tekhn. nauk / Saratovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. N.I. Vavilova, 2004. - 375 s.
2. Zakharov V.P., Denisov A.S., Asoyan A.R. Izmenenie tekhnicheskogo sostoyaniya osnovnykh elementov dizeley KamAZ-Evro v protsesse eksploatacii // Tekhnologicheskie i organizatsionnye problemy servisa mashin i puti ikh resheniya: sb. nauch. tr. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. - 2010. - S. 16-24.
3. Pestrikov V.M., Evkarpiev V.E. Osobennosti diagnostiki sovremennykh avtotransportnykh sredstv // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa - Izd-vo: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy ekonomicheskii universitet. - №4(30). - 2014. - S. 14-19.
4. Bykov D.S. Modelirovanie potoka otkazov spetsial'nykh avtomobiley s uchetom sezonnoy variatsii intensivnosti i usloviy eksploatacii: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Tyumenskiy gosudarstvennyy neftegazovyy universitet, 2006. - 165 s.
5. Opanovich V.A., Karpievich YU.D., Gribko G.P. Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley avtomobiley // Minsk: Vestnik BNTU. - №5. - 2010. - S. 74-18.
6. Borshchenko YA.A. Razrabotka metoda diagnostirovaniya avtomobil'nykh dizeley po neravnomernosti vrashcheniya kolenchatogo vala: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Tyumenskiy gosudarstvennyy neftegazovyy universitet, 2003. - 175 c.
7. Prudovskiy B.D. Metody resheniya mnogokriterial'nykh avtotransportnykh zadach // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - SPb: SPbGASU. - 2015. - №2(49). - S. 154-159.
8. Gary Barnes, Peter Langworthy. The permile costs of operating automobiles and trucks // Minnesota Department of Transportation. - 2003. - P. 48
9. Grebennikov, A.S. Diagnostirovanie avtotraktornykh dvigateley dinamicheskim metodom - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2002. - 196 s.
10. Aulin V.V., Zamota O.N. Ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti i rentabel'nosti ispol'zovaniya transportnykh sredstv na ATP // Vestnik inzhenernoy akademii Ukraini. - №3. - 2014. - S.151-158.
11. Zamota T.N., Aulin V.V., Lysenko S.V. Povyshenie eksploatatsionnoy iznosostoykosti detaley mashin ikh tribotekhnicheskim vosstanovleniem i upravleniem protsessami prirabotki // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. - 2016. - Vol.18. - №4. - S. 89-96.
12. Aulin V.V., Grin'kiv A.V. Teoreticheskoe obosnovanie metoda i sistemy diagnostirovaniya sostoyaniya mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki // Vestnik HNTUSG im. P. Vasilenko. - 2015. - №163. - S. 39-45.
13. Nikolaychuk O.A. Metody, modeli i instrumental'noe sredstvo dlya issledovaniya nadezhnosti i bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem: Avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk. - Irkutsk, 2010. - 37 s.
14. Krupitsa O.V., Zamota T.N., Panayotov K.K., Karaichev A.A. Raspredeleonnaya intellektual'naya sistema udalenoj diagnostiki transportnykh sredstv po kanalu Wi-Fi // Sovremennye tekhnologii i perspektivy razvitiya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv: Sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2020g. - S. 63-68.
15. Zamota T.N., Panayotov K.K., Karaichev A. A. Harakteristika otkazov i struktura diagnosticheskoy informatsii o tekhnicheskoy sostoyanii avtomobilya Nissan // Vestnik LGU im. V. Dalya. - Lugansk: LGU im. V. Dalya. - 2020. - 100 s.
16. Volgin, V.V. Bespribornaya diagnostika neispravnostey legkovykh avtomobiley - SPb: Piter, 2011. - 169 s.
17. Novikov, A.N. Tekhnologicheskie osnovy vosstanovleniya i uprochneniya detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki iz alyuminievykh splavov elektrokhimicheskimi sposobami - Orel: OrelGAU, 2001. - 233 s.
18. Fedotov, A.I. Diagnostika avtomobilya: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki bakalavrov i magistrov «Eksploataciya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov» - Irkutsk: Irkutskiy gos. tekhnicheskii un-t., 2012. - 476 s.
19. Gromakovskiy, A.A. Diagnostika neispravnostey avtomobilya v ponyatnykh skhemakh - SPb: Piter, 2009. - 196 s.
20. Nabokikh, A.N. Diagnostika elektrooborudovaniya avtomobiley i traktorov - M.: Forum, 2015. - 210 s.

Panayotov Konstantin Konstantinovich

Lugansk State University

Address: 91034, Russia, Lugansk, Molodezhny sq., 20a

Candidate of technical sciences, E-mail: k.panayotov@mail.ru

Научная статья
УДК 629.33
doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-9-15

А.В. ПУЗАКОВ

БОРТОВОЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАРТЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Аннотация. Разработана аналитическая модель степени функционирования стартерных аккумуляторных батарей, учитывающая изменение параметров выходного напряжения и температуры электролита (окружающего воздуха). Установлена взаимосвязь между успешностью запуска автомобильного двигателя и степенью функционирования аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: стартерная аккумуляторная батарея, степень заряженности, степень работоспособности, степень функционирования, бортовой мониторинг

Введение

Важнейшим элементом бортовой сети автомобиля является стартерная аккумуляторная батарея, основной функцией которой, как следует из названия, является запуск автомобильного двигателя. Если в летнее время года батарея практически всегда успешно справляется с этой функцией, то в зимний период эксплуатации пусковые токи значительно возрастают, а пусковая возможность батареи напротив, снижается. В процессе зимней эксплуатации нередко возникают ситуации внезапного отказа батареи, проявляющегося в неудачном запуске автомобильного двигателя [1]. Это может быть связано как со снижением степени заряженности, так и с потерей работоспособности в результате неисправностей или старения батареи.

В настоящее время единственным способом оценки состояния батареи на борту автомобиля являются показания бортового компьютера, а также сопряженных с автомобилем устройств (смартфон, брелок сигнализации). Однако особенностью функционирования батареи является асинхронность двух расчетных параметров: степень заряженности (State of Charge, *SOC*) и степень работоспособности (State of Health, *SOH*). Достаточная степень заряженности не гарантирует успешный запуск холодного автомобильного двигателя, так как даже после глубокого разряда батарея имеет тенденцию восстановления степени заряженности. В тоже время затраченную в процессе пуска работоспособность можно восстановить только в процессе заряда батареи (от бортового или автономного источника электроэнергии).

Материал и методы

Измерение степени работоспособности на борту автомобиля затруднено, так как требует отключения батареи как от потребителей, так и от генератора на небольшой промежуток времени. Однако современные автомобили крайне чувствительны даже к кратковременному обесточиванию бортовой сети. Нередко это требует новой прописки батареи в электронном блоке управления. В связи с этим возникла необходимость в разработке методики оценки работоспособности батареи на борту автомобиля на основе параметров выходного напряжения.

Определение работоспособности батарей на борту автомобиля производится на основе измерения выходных и структурных параметров в наиболее характерных нагрузочных режимах. В работах [2, 3] техническое состояние батарей определяется на основе падения напряжения в стартерном режиме разряда.

Теория / Расчет

Рассмотрим методику бортового мониторинга технического состояния стартерных аккумуляторных батарей.

На первом этапе мониторинга производится оценка степени заряженности батареи по формуле (1) [4-6]

$$SOC = \frac{U_1 - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где U_1 – текущее значение напряжения на выводах батареи, В;

U_{max} – максимальное значение напряжения, соответствующее полностью заряженной батарее, В;

U_{min} – минимально допустимое напряжение, соответствующее разряженной батарее, В.

Согласно ранее проведенных исследований [7], установлены значения $U_{max} = 12.61$ В и $U_{min} = 12.00$ В.

Если $SOC_i < SOC_{кр}$, то эксплуатация батареи на автомобиле запрещена без подзаряда. В летний период эксплуатации $SOC_{кр} = 50$ %, в зимний период – $SOC_{кр} = 75$ %. Учитывая то, что временные интервалы летней и зимней эксплуатации определяются регионом использования батареи, в разработанной методике границей между этими периодами выступает переход температур воздуха через нулевую отметку в момент запуска холодного автомобильного двигателя (рис. 1).

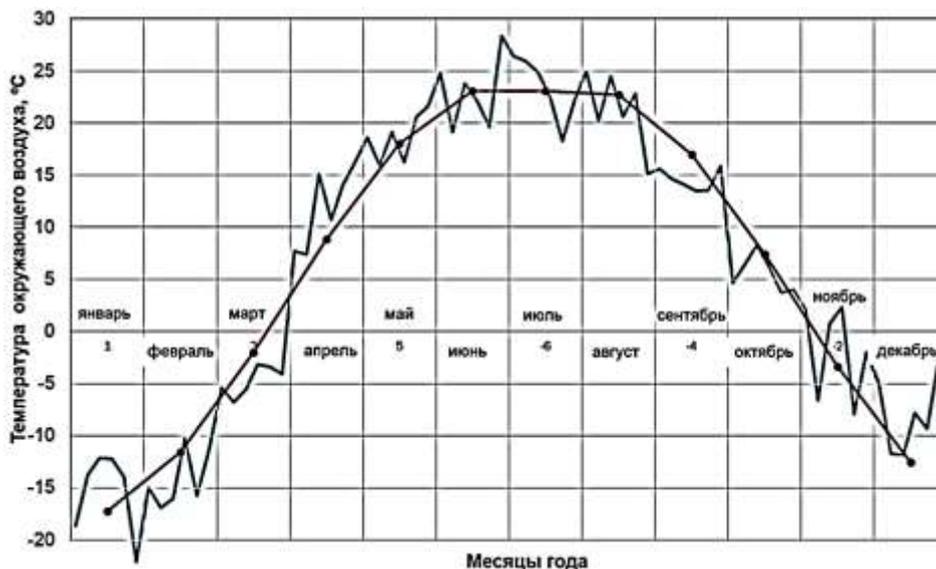


Рисунок 1 – Изменение среднемесячной температуры воздуха (на примере г. Оренбурга)

Если по результатам мониторинга установлено прогрессирующее снижение степени заряженности (2), то на автомобиле либо отрицательный зарядный баланс (расход энергии превышает ее выработку генератором), либо имеется значительный ток утечки.

$$SOC_i < SOC_{i-1} < SOC_{i-2}, \quad (2)$$

где i – дата мониторинга.

На втором этапе мониторинга определяется степень работоспособности батареи по формуле (3) [8-10]

$$SOH = \frac{U_2 - U_0}{U_{new} - U_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где U_2 – минимальное значение напряжения при запуске автомобильного двигателя, В;

U_{new} – максимальное значение напряжения при запуске автомобильного двигателя от новой батареи, В;

U_0 – минимально допустимое напряжение при запуске автомобильного двигателя, В.

Согласно проведенных исследований, установлены значения $U_{new} = 10.0$ В и $U_0 = 4.5$ В.

Недостатками выражения (3) являются неучтенная зависимость степени работоспособности: от степени заряженности батареи и от температуры окружающего воздуха, влияющей также и на степень заряженности батареи. Поэтому для оценки работы батареи (например, пусковых свойств) используют степень функционирования (State of Functional, SOF).

Предлагается определять степень функционирования по выражению (4), в котором первый множитель учитывает снижение пусковых возможностей по мере снижения степени заряженности, а второе слагаемое служат для адаптации степени функционирования к текущей температуре электролита, так как установлено, что по мере снижения температуры электролита снижается как текущее напряжение, так и напряжение в процессе запуска автомобильного двигателя (рис. 2).

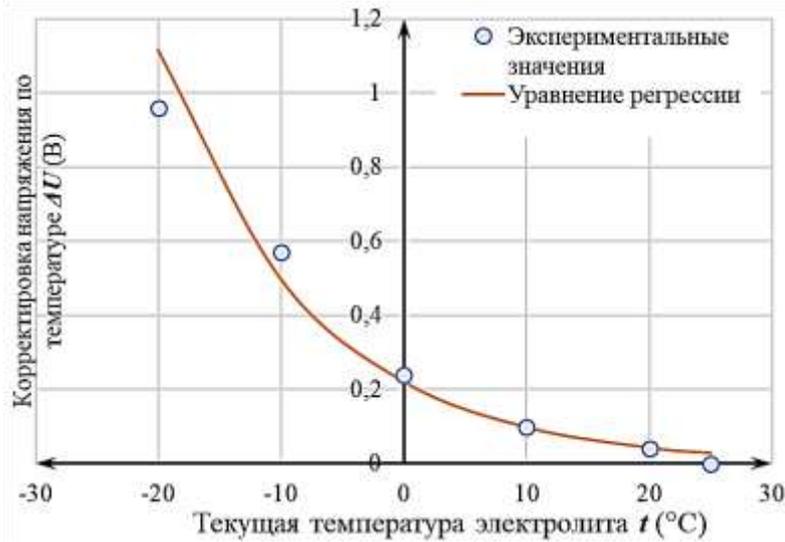


Рисунок 2 – Корректировка степени функционирования в зависимости от текущей температуры электролита

$$SOF = \frac{U_2^3}{10} \cdot \frac{U_1}{U_{max}} - \alpha \cdot 10^{-\beta \cdot t}, \quad (4)$$

где SOF – степень функционирования стартерной аккумуляторной батареи;

t – текущая температура электролита (окружающего воздуха), °C;

α, β , – коэффициенты, установленные по результатам эксплуатации.

Однако практическое использование графической зависимости от температуры затруднительно, в связи с чем были в выражение (4) были введены корректирующие коэффициенты α и β .

На третьем этапе определяется вероятность успешного запуска автомобильного двигателя (CA, crank-ability). Для этого требуется информация о температуре воздуха на следующее утро (прогноз), полученная из метеосводок. Кроме того, необходимо знать минимально необходимую степень функционирования для разных значений температуры.

Результаты и обсуждение

Зависимость минимально необходимой степени функционирования от температуры электролита установлена по результатам опытной эксплуатации (рис. 3).

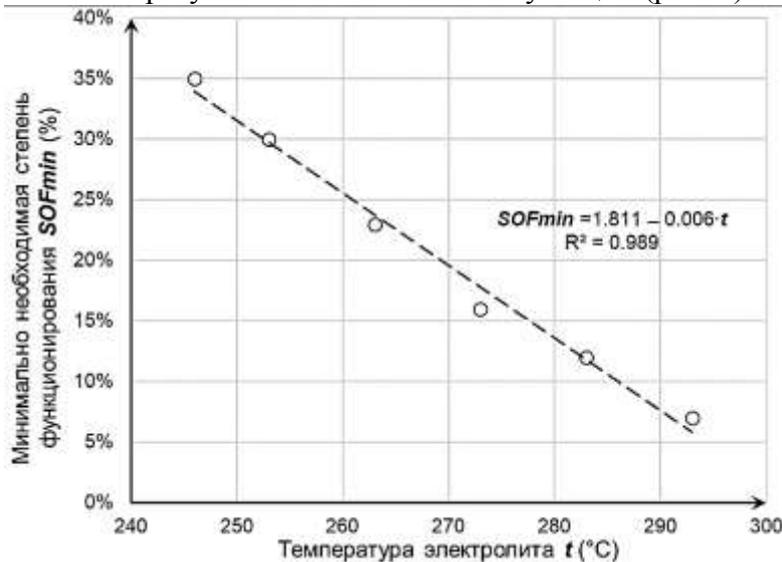


Рисунок 3 – Зависимость минимально необходимой степени функционирования от температуры электролита

Точки соответствуют неудачным попыткам запуска автомобильного двигателя, изменение напряжения и силы тока батареи при которых представлены на рисунке 4.

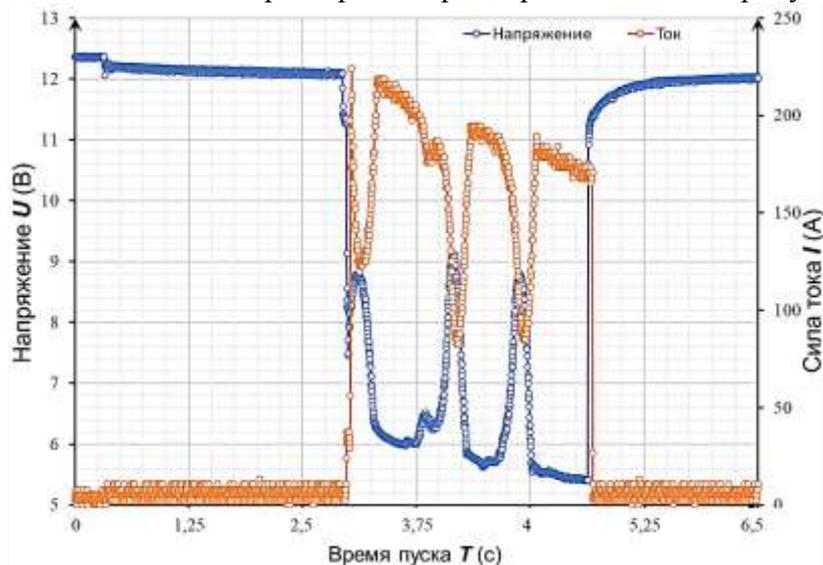


Рисунок 4 – Изменение напряжения и силы тока батареи при неудачной попытке пуска автомобильного двигателя

Вероятность успешного пуска автомобильного двигателя будем оценивать на основе сравнения текущей степени функционирования с минимально необходимой, причем равенство этих показателей соответствует $CA=50\%$.

$$CA = \frac{SOF}{2 \cdot SOF_{min}}, \quad (5)$$

где CA – вероятность успешного пуска автомобильного двигателя;

SOF_{min} – минимально необходимая степень функционирования.

Снижение текущей степени функционирования ведет к пропорциональному снижению вероятности успешного пуска автомобильного двигателя до нуля. Если текущее значение степени функционирования более чем в 2 раза превышает минимально необходимое значение, то вероятность успешного пуска составит 100 %.

На рисунке 5 представлено графическое представление зависимости успешности запуска автомобильного двигателя от степени функционирования для разных значений температуры электролита.

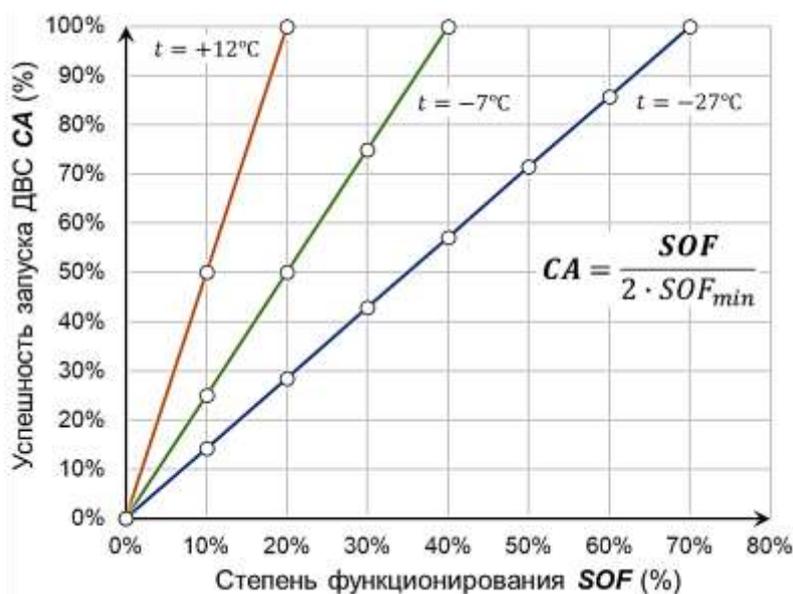


Рисунок 5 – Зависимость успешности запуска автомобильного двигателя от степени функционирования и температуры электролита

Итоговый алгоритм бортового мониторинга технического состояния стартерных аккумуляторных батарей представлен на рисунке 6. Часть информации (текущая температура, напряжения U_1 и U_2) собирается с транспортного средства, оборудованного электронным блоком [11-14] с GSM-трансммиттером для передачи данных на автотранспортное предприятие. Основные вычисления производятся в специализированном программном обеспечении на автоматизированном рабочем месте (АРМ) диспетчера.

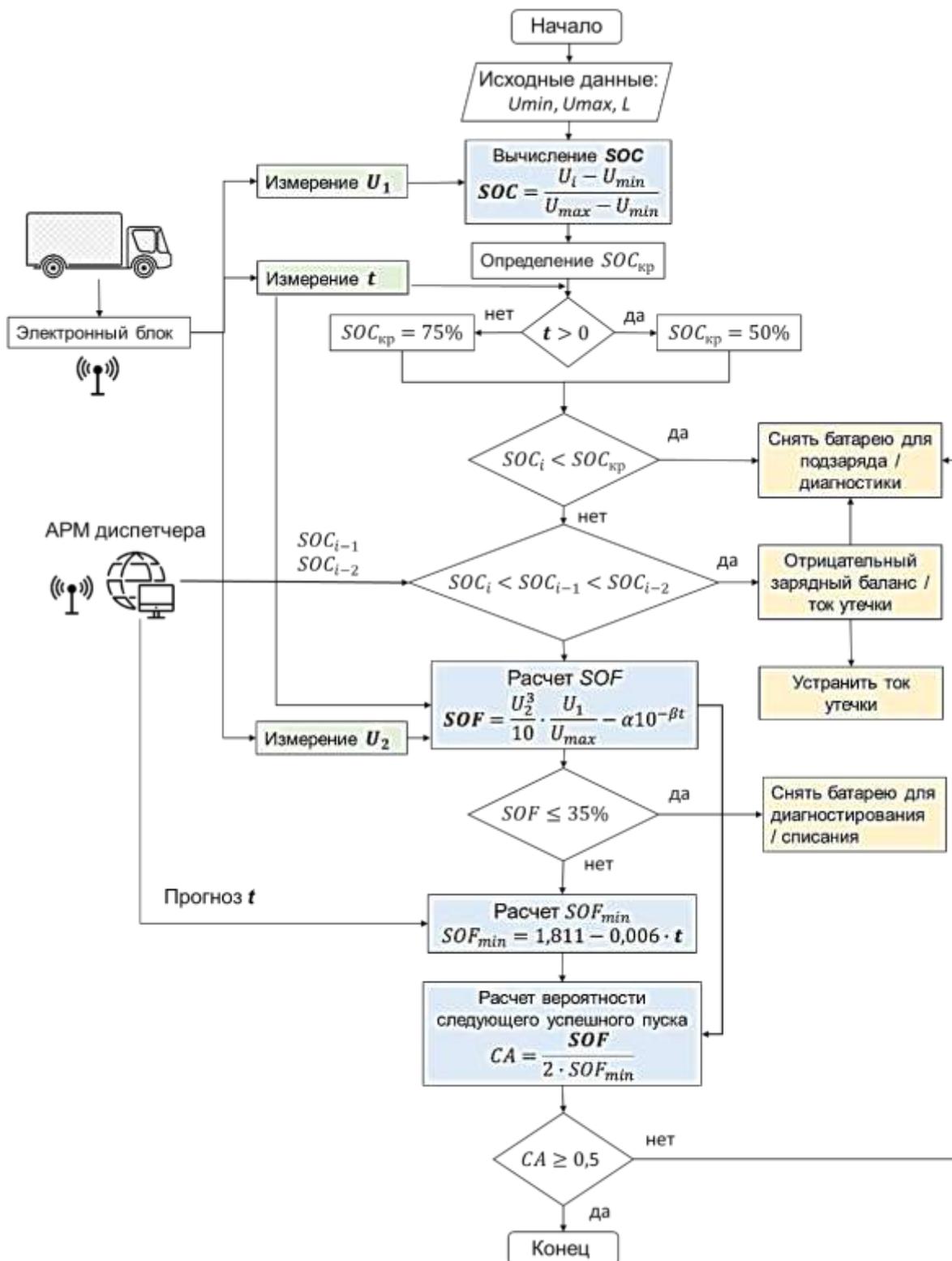


Рисунок 6 – Алгоритм бортового мониторинга технического состояния стартерных аккумуляторных батарей

Выводы

Бортовой мониторинг технического состояния стартерных аккумуляторных батарей способствует повышению надежности электрооборудования и снижению простоев автомобилей, связанные с заменой стартерных аккумуляторных батарей. Наиболее просто контролю на борту автомобиля поддается напряжение аккумуляторной батареи, поэтому в основу методики мониторинга положено изменение выходного напряжения в процессе эксплуатации.

Определение степени заряженности стартерной аккумуляторной батареи позволяет установить эффективность работы системы электроснабжения автомобиля. Вычисление степени функционирования позволяет прогнозировать выход стартерной аккумуляторной батареи из строя и определить вероятность успешного холодного пуска автомобильного двигателя. Методика мониторинга технического состояния аккумуляторной батареи предполагает как автономную работу бортового устройства, так и обмен информацией с сервером автотранспортного предприятия с целью прогнозирования успешности холодного пуска автомобильного двигателя.

Дальнейшие исследования будут направлены на изготовление опытного образца бортового устройства, получение и обработку массива экспериментальных данных с целью корректировки коэффициентов регрессии и внедрения предлагаемой методики диагностирования стартерных аккумуляторных батарей в практику автотранспортных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Puzakov A. Estimation of efficiency of electric power balance in automobiles // *Transport Problems*. - 2021. - Vol. 16. - P. 113-120.
2. Пузаков А.В., Смирнов Д.А. Разработка нагрузочного режима стартерной аккумуляторной батареи // *Грузовик*. – 2020. – №11. – С. 30-34.
3. Kerley R., Hyun J.H., Ha D.S. Automotive lead-acid battery state-of-health monitoring system // *41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. - 2015. - P. 003934-003938.
4. Chiasson J., Vairamohan B. Estimating the state of charge of a battery // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. - 2005. - Vol. 13. - №3. - P. 465-470.
5. Danko M., Adamec J., Taraba M., Drgona P. Overview of batteries State of Charge estimation methods // *Transportation Research Procedia*. - 2019. - №40. - P. 186-192.
6. Leao J., Hartmann L.V., Corrêa M.B., Lima A.M. Lead-acid battery modeling and state of charge monitoring // *Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*. – 2010. - P. 239-243.
7. Пузаков А.В., Калимуллин Р.Ф., Смирнов Д.А. Моделирование параметров технического состояния стартерных аккумуляторных батарей // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2021. - №1. – С. 9-13.
8. Micea M.V., Ungurean L., Cârstoiu G.N., Groza V. Online State-of-Health Assessment for Battery Management Systems // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. - 2011. - Vol. 60. - P. 1997-2006.
9. Tanaami A., Morimoto M. On-line estimation of SOH for lead-acid battery // *Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems*. - 2009. - P. 1552-1555.
10. Khare N., Chandra S., Govil R. Statistical modeling of SoH of an automotive battery for online indication // *IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference*. - 2008. - P. 1-7.
11. Barasa N., Simiyu J., Waita S., Wekesa D. Automobile battery monitoring system using arduino uno R3 Microcontroller Board // *International journal of science and technoledge*. - 2017. - Vol 5. - P. 24-36.
12. Thyagarajan A., Prabu R.R., Uma G. Battery monitoring and power management for automotive systems // *American journal of energy research*. - 2014. - Vol. 2. - №1. - P. 1-8.
13. Wang J., Yin Z. Overview of key technologies of battery management system // *Journal of physics: Conference Series*. - 2030. - 012009.
14. Li W., Kwiecień M., Badedá J., Jöst D., Schulte D., Sauer D.U. Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation // *Journal of energy storage*. - 2020. - Vol. 30. - 101557.
15. Волгин, В.В. *Бесприборная диагностика неисправностей легковых автомобилей* – СПб: Питер, 2011. – 169 с.
16. Новиков, А.Н. *Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами* – Орел: ОрелГАУ, 2001. – 233 с.
17. Федотов, А.И. *Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»* – Иркутск: Иркутский гос. технический ун-т., 2012. – 476 с.
18. Громаковский, А.А. *Диагностика неисправностей автомобиля в понятных схемах* – СПб: Питер, 2009. – 196 с.
19. Набоких, А.Н. *Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов* – М.: Форум, 2015. – 210 с.
20. Трейси, М. *Диагностика и ремонт автомобильного оборудования* – М.: Эксмо, 2016. – 342 с.

Пузаков Андрей Владимирович

Оренбургский государственный университет

Адрес: 460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, 13

К.т.н., доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей

E-mail: And-rew78@yandex.ru

A.V. PUZAKOV

ON-BOARD MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF STARTER BATTERIES

Abstract. *The analytical model of starter batteries state of function, which considers the change of output voltage parameters and electrolyte (ambient air) temperature, is worked out. The correlation between the success of starting the automobile engine and the state of function of batteries has been established.*

Keywords: *starter battery, state of charge, state of health, state of function, on-board monitoring*

BIBLIOGRAPHY

1. Puzakov A. Estimation of efficiency of electric power balance in automobiles // Transport Problems. - 2021. - Vol. 16. - P. 113-120.
2. Puzakov A.V., Smirnov D.A. Razrabotka nagruzochnogo rezhima starternoy akkumulyatornoy batarei // Gruzovik. - 2020. - №11. - S. 30-34.
3. Kerley R., Hyun J.H., Ha D.S. Automotive lead-acid battery state-of-health monitoring system // 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. - 2015. - P. 003934-003938.
4. Chiasson J., Vairamohan B. Estimating the state of charge of a battery // IEEE Transactions on Control Systems Technology. - 2005. - Vol. 13. - №3. - R. 465-470.
5. Danko M., Adamec J., Taraba M., Drgona P. Overview of batteries State of Charge estimation methods // Transportation Research Procedia. - 2019. - №40. - P. 186-192.
6. Leao J., Hartmann L.V., Corra M.B., Lima A.M. Lead-acid battery modeling and state of charge monitoring // Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). - 2010. - R. 239-243.
7. Puzakov A.V., Kalimullin R.F., Smirnov D.A. Modelirovanie parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya starternykh akkumulyatornykh batarey // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. - 2021. - №1. - S. 9-13.
8. Micea M.V., Ungurean L., Corstioiu G.N., Groza V. Online State-of-Health Assessment for Battery Management Systems // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. - 2011. - Vol. 60. - P. 1997-2006.
9. Tanaami A., Morimoto M. On-line estimation of SOH for lead-acid battery // Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems. - 2009. - R. 1552-1555.
10. Khare N., Chandra S., Govil R. Statistical modeling of SoH of an automotive battery for online indication // IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference. - 2008. - R. 1-7.
11. Barasa N., Simiyu J., Waita S., Wekesa D. Automobile battery monitoring system using arduino uno R3 Microcontroller Board // International journal of science and technoledge. - 2017. - Vol 5. - P. 24-36.
12. Thyagarajan A., Prabu R.R., Uma G. Battery monitoring and power management for automotive systems // American journal of energy research. - 2014. - Vol. 2. - №1. - P. 1-8.
13. Wang J., Yin Z. Overview of key technologies of battery management system // Journal of physics: Conference Series. - 2030. - 012009.
14. Li W., Kwiecien M., Badede J., Jost D., Schulte D., Sauer D.U. Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation // Journal of energy storage. - 2020. - Vol. 30. - 101557.
15. Volgin, V.V. Bespribornaya diagnostika neispravnostey legkovykh avtomobiley - SPb: Piter, 2011. - 169 s.
16. Novikov, A.N. Tekhnologicheskie osnovy vosstanovleniya i uprochneniya detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki iz alyuminiyevykh splavov elektrokhimicheskimi sposobami - Orel: OrelGAU, 2001. - 233 s.
17. Fedotov, A.I. Diagnostika avtomobilya: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki bakalavrov i magistrrov «Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov» - Irkutsk: Irkutskiy gos. tekhnicheskiiy un-t., 2012. - 476 s.
18. Gromakovskiy, A.A. Diagnostika neispravnostey avtomobilya v ponyatnykh skhemakh - SPb: Piter, 2009. - 196 s.
19. Nabokikh, A.N. Diagnostika elektrooborudovaniya avtomobiley i traktorov - M.: Forum, 2015. - 210 s.
20. Treysi, M. Diagnostika i remont avtomobil'nogo oborudovaniya - M.: Eksmo, 2016. - 342 s.

Puzakov Andrey Vladimirovich

Orenburg State University

Address: 460018, Russia, Orenburg, Pobedy Ave., 13

Candidate of technical sciences

E-mail: And-rew78@yandex.ru

Научная статья
УДК 622.684+656.07+658.286
doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-16-23

Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, Ю.А. ЗАЯЦ, А.С. СЕМЫКИНА, А.Н. НОВИКОВ

ВЛИЯНИЕ ИНДИКАТОРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЕГО РАБОТЫ

Аннотация. Проведен анализ факторов и определены индикаторы каждого. Выполнена группировка факторов, влияющие на коэффициент технической готовности по признакам. Приведен пример расчета коэффициента технической готовности с учетом предлагаемых факторов.

Ключевые слова: коэффициент технической готовности, факторы, индикаторы, эксплуатационные показатели, организация системы управления коэффициентом технической готовности

Введение

В настоящее время одним из основных показателей, характеризующих эффективность управления парком машин является показатель технической готовности. Данный показатель универсален для большинства парков машин вне зависимости от их разновидностей и назначения и удобен в расчете. В целях совершенствования методов прогнозирования и управления парком, совершенствования методики принимаемых управленческих решений и анализа их эффективности на всех стадиях необходим анализ факторов, влияющих на показатель технической готовности, а также присвоение этим факторам определенных индикаторов и придание этим индикаторам весового значения относительно группы подобных индикаторов, а также выявление закономерностей корреляции индикаторов с показателем технической готовности.

Материал и методы

Для детального изучения влияния факторов и их индикаторов, требуется проанализировать каждый из них, а также присвоить им порядковые номера [1-3].

Первым исследуемым фактором является «Качество выполнения ТО автомобилей (своевременность (перепробеги), выполнение всего перечня операций, соответствие тех. регламентам)», при этом, его индикаторами будут: X1.1. - индикатор, характеризующий влияние своевременности ТО; X1.2. - индикатор, характеризующий влияние выполнения всего перечня необходимых операций; X1.3. - индикатор, характеризующий влияние соответствия тех. регламенту (порядок операций, использование спец. приспособлений, моменты затяжки, схемы нанесений герметиков, смазок, клеев и т.д.) [4-7].

Вторым фактором является «Качество выполнения ТР автомобилей (качество диагностики и оценки состояния, своевременность (перепробеги), выполнение всего перечня необходимых операций, соответствие тех. регламентам, качество ремонта и восстановления)», при этом, его индикаторами будут: X2.1. - индикатор, характеризующий влияние качества диагностики и оценки состояния неисправностей; X2.2. - индикатор, характеризующий влияние выполнения всего перечня необходимых операций; X2.3. - индикатор, характеризующий влияние соответствия тех. регламенту (порядок операций, использование спец. приспособлений, моменты затяжки, схемы нанесений герметиков, смазок, клеев и т.д.); X2.4. – индикатор, характеризующий влияние качества технологий ремонта и восстановления.

Третьим фактором является «Наличие и квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей», при этом его индикаторами будут: X3.1 - индикатор, характеризующий влияние наличия персонала по профилю; X3.2. - индикатор, характеризующий влияние соответствия квалификации персонала занимаемой должности; X3.3. - индикатор, характеризующий влияние правильности и соответствие выполнения тех. регламента ТО, ТР; X3.4. - индикатор, характеризующий влияние проверки качества выполненных работ (приемки работ).

Четвертым фактором является «Качество осмотра автомобилей перед выездом на линию», при этом его индикаторами будут: X4.1. – индикатор, характеризующий влияние предупреждения выхода на линию неисправного автомобиля.

Пятым фактором является «Качество медицинского осмотра водителей», при этом его индикаторами будут: X5.1. - индикатор, характеризующий влияние предупреждения возможного негативного влияния психо-физического состояния и состояния здоровья водителя на управление).

Шестым фактором является «Качество запасных частей», при этом его индикаторами будут: X6.1. – индикатор, учитывающий оригинальность запасных частей; X6.2. – индикатор, учитывающий неоригинальность запчастей и связанные с этим риски (процент отказов из-за низкого качества запасных частей); X6.3. – индикатор, характеризующий влияние ожидания поставок запасных частей [8].

Седьмым фактором является «Качество ГСМ», при этом его индикаторами будут: X7.1. – индикатор, характеризующий влияние качества топлива; X7.2. – индикатор, характеризующий влияние качества масла и смазки, технических жидкостей.

Восьмым фактором является «Качество эксплуатации автомобилей», при этом его индикаторами будут: X8.1. – индикатор, характеризующий влияние квалификации сотрудников, эксплуатирующих технику; X8.2.- индикатор, характеризующий влияние оптимальности методов управления автомобилем; X8.3. - индикатор, характеризующий влияние предупреждения неисправностей (своевременность реагирования на неисправности и принятия контрмер для минимизации последствий); X8.4. - индикатор, характеризующий влияние наличия предпускового подогревателя в автомобиле; X8.5. - индикатор, характеризующий влияние хранения аккумуляторов в теплом помещении или организация их подогрева и подзарядки на автомобиле; X8.6. - индикатор, характеризующий влияние поддержания чистоты техники (мойка, очистка).

Девятым фактором является «Режимы эксплуатации автомобилей», при этом его индикаторами будут: X9.1. - индикатор, характеризующий влияние нагрузки (% загрузки от максимальной, в том числе перегруз транспортного средства); X9.2. - индикатор, характеризующий влияние скоростного режима; X9.3. - индикатор, характеризующий влияние процента нагрузки двигателя и трансмиссии; X9.4. - индикатор, характеризующий влияние периодичности эксплуатации (продолжительность простоев); X9.5. - индикатор, характеризующий влияние консервации/расконсервации (правильность, своевременность).

Десятым фактором является «Условия эксплуатации автомобилей», при этом его индикаторами будут: X10.1. – индикатор, характеризующий влияние климатической зоны; X10.2. - индикатор, характеризующий влияние текущих погодных условий; X10.3. - индикатор, характеризующий влияние состояния дорожного покрытия; X10.4 - индикатор, характеризующий влияние режимов движения «город-трасса»; X10.5. - индикатор, характеризующий влияние рельефа местности [6-8].

Одиннадцатым фактором является «Надежность и ресурс», при этом его индикаторами будут: X11.1. – индикатор, характеризующий надежность (наработка на отказ); X11.2. – индикатор, характеризующий коэффициент запас прочности агрегата, узла или детали.

Двенадцатым фактором является «Остаточный ресурс узлов и агрегатов автомобилей», при этом его индикаторами будут: X12.1. – индикатор, характеризующий влияние остаточного ресурса агрегатов (наработка на отказ)

Тринадцатым фактором является «Объективность информации о техническом состоянии узлов и деталей автомобиля», при этом его индикаторами будут: X13.1. – индикатор, характеризующий влияние объективности информации о техническом состоянии узлов и деталей автомобиля [6-8].

Четырнадцатым фактором является «Единообразие и совершенство методики проверки технического состояния автомобилей», при этом его индикаторами будут: X14.1. - индикатор, характеризующий влияние проверок технического состояния (периодичность, перечень операций согласно регламенту, используемый инструментарий).

Пятнадцатым фактором является «Техническое состояние автомобилей», при этом его индикаторами будут: X15.1. - индикатор, характеризующий влияние технического состояния (эксплуатация с неустраненными неисправностями, изношенными деталями)

Шестнадцатым фактором является «Наличие на складах з/ч и материалов», при этом его индикаторами будут: X16.1. - индикатор, характеризующий влияние наличия на складах з/ч и материалов; X16.2 - индикатор, характеризующий влияние системы учета и планирования склада, расчета резервов, заказа; X16.3. - индикатор, характеризующий влияние стабильности поставок з/ч (совершенство логистики).

Семнадцатым фактором является «Укомплектованность водителями с определенным уровнем квалификации», при этом его индикаторами будут: X17.1. - индикатор, характеризующий влияние наличия квалифицированных водителей.

Восемнадцатым фактором является «Закрепленность машин за конкретным водителем», при этом его индикаторами будут: X18.1. - индикатор, характеризующий влияние закрепленности машин за конкретным водителем, либо отсутствия такой системы; X18.2. - индикатор, характеризующий влияние качества передачи смены (передачи информации между водителями о техническом состоянии, проявлениях неисправностей, устранении неисправностей на месте).

Девятнадцатым фактором является «Обеспеченность материально-техническими ресурсами СТОА (инструменты, принадлежности и т.д.)», при этом его индикаторами будут: X19.1. - индикатор, характеризующий влияние укомплектованности оборудованием и инструментом СТОА; X19.2. - индикатор, характеризующий влияние исправности оборудования и инструмента СТОА.

Двадцатым фактором является «Наличие и исправная работа элементов инфраструктуры СТОА», при этом его индикаторами будут: X20.1. - индикатор, характеризующий влияние наличия и исправности элементов инфраструктуры СТОА.

Двадцать первым фактором является «Условия хранения автомобильной техники (на улице, на спец. площадке, под навесом, в холодном боксе, в отапливаемом боксе)», при этом его индикаторами будут: X21.1. - индикатор, характеризующий влияние условий хранения автомобилей.

Двадцать вторым фактором является «Периодичность и полнота выполнения диагностических работ», при этом его индикаторами будут: X22.1. - индикатор, характеризующий влияние периодичности диагностических работ; X22.2. - индикатор, характеризующий влияние выполнения всего перечня диагностических работ; X22.3. - индикатор, характеризующий влияние совершенства методов и инструментов диагностики.

Двадцать третьим фактором является «Адекватность системы управления и принятия решений при управлении парком (наличие и совершенство системы обратной связи (достоверная и полная информация о результатах принятого управленческого решения), объективность анализа результата при принятии управленческого решения, эффективность реализации принятого управленческого решения)», при этом его индикаторами будут: X23.1. - индикатор, характеризующий влияние наличия системы обратной связи в системе управления парком; X23.2. – индикатор, характеризующий влияние времени обратной связи; X23.3. – индикатор, характеризующий величину потерь и искажения информации в системе обратной связи; X23.4. - индикатор, характеризующий влияние достоверности и объективности информации в управленческой деятельности; X23.5. - индикатор, характеризующий влияние объективности анализа результата управленческих решений; X23.6. - индикатор, характеризующий влияние эффективности реализации управленческого решения [6-8].

Итогом рассмотрения факторов, влияющих на коэффициент технической готовности и присвоения этим факторам индикаторов является создание методики расчета значений индикаторов в зависимости от степени влияния факторов (определение четких закономерностей между величиной влияния фактора и присвоением значения соответствующему индикатору) и создание системы расчета прогнозируемого коэффициента технической готовности.

Теория

Факторы, рассмотренные выше, влияющие на коэффициент технической готовности можно сгруппировать по следующим признакам [9]:

- 1) конструкционные – характеризуют влияние особенностей конструкции, заложенного ресурса и запаса прочности [11-15];
- 2) эксплуатационные – характеризуют влияние режимов эксплуатации, нагрузки, качества ГСМ, влияние квалификации персонала и человеческого фактора и т.д. [3-5, 7-9, 17, 18];
- 3) ремонта и обслуживания – характеризуют влияние методов ремонта и обслуживания, организации снабжения, качества запчастей и т.д. [1, 2, 6, 16, 19, 20];
- 4) внешних условий – характеризуют влияние внешних факторов: погодных, климатических, особенностей рельефа, дорожного покрытия [10, 21];
- 5) системы управления – характеризуют адекватность, оперативность, эффективность принятия управленческих решений, эффективность использования обратной связи в системе управления парком.

Отдельным факторам из описанных групп присваиваются индикаторы, суть которых – численное выражение влияющего фактора. Численные значения для каждого индикатора являются расчетными в случае определения четких корреляций между коэффициентом технической готовности или определяются методом экспертных оценок, в случае неявных корреляционных связей с коэффициентом технической готовности. Коэффициент технической готовности является величиной, определяемой статистически и выражает собой отношение количества исправных (работоспособных) автомобилей к списочному числу и определяется формулой (1):

$$K_{тг} = A_{дн} / A_{сп}, \quad (1)$$

где $K_{тг}$ – коэффициент технической готовности (принимает значение от 0 до 1);

$A_{дн}$ – количество исправных (работоспособных) автомобилей в парке;

$A_{сп}$ – количество автомобилей списочных в парке.

Поэтому, коэффициент технической готовности возможно прогнозировать, представив его как величину, рассчитываемую по индикаторам влияющих факторов. Результирующая формула расчета прогнозируемого коэффициента технической готовности на основе учета каждого из влияющих факторов принимает новый вид, в котором величина коэффициента технической готовности является произведением индикаторов всех влияющих факторов, рассчитываемых формулой (2) [10]:

$$K_{тг} = (X_{1.1} * X_{1.2} * X_{2.1} * X_{2.2} * \dots * X_{n.m}), \quad (2)$$

где $X_{n.m}$ – индикатор влияющего фактора.

Каждый из индикаторов принимает значение в пределах от 0 до 1 и таким образом выражает процент соответствия влияния того или иного фактора на коэффициент технической готовности. При этом значение близкое к 0 означает, что влияние данного фактора фактически характеризует неработоспособное состояние машины вследствие влияния данного фактора, а значение равное 1, характеризует, что влияние фактора не ухудшает показатель коэффициента технической готовности [11-15].

Применение формулы (2) является логически обоснованным и представляет возможность адаптации метода расчета, так как позволяет при необходимости вводить в формулу новые индикаторы факторов, которые не были учтены ранее или удалять не влияющие существенно, если отсутствие влияния будет подтверждено на практике.

Расчет

В качестве примера, предлагается рассмотреть расчет коэффициента технической готовности для 3-х вариантов сочетания различных влияющих факторов из перечисленных ранее с использованием соответствующих им значений индикаторов. Остальные значения индикаторов принимались с заданными значениями равными 1, с целью не учитывать негативное влияние соответствующих им факторов в конкретном примере.

Начальными условиями (влияющие факторы) для расчета были приняты следующие: погодные условия ($X_{10.2}$ - индикатор, характеризующий влияние текущих погодных условий (температуры воздуха); качество эксплуатации ($X_{8.4}$ - индикатор, характеризующий влияние наличия в автомобиле предпускового подогревателя); качество эксплуатации автомобилей ($X_{8.1}$ - индикатор, характеризующий влияние квалификации сотрудников, эксплу-

атирующих технику). На основании заданных условий и ограничений выражения вычисления коэффициента технической готовности примет вид [16]:

$$K_{тг} = X_{10.2} * X_{8.1} * X_{8.4} \quad (3)$$

Рассматриваемые 3 варианта сочетания влияющих факторов с присвоенными им значениями соответствующих индикаторов описаны, вычислены и сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения индикаторов факторов, влияющих на коэффициент технической готовности в зависимости от различных условий

Варианты сочетания факторов	Температура / соответствующий индикатор X10.2 и его значение	Наличие штатного предпускового подогревателя / соответствующий индикатор X8.4 и его значение	Квалификация сотрудников, эксплуатирующих технику / соответствующий индикатор X8.1 и его значение
Вариант 1	+15 °C/ X10.2 =0,97	Да/ X8.4 = 0,99	X8.1 = 0,85
Вариант 2	-20 °C/ X10.2 =0,1	Нет/ X8.4 = 0	X8.1 = 0,99
Вариант 3	-40 °C/ X10.2 =0	Да/ X8.4 = 0,9	X8.1 = 0,9

Физический смысл индикатора X10.2 – вероятность запуска двигателя автомобиля в зависимости от температуры окружающего воздуха. Зависимость индикатора от температуры выражена графиком на рисунке 1.

Поскольку в случае применения предпускового подогревателя влияние внешних температурных факторов нивелируется, в расчетной формуле индикаторы влияния погодных условий не будут фигурировать и учитываться, и наоборот при отсутствии предпускового подогревателя будет учитываться только индикатор влияния текущих погодных условий.

Физический смысл индикатора X8.4 – вероятность запуска двигателя при наличии предпускового подогревателя в зависимости от температуры окружающего воздуха. Зависимость индикатора от температуры выражена кривой на рисунке 1.

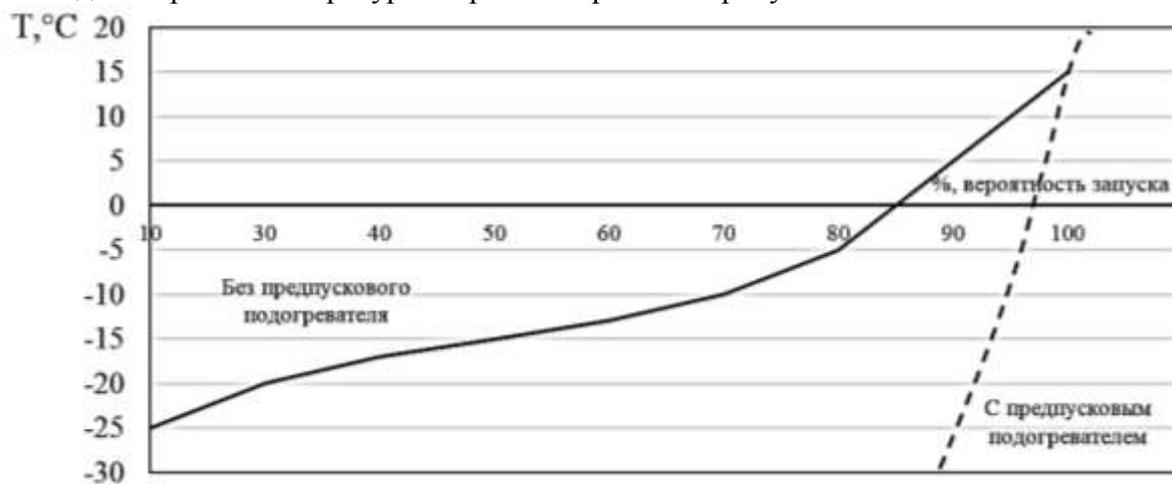


Рисунок 1 - Зависимость вероятности запуска двигателя от температуры окружающего воздуха

Физический смысл индикатора X8.1 – процент ситуаций при эксплуатации автомобиля, с которыми правильно может справиться водитель с определенной квалификацией, чтобы обеспечить запуск и выход на линию [17].

Анализ рисунка показал, что в случае эксплуатации автомобиля без предпускового подогревателя (сплошная линия на рисунке 1) вероятность запуска холодного двигателя снижается по мере снижения температуры окружающего воздуха, причем закономерность снижения вероятности носит нелинейный характер. При положительных температурах вероятность запуска двигателя без каких-либо дополнительных воздействий достаточно высока (выше 80 %), а при отрицательных температурах эта вероятность снижается с большей динамикой и достигает околонулевых значений при температуре ниже -20 °C [18, 21].

В случае использования предпускового подогревателя на автомобиле, вероятность запуска двигателя остается достаточно высокой в широком диапазоне температур и имеет значение выше 90 % начиная от температуры -40 °С.

Результаты

Таким образом, формулы для расчетов по вариантам №1, №2, №3 примут вид:

Для варианта 1 значение коэффициента технической готовности рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тг1}} = X_{8.1} * X_{8.4} = 0,99 * 0,85 = 0,84. \quad (4)$$

Для варианта 2 значение коэффициента технической готовности рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тг2}} = X_{10.2} * X_{8.1} = 0,1 * 0,99 = 0,099. \quad (5)$$

Для варианта 3 значение коэффициента технической готовности рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тг3}} = X_{8.1} * X_{8.4} = 0,9 * 0,9 = 0,81. \quad (6)$$

Обсуждение

Оценив результаты расчетов по 3-ем вариантам, очевидно, что влияние факторов, выраженное в индикаторах, дает как общее представление о влиянии каждого фактора на коэффициент технической готовности, так и о взаимном влиянии отдельных факторов друг на друга, приводя либо к усилению взаимного влияния, либо к нивелированию влияния одного фактора за счет влияния другого.

Прогнозируемый коэффициент технической готовности, рассчитанный по индикаторам, являющимися по сути вероятностными оценками влияния того или иного фактора сам по себе является вероятностью выхода исправного (работоспособного) автомобиля на линию [19].

Также рассмотренные примеры наглядно показывают, что в варианте №1 запуск двигателя при температуре окружающей среды +15 градусов, при наличии предпускового подогревателя может быть успешно осуществлен даже водителем, который имеет не самую высокую квалификацию с соответствующим значением индикатора 0,85. В варианте №2 при температуре -20 °С без предпускового подогревателя даже очень квалифицированный водитель сможет запустить двигатель с вероятностью 0,099 = 9,9 %, а в случае варианта №3 запуск возможен даже при температуре -40 °С с высокой вероятностью. Вероятность успешного запуска в рассматриваемых случаях фактически соответствует значению прогнозируемого коэффициента технической готовности [20].

Выводы

Предложенные факторы и индикатора для методики прогнозирования коэффициента технической готовности позволяют учитывать, систематизировать, различать по значимости влияющие факторы, в зависимости от изменений внешних и внутренних воздействий. За счет присвоения влияющим факторам индикаторов, количественно отображающих степень влияния этих факторов на коэффициент технической готовности, представляется возможность определять своевременность, очередность и степень контрвоздействия на эти факторы, отслеживать динамику их изменения и определять дальнейшие стратегии управления факторами для достижения высоких показателей коэффициента технической готовности, что является предпосылкой для организации системы управления коэффициентом технической готовности с использованием цифровых методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пупков, К.А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебное пособие – Москва: МГТУ им. Баумана, 2000. – 744 с.
2. Александров, А.Г. Оптимальные и адаптивные системы: Учебное пособие для вузов по специальности «Автоматика и управление в технических системах» - М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.
3. Лукинский, В.С. Прогнозирование надежности автомобилей - Л.: Политехника, 1991. - 224 с.
4. Гуськов, А.В. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебник - Новосибирск: НГТУ, 2007. - 427 с.
5. Никифоров, В.О. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности: Учебное пособие - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. - 226 с.

6. Пупков, К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник / под ред. Пупкова К.А., Егупова Н.Д. – М.: МГТУ. – В 5-ти томах. – 2-е изд., перераб. и доп., 2004. – 616 с.
7. Токарев, А.Н. Основы теории надежности и диагностика: Учебное пособие – Барнаул: АлтГТУ, 2008. – 226 с.
8. Лебедева, И.М. Макроэкономическое планирование и прогнозирование / под ред. Федоровой А.Ю. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 54 с.
9. Борисов В.В., Луферов В.С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей // Системы управления, связи и безопасности. - 2020. - №2. - С. 1-23.
10. Надежность и эффективность в технике: Справочник - М.: Машиностроение. - В 10 т. - Том 3, 1988. - 328 с.
11. Воскобоев В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебное пособие. - М.: ИД «Альянс», «Путь». - Часть 1, 2008. - 200 с.
12. Гавришев, С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 231 с.
13. Лепетюха С.В., Якушев А.С. Состояние и перспективы развития технологического автотранспорта Лебединского ГОКа // Горный журнал. - 2007. - №7. - С. 25-27.
14. Насковец А.М., Пархомчик П.А., Егоров А.Н., Шишко С.А., Моисеенко В.И. Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО «БЕЛАЗ» // Актуальные вопросы машиноведения. - 2018. - Т. 7. - С. 8-11.
15. Нестеренко А.В., Разгулов С.А., Берестнев Е.Ю., Никулин А.А. Ремонтная служба комбината // Горный журнал. – 2017. - №5. – С. 42-45.
16. Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семькина А.С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности карьерного транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2020. - Т. 17. - №6(76). - С. 690-703.
17. Петров В.Л., Гончаренко С.Н., Парсегов А.С. Моделирование рисков возникновения простоев и аварийных ситуаций технологического оборудования горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012. - №12. - С. 283-292.
18. Рахмангулов, А.Н. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы: Монография – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 245 с.
19. Семькина А.С., Загородний Н.А., Новиков А.Н. Замена изношенных элементов восстановленными на карьерных АТС // Автомобильная промышленность. - 2022. - №2. - С. 31-34.
20. Семькина А.С., Загородний Н.А. Совершенствование транспортной системы горно-обогатительных комбинатов // Автомобильная промышленность. - 2019. - №6. - С. 31-34.
21. Semykina A.S., Zagorodnij N.A., Novikov I.A., Novikov A.N. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedi. – Vol. 57. – 2021. – P. 611-616.

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Зяц Юрий Александрович

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище

Адрес: 390031, Россия, г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, 1

Д.т.н., профессор, декан факультета

E-mail: sajua@yandex.ru

Семькина Алла Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46

Ассистент кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: fantarock@mail.ru

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77

Д.т.н., профессор, директор политехнического института имени Н.Н. Поликарпова

E-mail: novikovan@ostu.ru

N.A. ZAGORODNY, YU.A. ZAYATS, A.S. SEMYKINA, A.N. NOVIKOV

**IMPACT OF INDICATORS OF TECHNICAL CONDITION
OF TRUCK TRANSPORT ON THE MAIN OPERATIONAL
INDICATORS OF ITS OPERATION**

Abstract. The factors were analyzed and the indicators of each were determined. The factors affecting the technical availability factor by signs have been grouped. An example of technical availability factor calculation is given taking into account the proposed factors.

Keywords: technical availability factor, factors, indicators, performance indicators, organization of the technical availability factor management system

BIBLIOGRAPHY

1. Pupkov, K.A. Metody robastnogo, neyro-nechetkogo i adaptivnogo upravleniya: Uchebnoe posobie - Moskva: MGTU im. Baumana, 2000. - 744 s.
2. Aleksandrov, A.G. Optimal`nye i adaptivnye sistemy: Uchebnoe posobie dlya vuzov po spetsial`nosti «Avtomatika i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh» - M.: Vysshaya shkola, 1989. - 263 s.
3. Lukinskiy, V.S. Prognozirovanie nadezhnosti avtomobiley - L.: Politehnika, 1991. - 224 s.
4. Gus`kov, A.V. Nadezhnost` tekhnicheskikh sistem i tekhnogenny risk: Uchebnik - Novosibirsk: NGTU, 2007. - 427 s.
5. Nikiforov, V.O. Intellektual`noe upravlenie v usloviyakh neopredelennosti: Uchebnoe posobie - SPb.: SPbGU ITMO, 2011. - 226 s.
6. Pupkov, K.A. Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya: Uchebnik / pod red. Pupkova K.A., Egupova N.D. - M.: MGTU. - V 5-ti tomakh. - 2-e izd., pererab. i dop., 2004. - 616 s.
7. Tokarev, A.N. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika: Uchebnoe posobie - Barnaul: AltGTU, 2008. - 226 s.
8. Lebedeva, I.M. Makroekonomicheskoe planirovanie i prognozirovanie / pod red. Fedorovoy A.Yu. - SPb: Universitet ITMO, 2016. - 54 s.
9. Borisov V.V., Luferov V.S. Metod mnogomernogo analiza i prognozirovaniya sostoyaniya slozhnykh sistem i protsessov na osnove nechetkikh kognitivnykh temporal`nykh modeley // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. - 2020. - №2. - S. 1-23.
10. Nadezhnost` i effektivnost` v tekhnike: Spravochnik - M.: Mashinostroenie. - V 10 t. - Tom 3, 1988. - 328 s.
11. Voskoboev V.F. Nadezhnost` tekhnicheskikh sistem i tekhnogenny risk: Uchebnoe posobie. - M.: ID «Al`yans», «Put`». - Chast` 1, 2008. - 200 s.
12. Gavrishchev, S.E. Organizatsionno-tekhnologicheskie metody povysheniya nadezhnosti i effektivnosti raboty kar`erov: monografiya. - Magnitogorsk: MGTU, 2002. - 231 s.
13. Lepetyukha S.V., Yakushev A.S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologicheskogo avtotransporta Lebedinskogo GOKa // Gornyy zhurnal. - 2007. - №7. - S. 25-27.
14. Naskovets A.M., Parkhomchik P.A., Egorov A.N., Shishko S.A., Moiseenko V.I. Sovremennoe razvitie kar`ernogo transporta proizvodstva OAO «BELAZ» // Aktual`nye voprosy mashinovedeniya. - 2018. - T. 7. - S. 8-11.
15. Nesterenko A.V., Razgulov S.A., Berestnev E.Yu., Nikulin A.A. Remontnaya sluzhba kombinata // Gornyy zhurnal. - 2017. - №5. - S. 42-45.
16. Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodniy N.A., Semykina A.S. Razrabotka nauchno-metodicheskikh podkhodov dlya povysheniya effektivnosti kar`ernogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta. - 2020. - T. 17. - №6(76). - S. 690-703.
17. Petrov V.L., Goncharenko S.N., Parsegov A.S. Modelirovanie riskov vozniknoveniya prostoev i aviarynykh situatsiy tekhnologicheskogo oborudovaniya gornyykh predpriyatiy // Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten` (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). - 2012. - №12. - S. 283-292.
18. Rakhmangulov, A.N. Upravlenie razvitiem gornodobyvayushchego predpriyatiya. Informatsionnye modeli i metody: Monografiya - Magnitogorsk: MGTU, 2002. - 245 s.
19. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Novikov A.N. Zamena iznoshennykh elementov vosstanovlennymi na kar`ernykh ATS // Avtomobil`naya promyshlennost`. - 2022. - №2. - S. 31-34.
20. Semykina A.S., Zagorodniy N.A. Sovershenstvovanie transportnoy sistemy gorno-obogatitel`nykh kombinatov // Avtomobil`naya promyshlennost`. - 2019. - №6. - S. 31-34.
21. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Novikov I.A., Novikov A.N. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. - Vol. 57. - 2021. - P. 611-616.

Zagorodny Nikolai Alexandrovich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of technical sciences
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Semykina Alla Sergeevna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Assistant
E-mail: fantarock@mail.ru

Zayats Yuri Alexandrovich

Ryazan Guards Higher Airborne Command School
Address: 390031, Russia, Ryazan
Doctor of technical sciences
E-mail: sajua@yandex.ru

Novikov Alexander Nikolaevich

Oryol State University
Address: 302030, Russia, Oryol, Moskovskaya str., 77
Doctor of technical sciences
E-mail: novikovan@ostu.ru

Научная статья
УДК 621.824.32.004.67
doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-24-30

А.В. КОЛОМЕЙЧЕНКО, В.Н. ЛОГАЧЕВ, Н.В. ТИТОВ

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Аннотация. Рассмотрены основные направления и пути совершенствования электродуговой металлизации (ЭДМ). Улучшение физико-механических свойств металлизационных покрытий, кроме применения современных расходных материалов, можно достичь за счет увеличения скорости металло-воздушного потока, применения активированной дуговой металлизации и аэрозольного флюсования при ЭДМ. В работе представлены разработанное оборудование для ЭДМ, и совершенствование технологии ЭДМ по указанным выше направлениям.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, металлизационные покрытия, металлизатор, активированная дуговая металлизация, оборудование

Введение

Цель работы выявить основные направления и пути совершенствования ЭДМ. Несмотря на свой солидный возраст, способ ЭДМ до настоящего времени находится в состоянии развития. Некоторые из направлений развития этого способа представлены в данной работе.

Материал и методы

Для повышения прочности сцепления металлизационных покрытий с основой и улучшения их качества при ЭДМ необходимо стремиться к увеличению скорости металло-воздушного потока (МВП) и снижению окисления расплавленного металла в нем.

Частицы металла будущего покрытия при ЭДМ могут быть защищены от вредного воздействия кислорода и азота воздуха продуктами сгорания газообразного или жидкого топлива либо вдуванием горючего газа (пропана или природного газа) в зону горения дуги [1-3]. Жидкий металл в последнем случае распыляют не струей сжатого воздуха, а продуктами сгорания газов, разогретыми до температуры 2000-2300 К.

Изменением расходов горючего газа и воздуха можно создавать нейтральную или восстановительную среды в зоне плавления электродных материалов и, тем самым, снизить их окисление и выгорание легирующих элементов. Например, при использовании защитно-восстановительной среды количество углерода в покрытии, полученном при ЭДМ с использованием проволок марок У10А и 40Х13, практически не отличается от его содержания в исходных проволоках [3].

Ощутимые результаты по увеличению скорости МВП и снижению окисления металла при ЭДМ были получены путем использования для диспергирования распыленного металла продуктов сгорания газообразного и жидкого углеводородного топлива – пропан-бутана и бензина. Технологии с их использованием носят название активированная дуговая металлизация (АДМ).

К основным преимуществам АДМ можно отнести: значительное снижение окисления напыляемых частиц и выгорания их легирующих элементов; увеличение скорости движения потока напыляемых частиц до сверхзвуковой, что позволяет в среднем в два раза увеличить прочность сцепления покрытий; угол факела распыла не превышает 10°, вследствие чего коэффициент использования напыляемого материала увеличивается до 0,85; пористость покрытий из сталей составляет 2-4 %, а пористость покрытий из алюминиевых сплавов приближается к плотности литого металла. АДМ позволяет наносить покрытия с использованием сплошных или порошковых проволок из стали, бронзы, цинка, алюминия, никрома производительностью до 18 кг/ч [3-5]. Покрытия, полученные АДМ, могут иметь толщину до 5-7 мм.

Разработкой оборудования для АДМ и комплексными исследованиями данного способа занимаются ученые ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» под руководством д.т.н., профессора М.А. Белоцерковского [4-8]. Отличительной особенностью установок, разработанных учеными этой организации, является наличие малогабаритной высокоэффективной камеры сгорания пропано-воздушной сме-

си, продукты сгорания которой образуют на выходе из сопла сверхзвуковую струю со скоростью до 1500 м/с при температуре 2200 К, при этом частицы наносимого металла разгоняются до 500-600 м/с. Отсутствие кислорода в качестве окислителя значительно снижает себестоимость наносимых покрытий и повышает надежность и безопасность проводимых работ. Оригинальная конструкция камеры сгорания и отсутствие в ней водяного охлаждения, использование эффективного катализатора горения и наличие устройства автоматического поджигания смеси существенно повышают надежность оборудования и облегчают работу обслуживающего персонала.

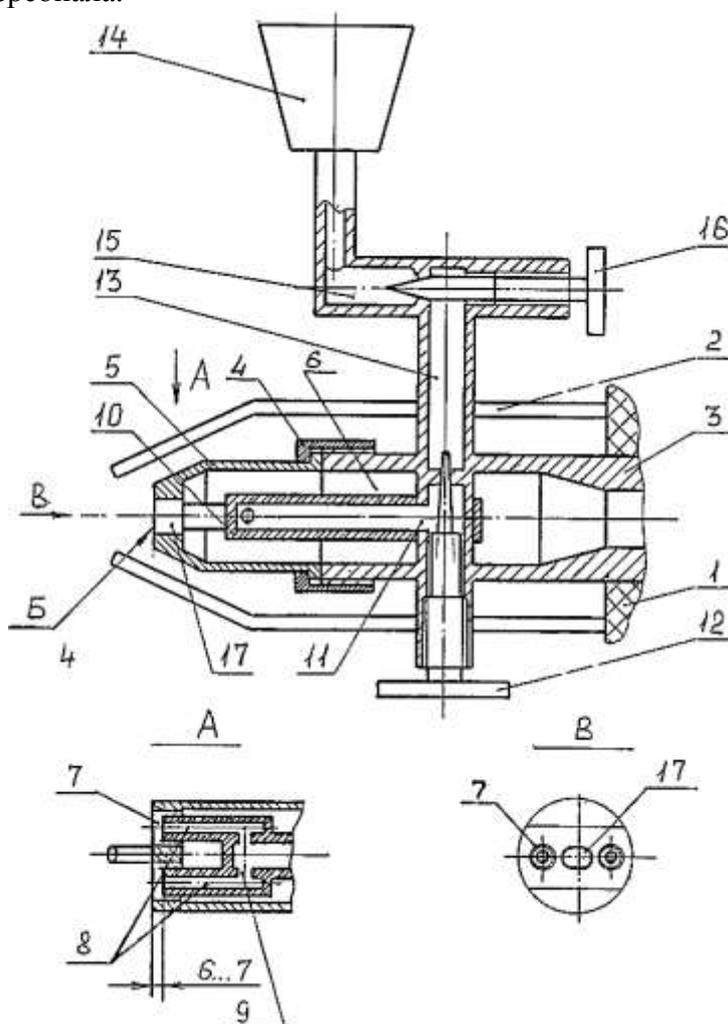


Рисунок 1 – Электродуговой металлizador ЭДМ-6ГД: 1 – изоляционная платформа; 2 – направляющие для электродных проволок; 3 – корпус; 4 – гайка; 5 – крышка; 6 – корпус воздуховода; 7 – кольцевой канал-камера; 8 – топливное сопло; 9, 11 – отверстия; 10 – втулка; 12 – игольчатый вентиль; 13, 15 – каналы подачи топлива; 14 – топливный бачок; 16 – вентиль запорный; 17 – сопло центральное

В Российской Федерации разработчиком оборудования и материалов для АДМ является Уральский институт сварки (г. Екатеринбург). Разработанная и запатентованная институтом экономно-легированная порошковая проволока для АДМ марки ПП-ПМ6 ТУ14-178-456-2004 ряда модификаций, содержащая Fe, C, Cr, Ti, Al в качестве легирующих элементов, отличается мелкокапельным характером распыла [2, 9]. Покрытия, полученные с использованием данной проволоки, имеют высокую износостойкость. Структура получаемого покрытия состоит из мартенсита, остаточного аустенита и карбидов. Проволока ПП-ПМ6 позволяет получать до 80 % метастабильного аустенита, способного превращаться в мартенсит при микроскопических деформациях, вызванных рабочим нагружением [9].

Во ВНИИТУВИД «Ремдеталь» к.т.н. Литовченко Н.Н. и к.т.н. Саблуковым А.С. был разработан металлizador с газодинамическим диспергированием металла ЭДМ-6ГД, в котором энергоноситель – электрическая дуга и сжатый воздух заменен на электрическую дугу и

высокоскоростную струю продуктов сгорания жидкого углеводородного топлива (рис. 1). Другим существенным отличием металлизатора ЭДМ-6ГД от аппаратов АДМ является сгорание топлива вне камеры, то есть внешнее – непосредственно в дуге [3, 10, 11]. За счет эжекции (процесс смешения двух сред, в котором одна среда, находясь под давлением, оказывает воздействие на другую и увлекает ее в требуемом направлении) воздушной струей жидкое топливо распыляется и частично испаряется, смешиваясь с воздухом перед дугой в подводящем канале. Воспламенение и горение происходит после прохождения смеси через электрическую дугу металлизатора при одновременном диспергировании струей газа расплавленного металла. Результаты производственных испытаний подтвердили теоретические исследования, а также простоту, удобство и безопасность работы с таким металлизатором. Твердость покрытий при использовании металлизатора ЭДМ-6ГД увеличивается на 18 %, прочность сцепления – на 56 %, а пористость уменьшается в 2,6 раза.

Увеличение скорости МВП может достигаться не только за счет повышения ее тепловой энергии при сгорании топлива, но и совершенствованием конструкции сопловой части металлизатора. Следуя этим путем и используя зарубежный опыт, в частности систему ТАФА, в ГНУ ГОСНИТИ (лаборатория № 10) был создан металлизатор ЭДМ-7К со сверхзвуковым истечением МВП (560 м/с) и воздушно-поточным концентратором.

Теория / Расчет

Для повышения прочности сцепления и физико-механических свойств металлizationsонных покрытий была предложена и реализована идея аэрозольного флюсования при ЭДМ. Сущность аэрозольного флюсования заключается в том, что в факел диспергированного металла вводится аэрозоль, представляющая собой раствор (в основном водный) различных веществ. Жидкая фаза аэрозоли, диссоциируя при высокой температуре электрической дуги с образованием газообразных составляющих, оказывает на нее и на частицы распыляемого металла защитное или раскисляющее действие [12-18].

Если в качестве растворителя применять воду, то при ее диссоциации ($H_2O \rightarrow H_2 + O$) образующийся водород снижает окислительное действие атмосферного кислорода. Кроме этого, реакция может идти и другим путем, если в состав аэрозоли будет введен углерод: $H_2O + C = CO + H_2$.

Как известно, окись углерода вступает в реакцию с окислами железа и восстанавливает его.

Можно привести в качестве примера такой состав аэрозоли: олово двуххлористое $SnCl_2$ с алюминиевым порошком или веществом, содержащим алюминий, кальцированная сода Na_2CO_3 с графитовым порошком, растворитель – вода. Происходящие химические реакции: при разложении двуххлористого олова на Sn и Cl_2 последний, при контакте с железом разлагается с выделением Al, диффундирующего в Fe; олово, заполняя поры, создает пластичную матрицу, упрочняющую покрытие и делающую его более износостойким и устойчивым против образования трещин; кальцинированная сода Na_2CO_3 разлагается на CO_2 и Na_2O , углекислый газ взаимодействует с углеродом, образует окись углерода ($CO_2 + C = 2CO$). Далее окись углерода раскисляет окись железа.

Конечно, выше приводится в общем виде только часть химических реакций, возможных в процессе ЭДМ с использованием аэрозольного флюсования. При его реализации могут происходить и другие окислительно-восстановительные реакции, например, восстановление железа при окислении олова, выступающего в роли раскислителя. При вводе в факел жидких аэрозольных материалов происходит не только защита металла от окисления, но и легирование металла покрытия для повышения его физико-механических свойств.

В результате химических реакций, происходящих в факеле распыла, могут образовываться вещества, активно повышающие прочность сцепления покрытия с основой, при этом возможно повышение и когезионной прочности. Так, например, при нагреве ферросплавов (сплав железа с различными элементами: хлором, алюминием и т.д.) реагирует с хлористым аммонием (NH_4Cl) и в результате образуются летучие легко разлагающиеся хлориды ($AlCl_3$,

CaCl₂ и др.) [12-17]. При соударении с металлической поверхностью эти вещества диссоциируют с выделением активного элемента, диффундирующего в поверхность металла.

Литовченко Н.Н. и Шевченко В.П. [19] было предложено использовать для аэрозольного флюсования при ЭДМ хлорид аммония NH₄Cl, который способствует удалению окислительной пленки с напыляемого металла и подложки и препятствует окислению в процессе напыления, что обеспечивает повышение прочности сцепления покрытия с основой. Расход раствора устанавливают из условия его максимальной диссоциации в дуге металлатора, что, в свою очередь, зависит от мощности дуги и производительности металлатора. Стабильность горения электрической дуги обеспечивается при расходе раствора, равном $0,5...8 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$.

Выбор концентрации хлорида аммония в воде обусловлен условиями образования максимального количества галогенидов при минимальном количестве непрореагировавшего флюса. Она зависит от химического состава электродного материала, производительности процесса ЭДМ и расхода раствора. При ЭДМ различных материалов, в частности, углеродистых и низколегированных сталей, концентрация хлорида аммония составляет 1,0-1,5 % от веса раствора.

При нанесении покрытия из стали У10 металлатором ЭМ-12 с производительностью металлизации 3×10^{-3} кг/с рациональными являются следующие режимы процесса: напряжение на дуге – 30 В при силе тока 280А, дистанция ЭДМ – 140 мм, объем расхода воздуха – 0,35 м³/с при его давлении 0,6 МПа. Расход раствора флюса в воде – 2 мл/с при его концентрации 1,5 %. Для нанесения покрытия из стали 12Х18НГТ с производительностью металлизации $4,7 \times 10^{-3}$ мг/с на дуге поддерживают напряжение 30В при токе 450 А. Объемный расход воздуха – 0,035 м³/с при давлении 0,5 МПа.

Результаты и обсуждение

Эксплуатационные испытания показали эффективность использования аэрозольного флюсования при ЭДМ. Было установлено увеличение прочности сцепления металлизационных покрытий более чем в 2 раза, задиростойкости покрытий на 25 %, твердости покрытий из проволок марки Св-08 на 40 % и, соответственно, значительное повышение износостойкости по сравнению с покрытиями, нанесенными без аэрозоли [12-24].

Для аэрозольного флюсования при ЭДМ используют гидродиспергатор, показанный на рисунке 2.



Рисунок 2 – Электродуговой металлатор в работе с гидродиспергатором для аэрозольного флюсования:
1 – гидродиспергатор, 2 – металлатор, 3 – фильтр для очистки сжатого воздуха

Гидродиспергатор представляет собой стальной цилиндр, в котором с помощью сжатого воздуха диспергируется (измельчается до состояния тумана) водный раствор флюса. В таком виде, как показано на рисунке 2, гетерофазный поток направляется в электрическую дугу металлатора, где и происходит диссоциация раствора и другие фазовые превращения по реакциям, которые приводятся выше.

В результате проведенных исследований выявлено, что повышение физико-механических свойств металлизационных покрытий можно достичь за счет применения современных расходных материалов, использования оборудования, которое позволяет увеличить скорость металло-воздушного потока, применения активированной дуговой металлизации, использования при ЭДМ аэрозольного флюсования.

Выводы

Многофункциональность покрытий, получаемых при ЭДМ, способствует их применению в различных отраслях промышленности. При этом номенклатура восстанавливаемых и упрочняемых данным способом деталей машин постоянно расширяется. Тем не менее, возможности способа исследованы еще далеко не полностью. Продолжаются работы по совершенствованию оборудования и технологических приемов для повышения прочности сцепления металлизационных покрытий с поверхностями деталей и снижения окисления расплавляемого металла при ЭДМ. Ведутся активные работы в области гиперзвуковой металлизации. Следует также отметить пристальный интерес ученых различных стран мира к ЭДМ. Достаточно большое количество работ, посвященных нанесению газотермических покрытий данным методом, опубликовано в последнее десятилетие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдаев, Л.Х. Газотермическое напыление: учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Л.Х. Балдаева - М.: Маркет ДС, 2007. - 344 с.
2. Бороненков, В.Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности - Екатеринбург: Уральский университет, 2012. - 268 с.
3. Восстановление деталей машин: справочник / Под ред. В.П. Иванова - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
4. Белоцерковский М.А., Сосновский А.В., Трусов Д.И. и др. Особенности восстановления деталей методами металлизации с использованием композиционных порошковых проволок // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. - 2017. - №3. - С. 97-104.
5. Белоцерковский М.А., Прядко А.С. Активированное газопламенное и электродуговое напыление покрытий проволочными материалами // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2006. - №12. - С. 17-23.
6. Белоцерковский М.А., Сосновский А.В., Григорчик А.Н. и др. Перспективы замены гальванического хромирования гиперзвуковой металлизацией // Актуальные вопросы машиноведения. - 2014. - Вып. 3. - С. 324-328.
7. Белоцерковский М.А., Сосновский А.В., Дудан А.В. Оценка возможности использования гиперзвуковой металлизации при восстановлении элементов гидросистем // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. - 2015. - №11. - С. 36-42.
8. Белоцерковский, М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий – Минск: Технопринт, 2004. - 200 с.
9. Коробов Ю.С., Щербаков Ю.В., Кашфуллин А.М. Использование порошковой проволоки для активированной дуговой металлизации // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. - 2012. - №5. - С. 43-45.
10. Пат. RU 2220008 С1. Электродуговой металлизатор / Литовченко Н.Н., Лялякин В.П., Саблуков А.С. - № 2002118457/12; Заявл. 11.07.02.
11. Денисов В.И., Литовченко Н.Н., Логачев В.Н., Толкачев А.А. Активация процесса электродуговой металлизации жидким углеводородным топливом // Труды ГОСНИТИ. - 2015. - Т. 120. - С. 160-165.
12. Логачев В.Н., Литовченко Н.Н. Электродуговая металлизация: пути совершенствования оборудования и технологии // Труды ГОСНИТИ. - 2014. - Т. 117. - С. 228-234.
13. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А. Недостатки процесса электродуговой металлизации и способы их устранения // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин. – Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. - 2018. - С. 437-440.
14. Логачев В.Н. Свойства покрытий полученных электродуговой металлизацией с применением аэрозольного флюсования // Труды ГОСНИТИ. - 2018. - Т. 130. - С. 184-189.
15. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А., Величко С.А., Чумаков П.В. Толщина и микротвердость покрытия полученного сверхзвуковой электродуговой металлизацией с применением аэрозольного флюсования // Инновационные технологии реновации в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. - Москва: Московский государственный областной университет. - 2019. - С. 114-118.
16. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А. Целесообразность использования аэрозольного флюсования при электродуговой металлизации // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2018. - №3(47). - С. 62-68.

17. Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Логачев В.Н., Литовченко Н.Н., Пузряков А.Ф. Улучшение физико-механических свойств покрытий, полученных электродуговой металлization // Строительные и дорожные машины. - 2015. - №7. - С. 25-29.

18. Пат. RU 2710093 С1. Способ нанесения покрытий электродуговой металлization / Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А. - №2019102435; Заявл. 29.01.19 // 2019.

19. А1 SU 1183562 Способ электродуговой металлization / Литовченко Н.Н., Шевченко В.П. - №3379771; Заявл. 04.12.81 // 1985.

20. Соловьев, С.А. Система стандартизации ФГБНУ ГОСНИТИ. Восстановление деталей методом сверхзвуковой электродуговой металлization. Технологический процесс: СТО ГОСНИТИ 3.007-2015 – М.: Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка Россельхозакадемии, 2015. - 28 с.

21. Лялякин В.П., Степанов А.Г., Кремень З.И. Механическая обработка восстанавливаемых и упрочненных деталей // Современные технологии восстановления и упрочнения деталей - эффективный способ повышения надежности машин. - М. - 1996. - С. 55-58.

22. Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. - 568 с.

23. Воропай Н.М., Мажейка А.И., Маркович С.И. Распределение температуры в воздушной струе и напыляемой основе при электродуговой металлization // Автоматическая сварка. - 2004. - №5. - С. 18-21.

24. Дудан А.В., Ворона Т.В., Довжук С.А. и др. Выбор оборудования для упрочнения и восстановления деталей автомобилей электродуговым напылением // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. - 2014. - №11. - С. 121-126.

Коломейченко Александр Викторович

Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»
Адрес: 125438, Россия, г. Москва, ул. Автомоторная, 2а
Д.т.н., профессор, заведующий отделом перспективных технологий
E-mail: kolom_sasha@indox.ru

Логачев Владимир Николаевич

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
К.т.н., доцент, доцент кафедры «Надежность и ремонт машин»
E-mail: logvovan@mail.ru

Титов Николай Владимирович

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Надежность и ремонт машин»
E-mail: ogau@mail.ru

A.V. KOLOMEICHENKO, V.N. LOGACHEV, N.V. TITOV

**DIRECTIONS OF IMPROVEMENT
OF ELECTRIC ARC METALLIZATION**

***Abstract.** The main directions and ways of improving electric arc metallization (EDM) are considered. Improvement of physical and mechanical properties of metallization coatings, in addition to the use of modern consumables, can be achieved by increasing the metal-air flow rate, the use of activated arc metallization and aerosol fluxing in EDM. The paper presents the developed equipment for EDM, and the improvement of EDM technology in the above areas.*

***Keywords:** electric arc metallization, metallization coatings, metallizer, activated arc metallization, equipment*

BIBLIOGRAPHY

1. Baldaev, L.H. Gazotermicheskoe napylenie: uchebnoe posobie dlya vuzov / Pod obshch. red. L.H. Baldaeva - М.: Market DS, 2007. - 344 s.
2. Boronenkov, V.N. Osnovy dugovoy metallizatsii. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti - Ekaterinburg: Ural'skogo universiteta, 2012. - 268 s.
3. Vosstanovlenie detaley mashin: spravochnik / Pod red. V.P. Ivanova - М.: Mashinostroenie, 2003. - 672 s.
4. Belotserkovskiy M.A., Sosnovskiy A.V., Trusov D.I. i dr. Osobennosti vosstanovleniya detaley metodami metallizatsii s ispol'zovaniem kompozitsionnykh poroshkovykh provolok // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost'. Prikladnye nauki. - 2017. - №3. - S. 97-104.
5. Belotserkovskiy M.A., Pryadko A.S. Aktivirovannoe gazoplamennoe i elektrodugovoe napylenie pokrytiy provolochnymi materialami // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. - 2006. - №12. - S. 17-23.

6. Belotserkovskiy M.A., Sosnovskiy A.V., Grigorichik A.N. i dr. Perspektivy zameny gal'vanicheskogo khromirovaniya giperzvukovoy metallizatsiy // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. - 2014. - Vyp. 3. - S. 324-328.
7. Belotserkovskiy M.A., Sosnovskiy A.V., Dudan A.V. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya giperzvukovoy metallizatsii pri vosstanovlenii elementov gidrosistem // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost'. Prikladnye nauki. - 2015. - №11. - S. 36-42.
8. Belotserkovskiy, M.A. Tekhnologii aktivirovannogo gazoplamnogo napyleniya antifriktsionnykh pokrytiy - Minsk: Tekhnoprint, 2004. - 200 s.
9. Korobov Yu.S., Shcherbakov Yu.V., Kashfullin A.M. Ispol'zovanie poroshkovoy provoloki dlya aktivirovannoy dugovoy metallizatsii // Vestnik FGOU VPO MGAU. - 2012. - №5. - S. 43-45.
10. Pat. RU 2220008 C1. Elektrodugovoy metallizator / Litovchenko N.N., Lyalyakin V.P., Sablukov A.S. - № 2002118457/12; Zayavl. 11.07.02.
11. Denisov V.I., Litovchenko N.N., Logachev V.N., Tolkachev A.A. Aktivatsiya protsessa elektrodugovoy metallizatsii zhidkim uglevodorodnym toplivom // Trudy GOSNITI. - 2015. - T. 120. - S. 160-165.
12. Logachev V.N., Litovchenko N.N. Elektrodugovaya metallizatsiya: puti sovershenstvovaniya oborudovaniya i tekhnologii // Trudy GOSNITI. - 2014. - T. 117. - S. 228-234.
13. Kolomeychenko A.V., Logachev V.N., Izmalkov A.A. Nedostatki protsessa elektrodugovoy metallizatsii i sposoby ikh ustraneniya // Aktual'nye problemy agroinzhenerii v XXI veke: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchionnoy 30-letiyu kafedry tekhnicheskoy mekhaniki konstruirovaniya mashin. - Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.Ya. Gorina. - 2018. - S. 437-440.
14. Logachev V.N. Svoystva pokrytiy poluchennykh elektrodugovoy metallizatsiy s primeneniem aerozol'nogo flyusovaniya // Trudy GOSNITI. - 2018. - T. 130. - S. 184-189.
15. Kolomeychenko A.V., Logachev V.N., Izmalkov A.A., Velichko S.A., Chumakov P.V. Tolshchina i mikrotrverdst' pokrytiya poluchennogo sverkhzvukovoy elektrodugovoy metallizatsiy s primeneniem aerozol'nogo flyusovaniya // Innovatsionnye tekhnologii renovatsii v mashinostroenii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchionnoy 150-letiyu fakul'teta «Mashinostroitel'nye tekhnologii» i kafedry «Tekhnologii obrabotki materialov» MGTU im. N.E. Baumana. - Moskva: Moskovskiy gosudarstvennyy oblastnoy universitet. - 2019. - S. 114-118.
16. Kolomeychenko A.V., Logachev V.N., Izmalkov A.A. Tselesoobraznost' ispol'zovaniya aerozol'nogo flyusovaniya pri elektrodugovoy metallizatsii // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2018. - №3(47). - S. 62-68.
17. Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Logachev V.N., Litovchenko N.N., Puzryakov A.F. Uluchshenie fi-ziko-mekhanicheskikh svoystv pokrytiy, poluchennykh elektrodugovoy metallizatsiy // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2015. - №7. - S. 25-29.
18. Pat. RU 2710093 C1. Sposob naneseniya pokrytiy elektrodugovoy metallizatsiy / Kolomeychenko A.V., Logachev V.N., Izmalkov A.A. - №2019102435; Zayavl. 29.01.19 // 2019.
19. A1 SU 1183562 Sposob elektrodugovoy metallizatsii / Litovchenko N.N., Shevchenko V.P. - №3379771; Zayavl. 04.12.81 // 1985.
20. Solov'ev, S.A. Sistema standartizatsii FGBNU GOSNITI. Vosstanovlenie detaley metodom sverkhzvukovoy elektrodugovoy metallizatsii. Tekhnologicheskii protsess: STO GOSNITI 3.007-2015 - M.: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy tekhnologicheskii institut remonta i ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka Rossel'khozakademii, 2015. - 28 s.
21. Lyalyakin V.P., Stepanov A.G., Kremen' Z.I. Mekhanicheskaya obrabotka vosstanavlivaemykh i uprochnennykh detaley // Sovremennye tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detaley - effektivnyy sposob povysheniya nadezhnosti mashin. - M. - 1996. - S. 55-58.
22. Chernoiyanov, V.I. Organizatsiya i tekhnologiya vosstanovleniya detaley mashin - M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2016. - 568 s.
23. Voropay N.M., Mazheyka A.I., Markovich S.I. Raspredelenie temperatury v vozduшной струе i napylyaemoy osnove pri elektrodugovoy metallizatsii // Avtomaticheskaya svarka. - 2004. - №5. - S. 18-21.
24. Dudan A.V., Vorona T.V., Dovzhuk S.A. i dr. Vybora oborudovaniya dlya uprochneniya i vosstanovleniya detaley avtomobiley elektrodugovym napyleniem // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost'. Prikladnye nauki. - 2014. - №11. - S. 121-126.

Kolomeichenko Alexander Viktorovich

Central Research Automobile and Automotive Institute
Address: 125438, Russia, Moscow, Avtomotornaya str.
Doctor of technical sciences
E-mail kolom_sasha@inbox.ru

Titov Nikolay Vladimirovich

Oryol State Agrarian University
Address: 302019, Russia, Orel, Generala Rodina str., 69
Candidate of technical sciences
E-mail ogau@mail.ru

Logachev Vladimir Nikolaevich

Oryol State Agrarian University
Address: 302019, Russia, Orel, Generala Rodina str., 69
Candidate of technical sciences
E-mail logvoan@mail.ru

Научная статья
УДК 621.824
doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-31-38

С.А. СУХАНОВ, А.Н. НОВИКОВ, Х.М. ТАХТАМЫШЕВ

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПО УСКОРЕННОЙ ПРИРАБОТКЕ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

***Аннотация.** В статье обосновывается целесообразность проведения капитального ремонта двигателей внутреннего сгорания современных автомобилей, приводится краткий анализ процессов их последующей приработки, а также методик диагностирования их в условиях эксплуатации автомобилей. На базе проведенного анализа обосновывается актуальность проведения процесса приработки в оптимальном режиме, для чего предлагается методика ускоренной приработки отремонтированных двигателей в условиях автомобильных сервисов с использованием комплекса диагностических средств.*

***Ключевые слова:** двигатели внутреннего сгорания, диагностические средства, приработка, испытания, капитальный ремонт, давление, надпоршневое пространство, автомобили, углеродный след*

Введение

В последние десятилетия проблема сохранения природы и климата стала одной из ключевых в мировом масштабе. Усилиями ученых различных стран были выявлены основные направления человеческой деятельности, способствующих повышению рисков наступления катастрофических последствий для всего человечества. Одним из таких угроз является углеродный след, связанный с производственной деятельностью, особенно в машиностроительной промышленности и на транспорте. Значительные возможности снижения негативных последствий для климата Земли лежат в области производства и эксплуатации автомобилей. Принимая во внимание эти обстоятельства ужесточаются современные климатические требования к экологичности автомобилей и к ведущим мировым автопроизводителям по снижению углеродного следа. Однако до настоящего времени величина углеродного следа от производства новых автомобилей ведущими производителями автомобильной и тракторной техники остается высокой и тенденции к его существенному снижению не наблюдается. Менее дорогостоящей для существенного снижения углеродного следа является стратегия экономии средств и ресурсов за счет восстановления основных компонентов двигателей автомобилей. Это связано прежде всего с тем, что углеродный след от добычи и переработки полезных ископаемых, а также производства новых деталей автомобиля существенно выше, чем от восстановления уже бывших в употреблении компонентов.

Так компанией Liebherr был произведен сравнительный анализ зависимости экологической нагрузки, возникающей при восстановлении компонентов, от величины нагрузки при производстве новых агрегатов и деталей, на основании которого были получены величины эмиссии CO₂ в зависимости от метода восстановления коленчатого вала и картера ДВС (рис. 1).

В результате исследований компанией была разработана система заводского восстановления изношенных деталей Liebherr Reman, которая успешно применяется на практике.

Таким образом, в связи с тем, что в настоящее время мировой парк автомобилей в подавляющем большинстве оснащен двигателями внутреннего сгорания, капитальный ремонт которых, как указано выше, целесообразен экономически и экологически до полной замены ДВС электродвигателями, проблема совершенствования технологии их восстановления остается одной из наиболее актуальных не только в ближайшей, но и в отдаленной перспективе.

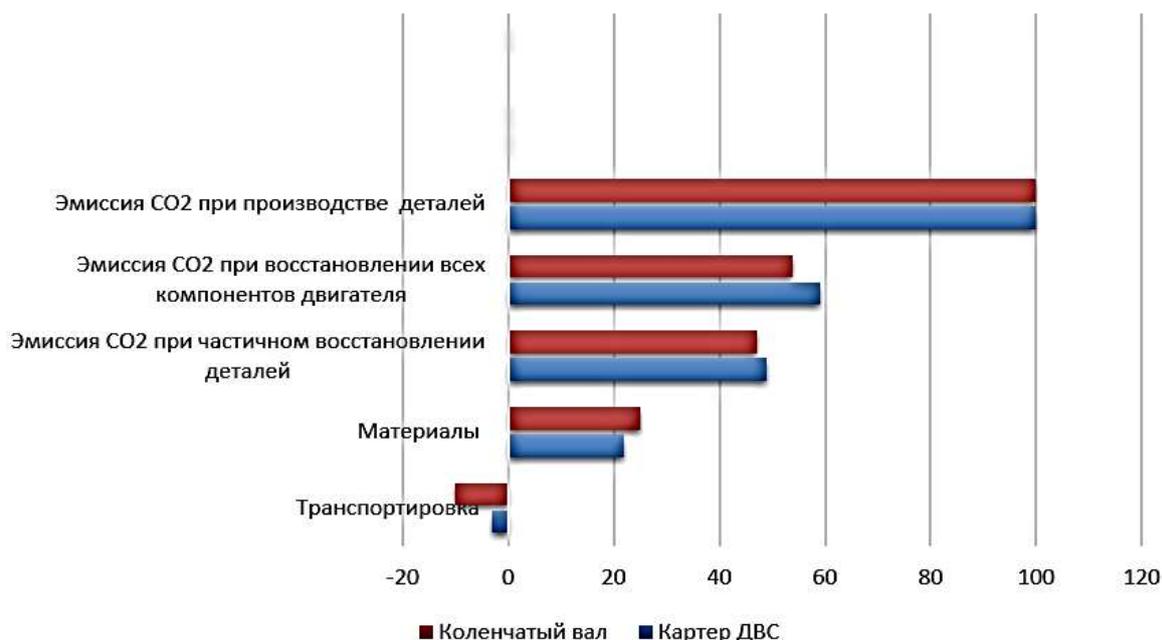


Рисунок 1- изменение величины углеродного следа в зависимости от метода восстановления работоспособности агрегата: заводское восстановление компонента позволило уменьшить «углеродный след» на 60 % по сравнению с производством нового агрегата, даже если в ходе восстановления двигателя (или другого компонента) ключевые детали заменялись новыми запчастями, «углеродный след» всё равно удастся уменьшить почти на 50%; затраты на материалы при восстановительном ремонте ниже на 78 % от затрат при производстве новых деталей

Материал и методы

Возвращаясь к проблеме повышения ресурса ДВС после капитального ремонта, следует отметить, что по результатам широких исследований [1-4] надежность автомобильного парка главным образом определяется материалами и технологиями, применяемыми в машиностроении и ремонтном производстве, а также условиями его эксплуатации, регламентом технического обслуживания ТО и ремонтов. в первую очередь ДВС. Между тем долговечность ДВС является низкой вследствие недостаточной износостойкости их деталей, а также нарушения оптимального процесса приработки в начале эксплуатации или после капитального ремонта, в результате чего снижается ресурс автомобиля в целом.

Согласно проведенным исследованиям, в свою очередь межремонтный ресурс ДВС автомобиля в значительной мере зависит от качества приработки одного из самых ответственных узлов - цилиндра-поршневой группы (ЦПГ), на долю которой приходится до 47 % отказов двигателя [5]. Нарушение условий работы ЦПГ двигателя из-за низкого качества приработки вызывает значительные изменения основных характеристик двигателя, поскольку возрастают утечки рабочей смеси из камеры сгорания, уменьшается мощность, повышается расход топлива и смазки, увеличивается шумность работы двигателя и др. Такое влияние ЦПГ на долговечность двигателя объясняется наиболее тяжелыми условиями её работы, особенно в период обкатки, в связи с чем повышение качества приработки ЦПГ двигателя, как узла, работающего в экстремальных условиях, и определяющего ресурс двигателя в целом, является актуальной задачей. При этом целесообразно уменьшить по возможности период обкатки, поскольку соблюдение оптимальных режимов нагрузки в условиях эксплуатации требует длительного контроля и внимания со стороны водителей. Вместе с тем в отечественной литературе инструментальному контролю процесса приработки уделялось до настоящего времени недостаточно внимания. Отдельные исследования в этом направлении базировались на контроле 1-2-х диагностических параметров, которые не могли дать достоверных результатов о ходе процесса приработки. В этой связи авторами была разработана методика комплексного контроля процесса приработки на базе нескольких диагностических параметров, которая показала при испытаниях высокую достоверность результатов [6]. Не умаляя значимость полученных результатов, следует отметить, что данная методика требует

проведения длительных наблюдений с применением специальных средств. Вместе с тем для практики имеет большое значение упрощенной методики проведения испытаний, которая может быть применена массово на практике с учетом имеющейся оснащенности автосервисов средствами диагностики. В этой связи была поставлена задача разработки методики проведения ускоренной обкатки, которая не должна была снижать качество обкатки ввиду значительного влияния этого процесса на ресурс двигателя. Исходя из этого, основной целью при ускоренной обкатке являлось обеспечение качественной и быстрой приработки деталей ЦПГ двигателя, не уступающей существенно по результатам традиционным режимам приработки. При рассмотрении этого вопроса чрезвычайно важно было обратить внимание на процессы, происходящие при изнашивании и факторы, способствующие его ускорению.

Теория

Так, по результатам многочисленных исследований [6], известно что интенсивность изнашивания и характер его протекания зависят от большого числа факторов: качества поверхности трения; правильности сборки деталей и их взаимного положения после сборки; нагрузки; скорости скольжения; температуры поверхностей трения и ее изменения с течением времени; качества смазочного материала; характера изменения нагрузки и др.

Неблагоприятное сочетание влияющих факторов может затруднить приработку или даже сделать ее невозможной из-за серьезных повреждений поверхностей трения. К таким результатам приводят, в частности, чрезмерно высокие нагрузки, слишком большие или очень малые скорости скольжения, повышенная температура, недостаточная или низкоэффективная смазка и др. При правильно выполняемой приработке форма деталей, шероховатость и физико-механические свойства поверхностей улучшаются.

В зависимости от сочетания перечисленных факторов выявляется характер изнашивания трущихся поверхностей. Основными при приработке деталей являются механическое и молекулярно-механическое изнашивание.

Результаты

Исходя из вышеизложенного был разработан новый способ ускоренной бесстендовой обкатки двигателей внутреннего сгорания после капитального ремонта, а также выявлен комплекс диагностических признаков, позволяющих определить реальную продолжительность приработки деталей двигателя в условиях гаражного автосервиса.

В этой связи для установления диагностических признаков, характеризующих состояние конструктивных параметров цилиндрично-поршневой группы и подшипников коленчатого вала двигателей автомобилей марки Лада-гранта были проведены экспериментальные исследования путем измерения диагностических параметров на шести капитально отремонтированных двигателях ВАЗ-11186 автомобилей марки Lada Granta 219010 после капитального ремонта ЦПГ при различной наработке. Для этого использовались несколько видов диагностического оборудования: диагностический компьютерный сканер Scanmatic 2 pro, компрессометр, эндоскоп электронный, U-образный манометр для измерения количества прорывающихся в картер газов, ключ динамометрический, пневмотестер.

Испытания производились следующим образом.

После установки капитально отремонтированного двигателя на автомобиль, производили его заправку техническими жидкостями, к блоку управления автомобиля подключался диагностический сканер для контроля параметров работы двигателя в реальном времени.

В процессе испытаний измерялись следующие параметры:

- температура охлаждающей жидкости;
- скорость вращения коленчатого вала;
- удельная нагрузка на двигатель, рассчитываемая диагностическим сканером;
- длительность импульса впрыска топливной форсунки при установившихся холостых оборотах холостого хода.

Также с помощью диагностического сканера через блок управления двигателя задавалась определенная величина оборотов коленчатого вала для имитации работы на обкаточном стенде. Имитация работы нагрузочного стенда осуществлялась за счет включения до-

полнительных потребителей электрического тока (вентилятор охлаждения, фары головного света, вентилятор отопителя).

При проведении испытаний был разработан следующий алгоритм обкатки двигателя в лабораторных условиях

Перед запуском измерялась величина сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя динамометрическим ключом.

Производился первичный запуски работа капитально отремонтированного двигателя на установившемся холостом ходу 860-900 об/мин. в течении 15-20 минут в соответствии с типовыми технологиями обкатки ДВС, применяемыми в ремонтных предприятиях и научно-исследовательских центрах для определения дефектов при сборке и установке, измерялась величина прорыва рабочих газов в картер двигателя. Осуществлялся визуальный осмотр и прослушивание на наличие подтеканий и посторонних шумов при работе. После остановки двигателя производились замеры величины давления в надпоршневом пространстве и величины сопротивления проворачиванию двигателя и герметичности камеры сгорания.

При достижении рабочей температуры двигателя приступали ко второму этапу обкатки: величина оборотов коленчатого вала устанавливалась равной 1600 об./мин в течении 60 минут, что согласно рекомендациям большинства ученых [7-10] по горячей обкатке двигателя, является оптимальным условием для исключения возникновения граничного трения в результате масляного голодания трущихся поверхностей. Отвод тепла от двигателя осуществлялся за счет работы вентилятора системы охлаждения автомобиля. По истечению заданного времени производился замер величины давления в надпоршневом пространстве, величины сопротивления проворачиванию двигателя, и герметичности камеры сгорания. Наряду с этим фиксировались индивидуальные параметры работы двигателя без нагрузки для их сравнения с параметрами в ходе дистанционного диагностирования, так как каждый капитально отремонтированный двигатель фактически имеет индивидуальные характеристики работы.

На третьем этапе лабораторных испытаний с помощью диагностического сканера устанавливались обороты коленчатого вала двигателя, равными 1600 об./мин, в течение 60 минут, нагрузка на двигатель осуществлялась за счет включения потребителей тока.

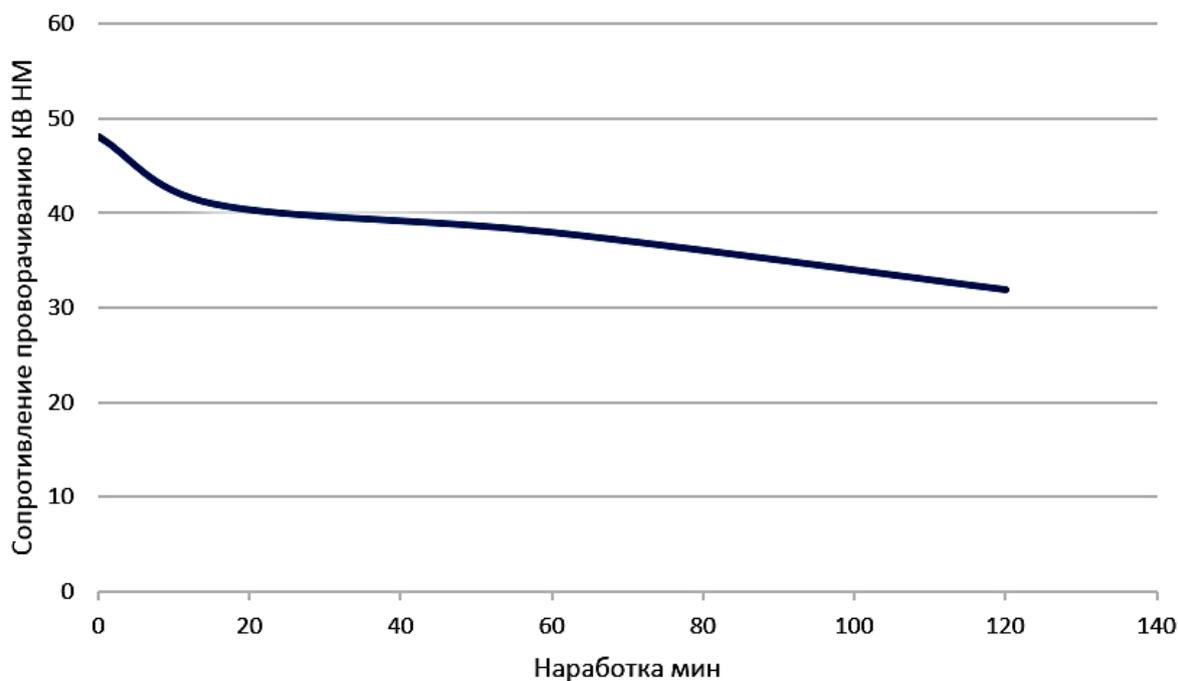


Рисунок 2 - Изменение величины проворачивания коленчатого вала в зависимости от наработки

При 15 минутной наработке двигателя величина сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя уменьшилась на 7 НМ, через 60 минут наработки на 10 НМ, при наработке двигателя 120 минут на 16 НМ. В первом периоде приработке двигателя величина

сопротивления вращению снижалась значительно быстро, на последующих этапах значение изменялось менее интенсивно.

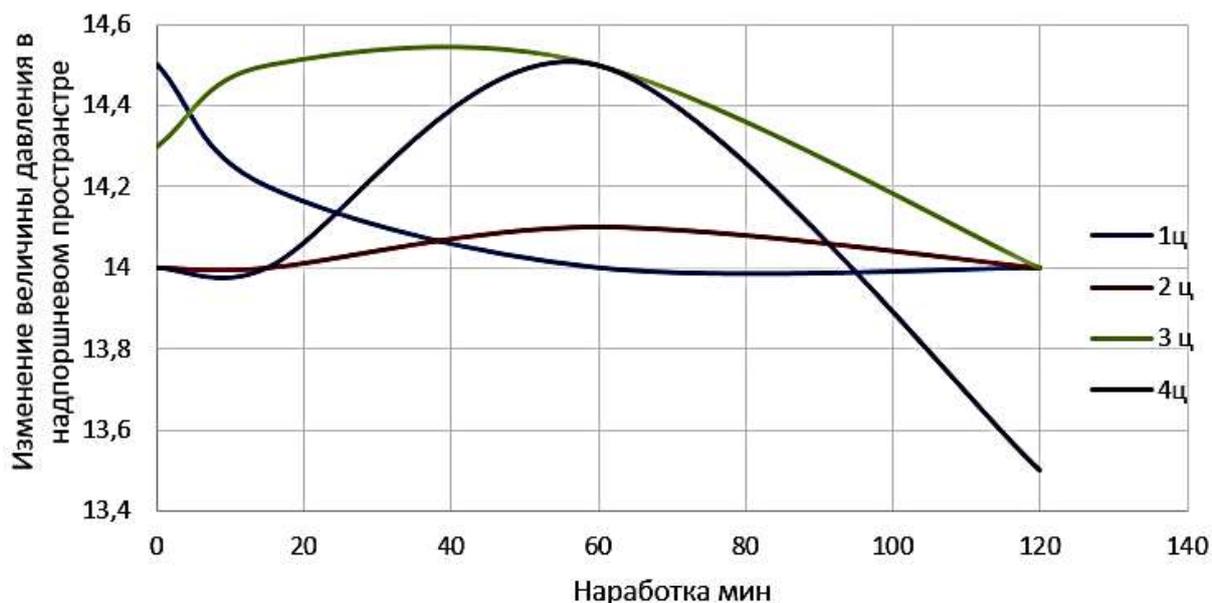


Рисунок 3 – Изменение величины давления в надпоршневом пространстве в зависимости от наработки

Величина давления в надпоршневом пространстве в после первого пуска двигателя изменяется неравномерно, что, вероятно, связано с качеством поверхности трения после механической обработки стенок гильз цилиндров. Показатели разности давления не выходили за допустимые заводские значения.

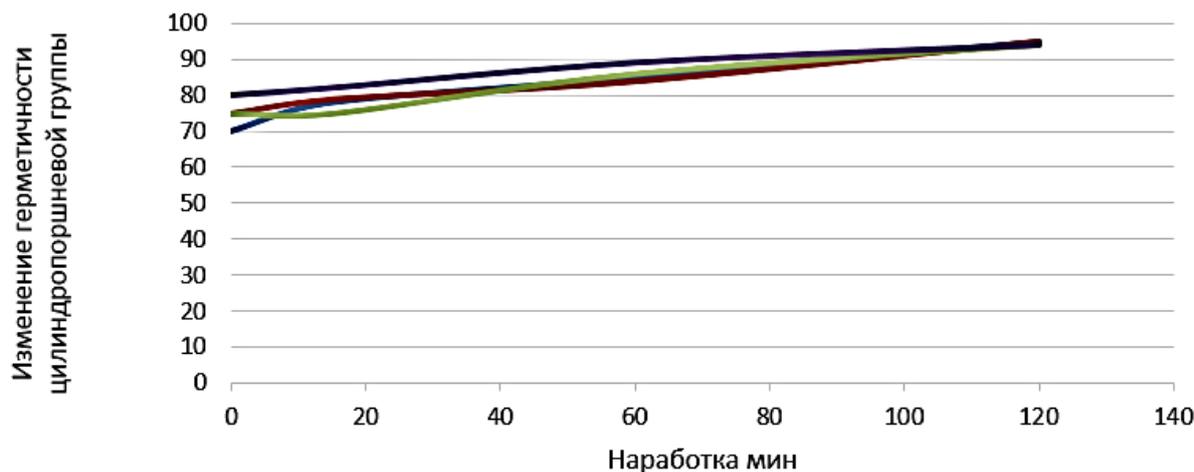


Рисунок 4 - Измерение величины герметичности ЦПГ с помощью пневмотестера

Перед первым запуском двигателя разность величины герметичности по цилиндрам составила 10 %, после 120 минут приработки по предлагаемому алгоритму разность составила менее 2 %.

На заведенном двигателе с установившимися оборотами холостого хода с помощью U-образного манометра измеряли величину прорыва рабочих газов в картер двигателя. При первом запуске величина прорыва газов составила 12 мм по шкале манометра. После непродолжительного времени работы прорыв газов стал увеличиваться на следующих этапах, количество прорывающихся газов в картер двигателя стало плавно снижаться.

Длительность импульса впрыска топливной форсунки измеряли с помощью диагностического сканера, так как по данному показателю можно косвенно судить о величине нагрузки на двигатель в процессе приработки трущихся компонентов. При первичном пуске двигателя длительность импульса впрыска топливной форсунки составила 5,65 мс. По мере приработки двигателя длительность импульса плавно уменьшалась, при наработке двигателя

равной 120 мин длительность импульса впрыска составила 4,95 мс, изменение длительности импульса впрыска составило 12 % от изначального значения.

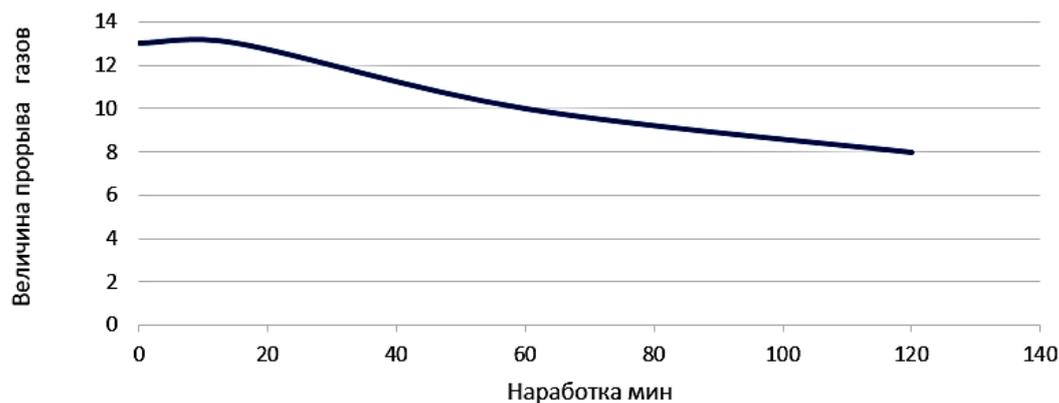


Рисунок 5 – Величина прорыва газов, мм

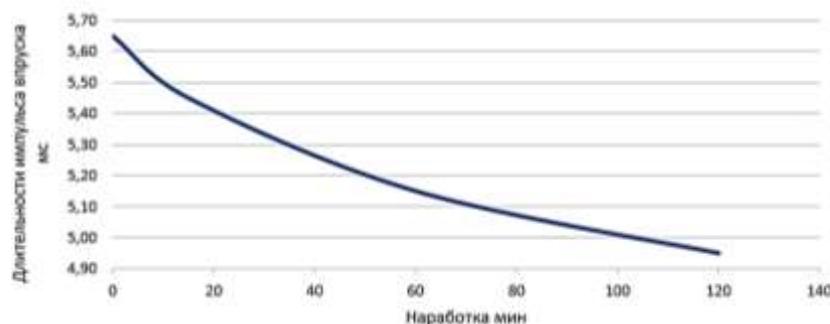


Рисунок 6 – Длительность импульса впрыска форсунки, мс

Обсуждение

Из результатов измерений предположительно можно сделать вывод, что за время обкатки двигателя с помощью представленной методики происходит формирование первоначального установившегося износа за счет сглаживания микронеровностей на сопрягаемых деталях, возникших при механической обработке деталей. Это выражается в уравнивании баланса мощности по цилиндрам, величины компрессии и снижения сопротивления проворачиванию коленчатого вала. Также уменьшается время открытия топливных форсунок и снижается расчетная нагрузка работы двигателя, что косвенно указывает на уменьшение величины механических потерь в двигателе при его работе.

Выводы

Таким образом на основании комплекса косвенных диагностических признаков можно судить о завершении процесса приработки с точностью, приемлемой на практике при отсутствии возможностей проведения длительных испытаний, дающих более точные результаты и более благоприятный режим приработки. В связи с тем, что представленная методика первоначальной ускоренной обкатки двигателя после капитального ремонта не требует дорогостоящих стендов по обкатке, ее можно рекомендовать для применения в условиях небольших мастерских и гаражных автосервисов, располагающих предложенным набором диагностических средств. Широкое внедрение разработанной методики позволит сохранить значительные средства автовладельцев и снизить углеродный след в масштабе системы автосервиса страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов, Д. Н. Триботехника «износ и безызносность» - М.: МСХА, 2001. – 611 с.
2. Беркович, И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: учеб. для вузов / Под ред. Д.Г. Громаковского – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2000. – 268 с.
3. Куксенова Л.И. Закономерности структурных изменений и массоперенос в поверхностных слоях и их влияние на износ трибосопряжений медный сплав-сталь: Дис. ... д-ра. техн. наук. - М.: 1990. - 475 с.
4. Коломейченко А.В., Титов Н.В. Износостойкость подвижных соединений, содержащих детали с модифицированными МДО-покрытиями //Тракторы и сельхозмашины. - 2010. - №4. - С. 50-51.

5. А. С. 267199 СССР. Способ определения герметичности над-поршневого пространства в цилиндрах ДВС / А.С. Гребенников, Ю.А. Борисов. - Б.И., 1986. - №40.
6. Суханов С.А., Новиков А.Н., Тахтамышев Х.М. К вопросу о приработке цилиндрично-поршневой группы двигателей автомобилей после капитального ремонта / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 315-320.
7. Гаркунов, Д.Н. Триботехника - М.: Машиностроение, 1986. - 424 с.
8. Карпенко М.А. Интенсификация процесса приработки двигателей УМЗ применением присадок в масло с ПАВ и ХАВ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Пенза, 2002. - 18 с.
9. Михлин, В.М. Прогнозирование технического состояния машин - М.: Колос, 1976. - 288 с.
10. Ждановский, Н.С. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. - Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1974. - 223 с.
11. Стечкин, Б.С. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного двигателя - М.: АН СССР, 1960. - 200 с.
12. Авдонькин, Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей - М.: Транспорт, 1985. - 215 с.
13. Гребенников, А.С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. - 196 с.
14. Кугель Р.В. Вопросы старения и повышения надежности машин // Вестник машиностроения. - 1972. - №6. - С. 9-13.
15. Цой И.М., Заболотный В.А. К вопросу об оценке неравномерности износа деталей двигателя // Автомобильная промышленность. - 1971. - №2. - С. 1-3.
16. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий - М.: Наука, 1976. - 274 с.
17. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных - М.: Финансы и статистика, 1983.
18. Лоренц, В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин - М.: Машгиз, 1948. - 100 с.
19. Гиберт, А.И. Экспертиза технического состояния агрегатов трактора - Новосибирск, 1996. - 132 с.
20. Добролюбов И.П. Оперативный контроль и управление показателями машинно-тракторных агрегатов, определяющими их эффективное использование: Дис. ... д-ра техн. наук. - Новосибирск, 1992.
21. Лившиц В.М. Методы и технические средства повышения эффективности контроля в системе технического обслуживания сельскохозяйственных машин: Дис. ... д-ра техн. наук. - Новосибирск, 1984.

Суханов Сергей Алексеевич

Невинномысский государственный гуманитарно технический институт
Адрес: 357108, Россия, г. Невинномысск, б-р Мира, 17
Преподаватель кафедр строительства, транспорта и машиностроения
E-mail: Passatru1@rambler.ru

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
Д.т.н., зав. кафедрой сервиса и ремонта машин
E-mail: novikovan57@gmail.com

Тахтамышев Хизир Махмудович

Невинномысский государственный гуманитарно технический институт
Адрес: 357108, Россия, г. Невинномысск, б-р Мира, 17
Д.т.н., профессор, профессор кафедры строительства, транспорта и машиностроения
E-mail: hizirt43@mail.ru

S.A. SUKHANOV, A.N. NOVIKOV, H.M. TAKHTAMYSHEV

**TO THE QUESTION OF SUBSTANTIATION OF THE TEST
METHODOLOGY FOR THE ACCELERATED BREAKING-IN
OF REPAIRED INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING
DIAGNOSTIC TOOLS**

Abstract. The article substantiates the feasibility of overhauling internal combustion engines of modern cars, provides a brief analysis of the processes of their subsequent running-in, as well as methods for diagnosing them in the conditions of car operation. On the basis of the analysis carried

out, the relevance of running the running-in process in the optimal mode is substantiated, for which a method for accelerated running-in of repaired engines in the conditions of automotive services using a set of diagnostic tools is proposed.

Keywords: internal combustion engines, diagnostic tools, running-in, testing, overhaul, pressure, piston space, cars, carbon footprint

BIBLIOGRAPHY

1. Garkunov, D. N. Tribotekhnika «iznos i bezyznostnost'» - M.: MSHA, 2001. - 611 s.
2. Berkovich, I.I. Tribologiya. Fizicheskie osnovy, mekhanika i tekhnicheskie prilozheniya: ucheb. dlya vuzov / Pod red. D.G. Gromakovskogo - Samara: Samar. gos. tekhn. un-t, 2000. - 268 s.
3. Kuksenova L.I. Zakonomernosti strukturnykh izmeneniy i massoperenos v poverkhnostnykh sloyakh i ikh vliyanie na iznos tribosopryazheniy mednyy splavstal': Dis. ... d-ra. tekhn. nauk. - M.: 1990. - 475 s.
4. Kolomeychenko A.B., Titov N.V. Iznosostoykost' podvizhnykh soedineniy, sodержashchikh detali s modifitsirovannymi MDO-pokrytiyami // Traktory i sel'khoz mashiny. - 2010. - №4. - S. 50-51.
5. A. S. 267199 SSSR. Sposob opredeleniya germetichnosti nad-porshnevoogo prostranstva v tsilindrakh DVS / A.S. Grebennikov, Yu.A. Borisov. - B.I., 1986. - №40.
6. Sukhanov S.A., Novikov A.N., Takhtamyshev H.M. K voprosu o prirabotke tsilindro-porshnevoy gruppy dvigateley avtomobiley posle kapital'nogo remonta / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii. - 2020. - S. 315-320.
7. Garkunov, D.N. Tribotekhnika - M.: Mashinostroenie, 1986. - 424 s.
8. Karpenko M.A. Intensifikatsiya protsessa prirabotki dvigateley UMZ primeneniem prisadok v maslo s PAV i HAV: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - Penza, 2002. - 18 s.
9. Mikhlin, V.M. Prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya mashin - M.: Kolos, 1976. - 288 s.
10. Zhdanovskiy, N.S. Nadezhnost' i dolgovechnost' avtotraktornykh dvigateley. - L.: Kolos. Leningr. otd-nie, 1974. - 223 s.
11. Stechkin, B.S. Indikatornaya diagramma, dinamika teplovydeleniya i rabochiy tsikl bystrokhodnogo dvigatelya - M.: AN SSSR, 1960. - 200 s.
12. Avdon'kin, F.N. Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley - M.: Transport, 1985. - 215 s.
13. Grebennikov, A.S. Diagnostirovanie avtotraktornykh dvigateley dinamicheskim metodom - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2002. - 196 s.
14. Kugel' R.V. Voprosy stareniya i povysheniya nadezhnosti mashin // Vestnik mashinostroeniya. - 1972. - №6. - S. 9-13.
15. Tsoy I.M., Zabolotnyy V.A. K voprosu ob otsenke neravnomernosti iznosa detaley dvigatelya // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 1971. - №2. - S. 1-3.
16. Adler, Yu.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy - M.: Nauka, 1976. - 274 s.
17. Ayvazyan, S.A. Prikladnaya statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannykh - M.: Finansy i statistika, 1983.
18. Lorents, V.F. Iznos detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin - M.: Mashgiz, 1948. - 100 s.
19. Gibert, A.I. Ekspertiza tekhnicheskogo sostoyaniya agregatov traktora - Novosibirsk, 1996. - 132 s.
20. Dobrolyubov I.P. Operativnyy kontrol' i upravlenie pokazatelyami mashinno-traktornykh agregatov, opredelyayushchimi ikh effektivnoe ispol'zovanie: Dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Novosibirsk, 1992.
21. Livshits V.M. Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti kontrolya v sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennykh mashin: Dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Novosibirsk, 1984.

Sukhanov Sergey Alekseevich

Nevinnomyssk State Humanitarian Technical Institute
Address: 357108, Russia, Nevinnomyssk, Lecturer
E-mail: Passatru1@rambler.ru

Novikov Alexander Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Address: 302030, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Doctor of technical sciences
E-mail: novikovan57@gmail.com

Takhtamyshev Khizir Mahmudovich

Nevinnomyssk State Humanitarian Technical Institute
Address: 357108, Russia, Nevinnomyssk
Doctor of technical sciences
E-mail: hizirt43@mail.ru

Научная статья

УДК 62-52

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-39-48

А.Ю. РОДИЧЕВ, И.В. РОДИЧЕВА, М.А. ТОКМАКОВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ

ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И СПОСОБ ЕЁ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

***Аннотация.** В статье проведено аналитическое исследование о возможность диагностики состояния подшипниковых узлов скольжения жидкостного трения в режиме реального времени. Были предложены несколько конструкторских и технологических идей для решения проблем при диагностике рабочей поверхности подшипников скольжения. Для проверки данных технических решений был разработан эскизный проект, проведены расчеты, выполнена компоновка и разработана конструкторская документация, на основе которой была спроектирована установка. В процессе проведения экспериментов технические решения были проверены и реализованы, на основании этого были получены два патента и два свидетельства на программы для ЭВМ.*

***Ключевые слова:** экспериментальная установка, диагностика, состояние, подшипниковый узел скольжения, контрольно-измерительная система*

Введение

Подшипник скольжения является одной из важных деталей машины, которая обеспечивает относительное движение только в заданных направлениях, при этом снижает трение между движущимися поверхностями. Существует множество различных способов классификации подшипников, однако их деление обычно основано на типе работы и виде смазки. В делении по типу работы чаще всего упоминаются радиальные, осевые и комбинированные подшипники, сочетающие в себе признаки первых двух. Каждый тип подшипника обладает различными свойствами, поэтому может использоваться в разных устройствах. Примеры использования разных типов подшипников представлены в работах, посвященных анализу выбора подшипников для микротурбин различной мощности [1-3]. В этих документах показано, что при выборе правильной подшипниковой системы важно учитывать не только свойства самих подшипников. На выбор также влияют динамические свойства системы ротор-подшипник, которые меняются при изменении типа подшипника. При выборе правильной подшипников скольжения необходимо учитывать ряд факторов, например, различные диапазоны скоростей и др. [4]. Влияние подшипников на динамику системы «вал (ротор) - подшипник скольжения» очень хорошо заметно (например, по необходимости использовать меньшие/большие диаметры вала (ротора)) [5].

Структура и классификация подшипников скольжения многообразна и постоянно совершенствуется и может усложняться по мере внедрения новых модификаций классических конструкций. К таким модификациям относится, например, изготовление подшипника с большей точностью, с использованием новых и более качественных материалов, которые сдвигают границы применимости данного типа подшипника к уже существующим или образуют новые типы и классы [6]. Как правило, возможности использования различных типов подшипников также могут быть расширены за счет использования активного управления. На работу подшипников влияют динамические свойства несущей конструкции [7], материалы, используемые для уплотнений и подшипников [8, 9].

В отдельный вид общей классификации можно выделить подшипники скольжения с возможностью идентификации износа рабочей поверхности [10-20]. Имеется ряд публикаций, в которых представлены сравнения некоторых способов контроля износа рабочей поверхности [21-27], что делает данное направление для исследований достаточно перспективным.

Материал и методы

В процессе работы подшипникового узла скольжения жидкостного трения, одной из главных составляющих которого является подшипник скольжения, очень важно спрогнозировать ресурс его работы. Так как подшипник скольжения находится непосредственно внутри узла или агрегата автомобиля, или транспортно-технологической машины, то определение его фактического состояния рабочей поверхности не представляется возможным. Проведённые аналитические исследования позволили сформировать схему принципиально нового подхода к проектированию подшипникового узла скольжения с контролем износа рабочей поверхности (рис. 1).

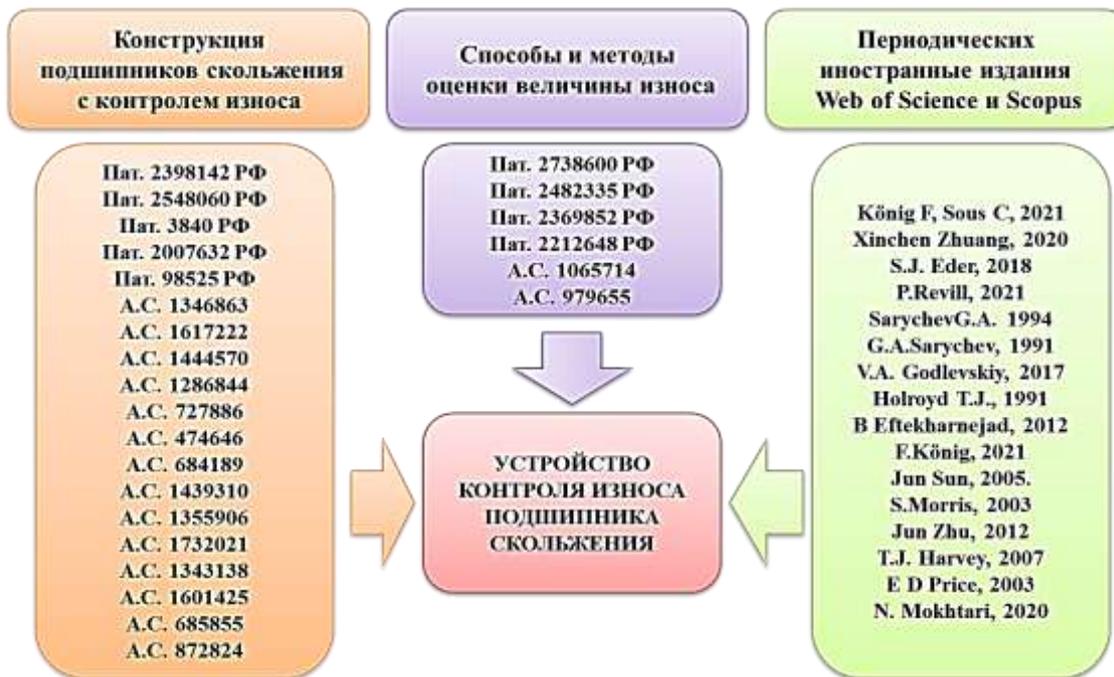


Рисунок 1 – Принципиальная схема подхода для проектирования нового устройства

На основании принципиальной схемы были предложены две идеи, одна из которых заключается во внедрении контрольно-измерительной системы как в сам подшипник скольжения, так и в подшипниковый узел скольжения (рис. 2).

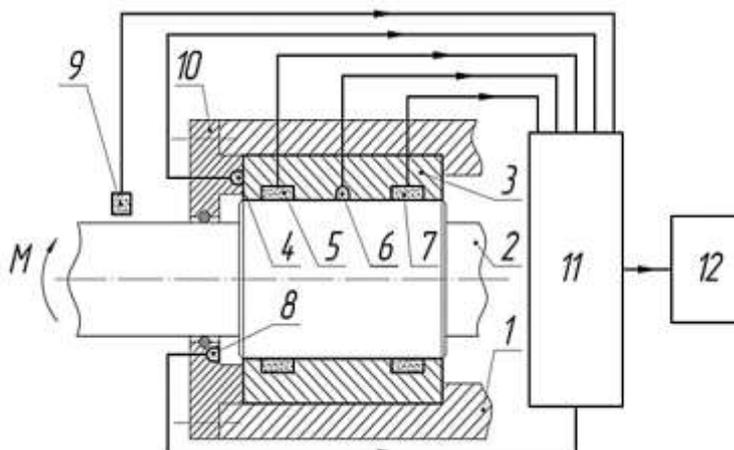


Рисунок 2 – Принципиальная схема контрольно-измерительной системы: 1 – корпус; 2 – вал; 3 – подшипник скольжения; 4 – датчики температуры поверхности подшипника скольжения; 6 – датчики температуры рабочей поверхности подшипника скольжения; 8 – датчики температуры смазочного материала; 5, 7 – индикатор контроля износа; 9 – датчик частоты вращения; 10 – крышка; 11 – контроллер; 12 – персональный компьютер

Вторая идея заключается во внедрении устройства контроля износа в предложенное новое конструкторское решение, которое позволит обеспечить надежность работы подшипникового узла скольжения. Сущность предложенного решения поясняется схемой устройства контроля износа подшипника скольжения, изображенной на рисунке 3.

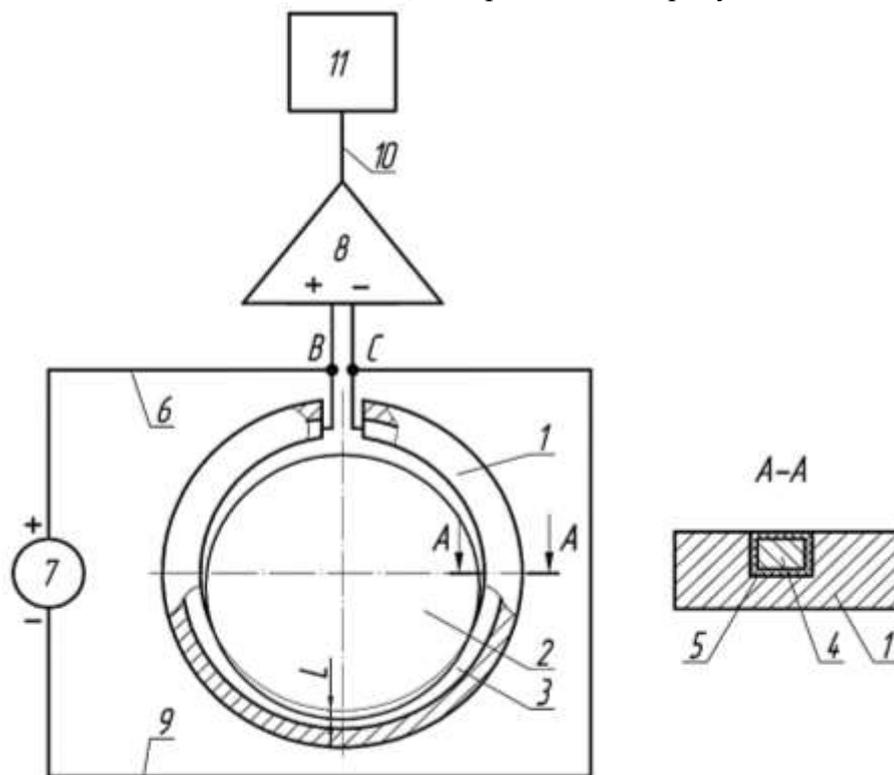


Рисунок 3 – Устройство контроля износа подшипника скольжения

Устройство контроля износа подшипника скольжения работает следующим образом: внутри втулки 1 приводят во вращение вал 2. К источнику 7 тока подключают провода 6 и 9. При достижении определённой величины износа L втулки 1 на индикаторе 3 износа происходит повреждение изоляции 5 и вал 2 начинает касаться металлической части 3. Происходит изменение параметров, например, сопротивления электрической цепи между контактами В и С, сигнал от которых, проходя через усилитель 8, регистрируется, отображается и обрабатывается в блоке 11 отображения и обработки информации. При этом контроль величины износа L происходит непрерывно, в результате эксплуатации втулки 1, в течение всего срока службы по изменению параметров электрической цепи между контактами В и С.

Теория

Для проектирования установки было составлено техническое задание, сделан эскизный проект и произведена общая компоновка. Проект данной установки был разработан, исходя из соображений универсальности, потому предполагает возможность исследования как обычных подшипников скольжения, так и подшипников скольжения с контролем износа, а также возможность подведения гидравлических трактов ко всем опорам и, соответственно, возможность подавать смазочный материал непосредственно в узел скольжения (рис. 4).

Для моделирования поведения ротора в подшипниковых узлах мы использовали программный продукт Comsol, а именно модуль роторной динамики, который охватывает большой спектр проблем, связанных с исследованием динамики ротора. Для решения необходимых задач с проектированием подшипниковых узлов скольжения была составлена расчетная схема роторно-опорного узла скольжения (рис. 5), с использованием интерфейса Beam Rotor, было проведено моделирование прессов, проходящих в подшипниковых узлах скольжения.

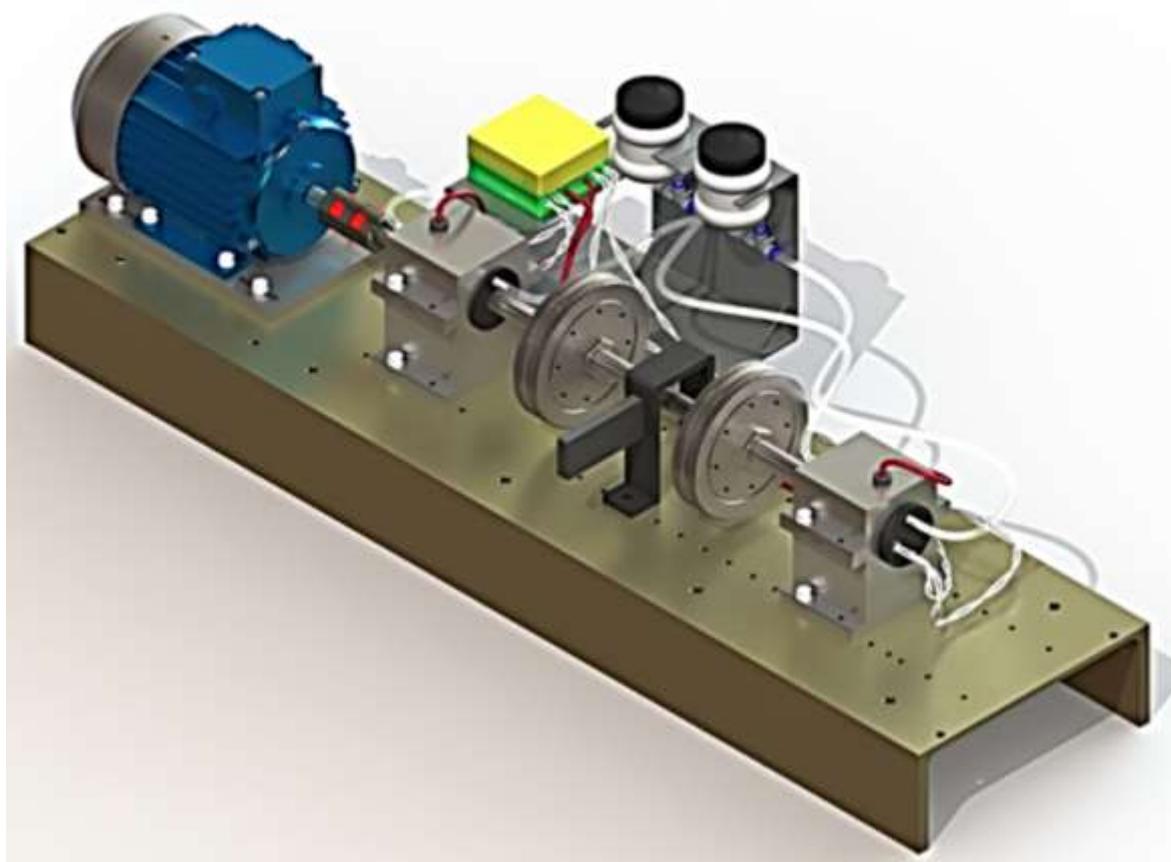


Рисунок 4 – Компоновка экспериментальной установки

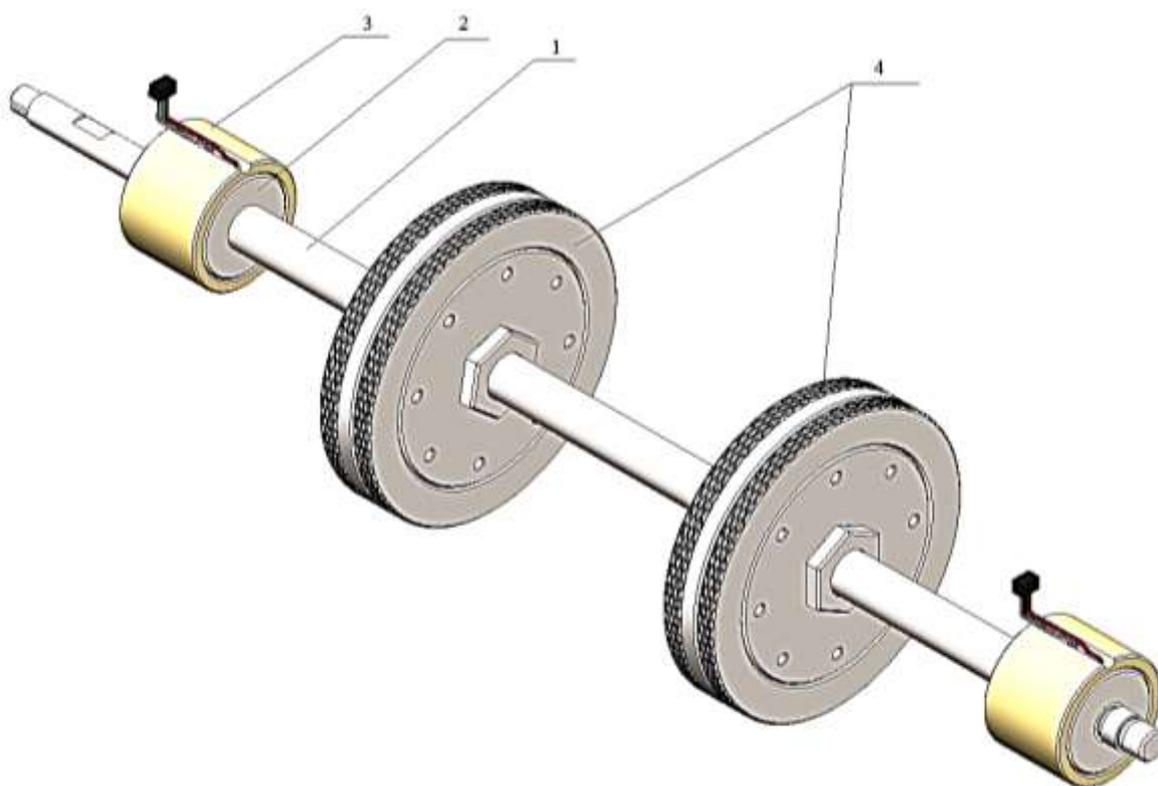


Рисунок 5 – Расчетная схема роторно-опорного узла скольжения:
1 – вал, 2 – втулка-цапфа, 3 – мехатронный подшипник скольжения, 4 – нагрузочные диски

Подбор компонентов контрольно-измерительной системы (системы мониторинга) состояния подшипникового узла производился в соотношении «цена-качество», при этом анализировались все характеристики принимаемых в конструкцию электронных компонентов

как по их производительности, совместимости и возможности использования. В качестве основного элемента системы мониторинга состояния подшипникового узла было принято решение использовать программируемый контроллер Arduino Mega с платой расширения.

В качестве датчиков температуры было принято решение использовать термопару К-типа. Для подключения термопары К-типа к программируемому контроллеру Arduino Mega воспользовались модулем преобразователя сигнала MAX 6675. В качестве индикатора контроля износа использовали провод в тройной изоляции TIW-B 0,3. Изоляционный слой данного провода является сложной композицией, состоящей из полиамидной и полиэфирной составляющих, который позволяет не повредить основную рабочую жилу провода, изготовленную из меди, при этом он допускает пайку без его снятия. Верхнее покрытие провода выполнено из износостойкого материала с коэффициентом трения равным 0,15.

Для мониторинга состояния подшипникового узла необходимо контролировать частоту вращения вала. Датчик частоты вращения вала с нужными нам характеристиками был изготовлен из следующих компонентов:

- 1) металлопленочные резисторы (20 Ом);
- 2) фотоэлектрический датчик ST188L4;
- 3) подстроечный резистор 3296W-1-103LF;
- 4) квадратный дифференциальный компаратор LM239N.

Принципиальная схема электронных компонентов представлена на рисунке 6.

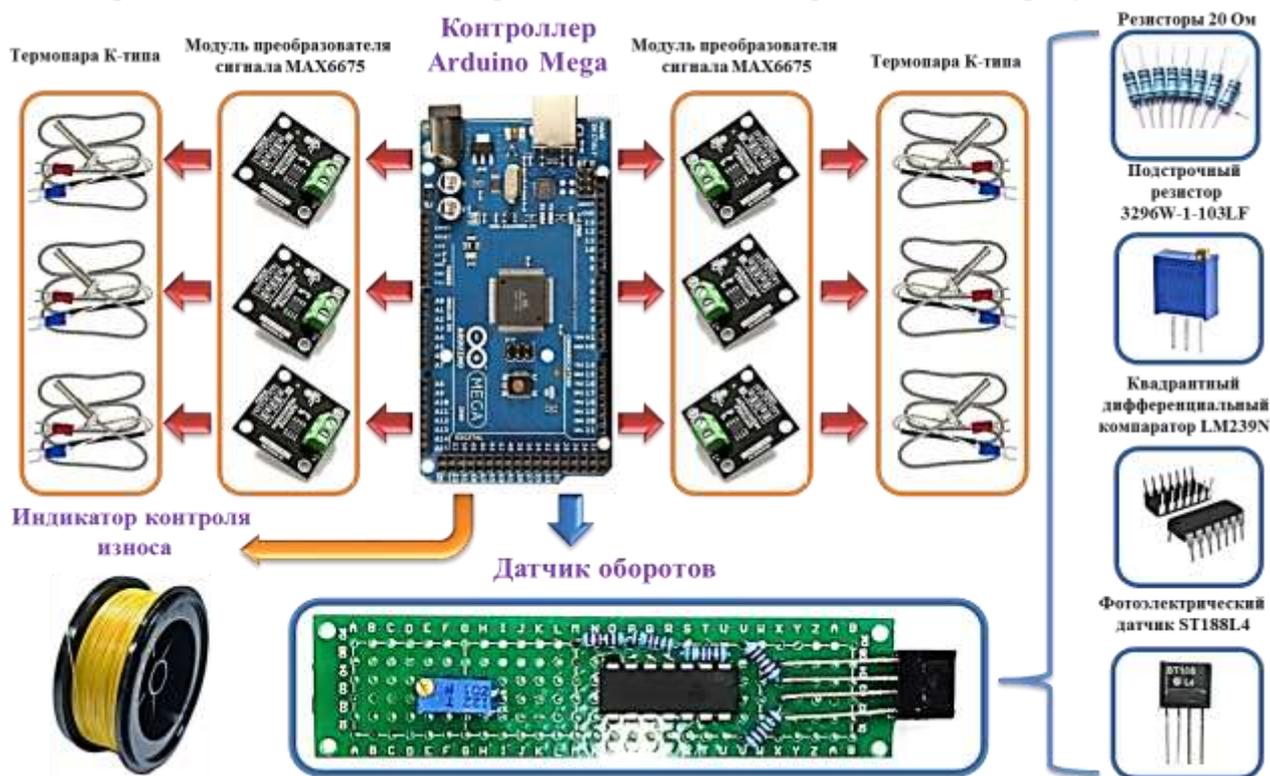


Рисунок 6 – Принципиальная соединения электронных компонентов

Результаты и обсуждение

По результатам проведенных расчетов и подбора электронных компонентов была разработана экспериментальная установка для исследования подшипниковых узлов скольжения с установленной контрольно-измерительной системы, а также возможностью подведения гидравлических трактов ко всем опорам и, соответственно, возможностью подавать смазочный материал непосредственно в узел скольжения при его работе (рис. 7).

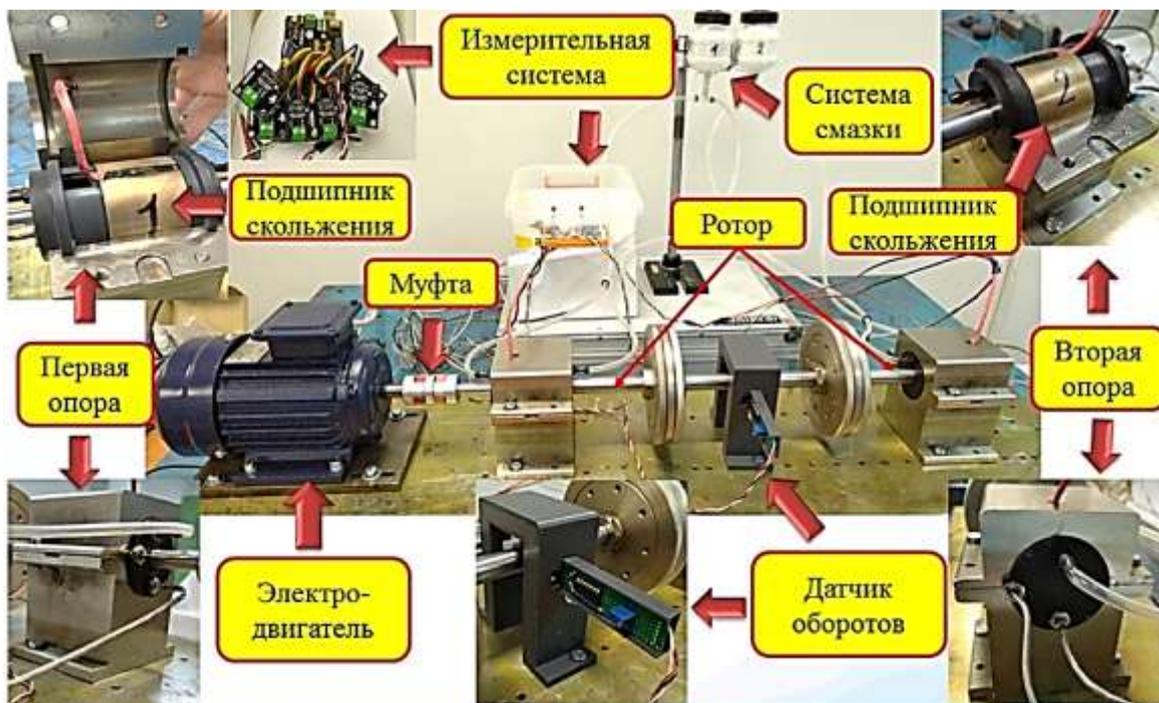


Рисунок 7 – Структурная схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка имеет в своем составе станину, на которой установлен двигатель, ротор, опирающийся на подшипники скольжения, соединяющийся с валом двигателя при помощи гибкой кулачковой муфты с упругими элементами. Подшипники скольжения установлены в подшипниковых узлах (опорах), в которые по гидравлическим гибким трактам подается смазочный материал в их емкости, закрепленных на стойке. Гидравлические тракты вместе с емкостями для смазочного материала образуют систему смазки данной установки. На роторе с целью увеличения его инерционной массы зафиксированы два диска. В процессе проведения эксперимента к установке была подключена контрольно-измерительная система, которая диагностировала работу подшипниковых узлов скольжения и передавала информацию о состоянии рабочей поверхности подшипников скольжения на экран ПК в режиме реального времени (рис. 8).

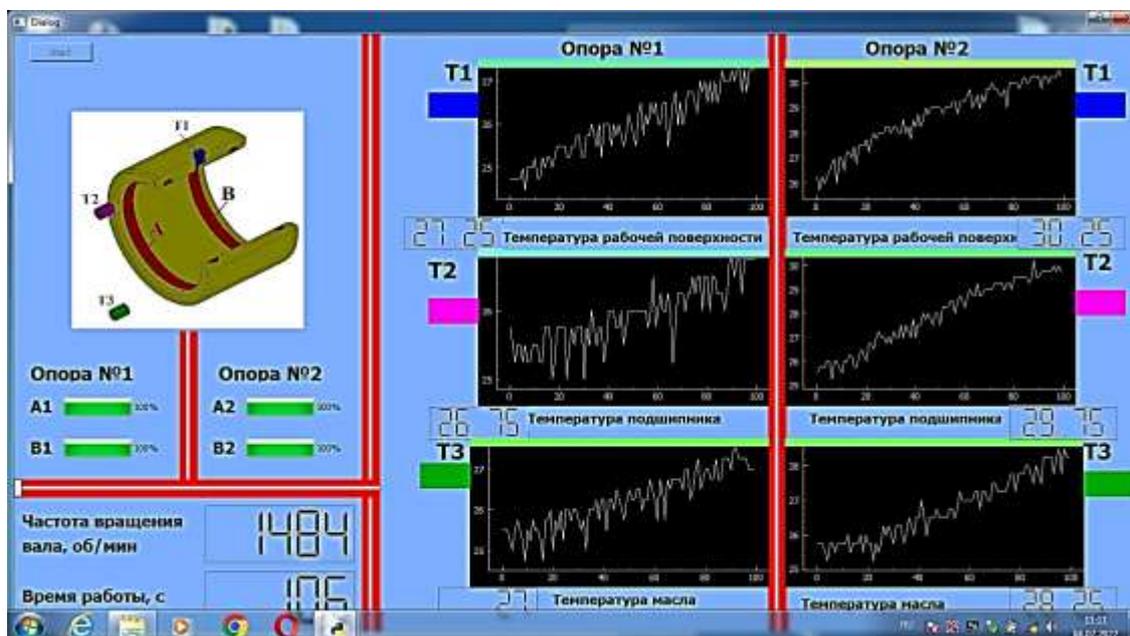


Рисунок 8 – Интерфейс программы мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности

Выводы

На основе проведенных аналитических исследований была разработана конструкция экспериментальной установки для диагностики состояния подшипников скольжения в режиме реального времени, устройство контроля износа подшипника скольжения [28], а также способ изготовления подшипника скольжения с возможностью диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности [29].

Для реализации представленных решений были разработаны два программных продукта для ЭВМ, это прошивка контроллера «Arduino» для мониторинга состояния подшипников скольжения в реальном времени [30] и программа мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности [32].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ł. Bren' kac, G. Zywica, M. Bogulicz, Selection of the bearing system for a 1 kW ORC microturbine [Электронный ресурс] / Mech. Mach. Sci. - №60. – 2019. – P. 223-235. – Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99262-4_16.
2. Ł. Bren' kac, G. Zywica, M. Bogulicz, Selection of the oil-free bearing system for a 30 kW ORC microturbine [Электронный ресурс] / J. Vibroeng. - №21. – 2019. – P. 318-330. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21595/jve.2018.19980>
3. Ł. Bren' kac, G. Zywica, M. Bogulicz, Analysis of dynamical properties of a 700 kW turbine rotor designed to operate in an ORC installation [Электронный ресурс] / Diagnostyka. - №17. – 2016. – P. 17-23. – Режим доступа: <http://www.brenkacz.com/images/publications/Brenkacz>
4. Harold D.N. Rotordynamic modeling and analysis procedures: a review [Электронный ресурс] / JSME Int. J. Ser. – 1998. - P. 41. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1299/jsmec>
5. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration [Электронный ресурс] / CRC Press. – 2009. – Режим доступа <https://doi.org/10.1201/9781439847558>
6. L. Gu E., Guenat J., Schiffmann A. Review of grooved dynamic gas bearings [Электронный ресурс] / Appl. Mech. Rev. - №72. – 2020. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1115/1.4044191>
7. Ledezma-Ramírez D.F., Tapia-González P.E., Ferguson N., Brennan M., Tang B. Recent advances in shock vibration isolation: an overview and future possibilities [Электронный ресурс] / Appl. Mech. Rev. - №71. – 2019. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1115/1.4044190>
8. Jin L., Khajetourian R., Mueller J., Rafsanjani A., Tournat V., Bertoldi K., Kochmann D.M. Guided transition waves in multistable mechanical metamaterials [Электронный ресурс] / Proc. Natl. Acad. Sci. – 2020. – 201913228. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1073/pnas.1913228117>
9. Yu Y., Bouklas N., Landis C.M., Huang R. Poroelastic effects on the time- and rate-dependent fracture of polymer gels [Электронный ресурс] / J. Appl. Mech. - №87. – 2020. – P. 1-10. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1115/1.4045004>
10. А.С. 1346863 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Зайцев В.П. - №3286401; Заявл. 07.05.81; Оpubл. 23.10.87.
11. А.С. 1617222 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Глинин Л.В. - №4470558; Заявл. 05.08.88; Оpubл. 30.12.90.
12. А.С. 1444570 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Глинин Л.В. - №4204002; заявл. 27.02.1987; Оpubл. 15.12.1988.
13. Пат. 2398142 Российская Федерация, F16C 17/02, F16C 17/24, F16C 33/04, G01M 13/04. Мехатронный подшипник скольжения / Савин Л.А., Поляков Р.Н.; (ГОУ ВО «Орловский государственный технический университет») (ОрелГТУ). - №2009118718; Заявл. 18.05.09; Оpubл. 27.08.10, Бюл. №24 - 5 с.
14. А.С. 1439310 СССР, МПК F16C 33/10. Подшипниковый узел скольжения / Бурда М.И., Белоусов В.Я., Богатчук И.М., Гладий И.Ю. - №4237374; Заявл. 27.04.87; Оpubл. 23.11.88.
15. А.С. 1355906 СССР, МПК G01N 3/56. Устройство для непрерывного контроля износа пар трения / Баздеркин В.А., Миронов Е.А., Мамаев В.Н., Горбунов В.И. - №3991351; Заявл. 19.01.85; Оpubл. 30.11.87.
16. Пат. 2548060 Российская Федерация, G01N 3/56, G01N 21/55. Устройство для исследования износа трущихся поверхностей / Карлов С.П., Покусаев Б.Г., Некрасов Д.А. (ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)») (Университет машиностроения). - №2013145962/28; Заявл. 15.10.13; Оpubл. 10.04.15, Бюл. №10. - 11 с.
17. А.С. 1732021 СССР, МПК F16C 17/24. Устройство для непрерывного контроля износа пар трения / Потеха В.Л., Вавриш Н.Т. - №4776977; Заявл. 02.01.90; Оpubл. 07.05.92.
18. А.С. 1343138 СССР, МПК F16C 17/24. Подшипник скольжения / Глинин Л.В. - №4072112; Заявл. 18.04.86; Оpubл. 07.10.87.
19. А.С. 1601425 СССР, МПК F16C 17/24; F04D 29/04; F04D 29/047; F16C 33/04. Подшипник скольжения / Наумов В.В., Лысенко О.И., Дейнера В.Т., Андронов А.А., Щигорев В.А. - №4490637; Заявл. 05.10.88; ОПУБЛ. 23.10.90.

20. А.С. 685855 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Зайцев В.П. - №2597539; Заявл. 03.04.78; Оpubл. 15.09.79.
21. König F., Sous C., Ouald Chaib A., Jacobs G. Events for wear monitoring in sliding bearing systems [Электронный ресурс] / Tribology International. – 2021. – Volume 155. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106811>
22. Xinchun Zhuang, Sajad Saraygord Afshari, Tianxiang Yu, Xihui Liang. A hybrid model for wear prediction of a single revolute joint considering a time-varying lubrication condition [Электронный ресурс] / Wear. – 2020. – P. 442–443. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203124>
23. Eder S.J., Ielchici C., Krenn S., Brandtner D. An experimental framework for determining wear in porous journal bearings operated in the mixed lubrication regime [Электронный ресурс] / Tribology International. - 2018. - Volume 123. – P. 1-9. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.02.026>
24. Revill P., Clarke A., Pullin R., Dennis G.. Acoustic emission monitoring of wear in aerospace self-lubricating bearing liner materials [Электронный ресурс] / Wear. – 2021. – P. 486-487. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204102>
25. Sarychev G.A., Shchavelin V.M. Acoustic emission method for research and control of friction pairs [Электронный ресурс] / NDT & E International 1994. - Volume 27. – 1994. – P. 216. – Режим доступа: [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90520-7](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90520-7)
26. SEE technology for condition monitoring of bearings [Электронный ресурс] / Design Engineering. - Volume 27. – P. 216. – Режим доступа: [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90529-0](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90529-0)
27. Sarychev G.A., Shchavelin V.M. Acoustic emission method for research and control of friction pairs [Электронный ресурс] / Tribology International. - 1991. - Volume 24. – P. 11-16. – Режим доступа: [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(91\)90056-F](https://doi.org/10.1016/0301-679X(91)90056-F)
28. Пат. 2783716 Российская Федерация, F16C 17/02. Устройство контроля износа подшипника скольжения / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Попов С.Г., Горин А.В., Родичева И.В. (ОГУ им. И.С.Тургенева). - №2022110171; Заявл. 13.04.22; Оpubл. 16.11.22, Бюл. №32. - 7 с.
29. Пат. 2783323 Российская Федерация, F16C 33/04, F16C 33/12. Способ изготовления подшипника скольжения с возможностью диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Горин А.В., Родичева И.В., Фетисов А.С. (ОГУ им. И.С.Тургенева). - №2022114024; Заявл. 24.05.22; Оpubл. 11.11.22, Бюл. №32. - 8 с.
30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022618435 Российская Федерация. Программа мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Настепанин К.К., Попов С.Г., Родичева И.В. (ФГБОУ ВО ОГУ имени И.С. Тургенева). - №2022617494; Заявл. 25.04.22; Оpubл. 06.05.22. – 1 с.
31. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022663479 Российская Федерация. Прошивка контроллера «Arduino» для мониторинга состояния подшипников скольжения в реальном времени / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Настепанин К.К., Горин А.В., Родичева И.В., Стебаков И.Н. (ФГБОУ ВО ОГУ имени И.С. Тургенева). - №2022662064; Заявл. 27.06.22; Оpubл. 14.07.22. – 1 с.

Родичев Алексей Юрьевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: rodfox@yandex.ru

Родичева Ирина Владимировна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Аспирант
E-mail: alfox1978@mail.ru

Токмакова Мария Андреевна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Аспирант
E-mail: tokmakova2303@gmail.com

Васильев Кирилл Владимирович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Студент
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

DIAGNOSTICS OF THE CONDITION OF PLAIN BEARINGS OF LIQUID FRICTION IN REAL TIME AND A METHOD FOR ITS IMPLEMENTATION

Abstract. The article carried out an analytical study on the possibility of diagnosing the state of sliding bearing units of liquid friction in real time. Several design and technological ideas have been proposed to solve problems in the diagnosis of the working surface of plain bearings. To verify these technical solutions, a preliminary design was developed, calculations were carried out, layout was performed and design documentation was developed on the basis of which the installation was also designed. In the process of conducting experiments, technical solutions were tested and implemented, on the basis of which two patents and two certificates for computer programs were obtained.

Keywords: experimental setup, diagnostics, condition, sliding bearing assembly, control and measuring system

BIBLIOGRAPHY

1. Ł. Bren kacz, G. Zywica, M. Bogulicz, Selection of the bearing system for a 1 kW ORC microturbine [Elektronnyy resurs] / Mech. Mach. Sci. - №60. - 2019. - R. 223-235. - Rezhimo dostupa: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99262-4_16.
2. Ł. Bren kacz, G. Zywica, M. Bogulicz, Selection of the oil-free bearing system for a 30 kW ORC microturbine [Elektronnyy resurs] / J. Vibroeng. - №21. - 2019. - R. 318-330. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.21595/jve.2018.19980>
3. Ł. Bren kacz, G. Zywica, M. Bogulicz, Analysis of dynamical properties of a 700 kW turbine rotor designed to operate in an ORC installation [Elektronnyy resurs] / Diagnostyka. - №17. - 2016. - R. 17-23. - Rezhim dostupa: <http://www.brenkacz.com/images/publications/Brenkacz>
4. Harold D.N. Rotordynamic modeling and analysis procedures: a review [Elektronnyy resurs] / JSME Int. J. Ser. - 1998. - R. 41. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1299/jsmec>
5. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration [Elektronnyy resurs] / CRC Press. - 2009. - Rezhim dostupa <https://doi.org/10.1201/9781439847558>
6. L. Gu E., Guenat J., Schiffmann A. Review of grooved dynamic gas bearings [Elektronnyy resurs] / Appl. Mech. Rev. - №72. - 2020. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1115/1.4044191>
7. Ledezma-Ramrez D.F., Tapia-Gonzalez P.E., Ferguson N., Brennan M., Tang B. Recent advances in shock vibration isolation: an overview and future possibilities [Elektronnyy resurs] / Appl. Mech. Rev. - №71. - 2019. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1115/1.4044190>
8. Jin L., Khajehtourian R., Mueller J., Rafsanjani A., Tournat V., Bertoldi K., Kochmann D.M. Guided transition waves in multistable mechanical metamaterials [Elektronnyy resurs] / Proc. Natl. Acad. Sci. - 2020. - 201913228. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1073/pnas.1913228117>
9. Yu Y., Bouklas N., Landis C.M., Huang R. Poroelastic effects on the time- and rate-dependent fracture of polymer gels [Elektronnyy resurs] / J. Appl. Mech. - №87. - 2020. - R. 1-10. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1115/1.4045004>
10. A.S. 1346863 SSSR, MKP F16C 17/24. Podshipnik skol'zheniya / Zaytsev V.P. - №3286401; Zayavl. 07.05.81; Opubl. 23.10.87.
11. A.S. 1617222 SSSR, MKP F16C 17/24. Podshipnik skol'zheniya / Glinin L.V. - №4470558; Zayavl. 05.08.88; Opubl. 30.12.90.
12. A.S. 1444570 SSSR, MKP F16C 17/24. Podshipnik skol'zheniya / Glinin L.V. - №4204002; zayavl. 27.02.1987; Opubl. 15.12.1988.
13. Pat. 2398142 Rossiyskaya Federatsiya, F16C 17/02, F16C 17/24, F16C 33/04, G01M 13/04. Mekhatronnyy podshipnik skol'zheniya / Savin L.A., Polyakov R.N.; (GOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet» (OrelGTU)). - №2009118718; Zayavl. 18.05.09; Opubl. 27.08.10, Byul. №24 - 5 s.
14. A.S. 1439310 SSSR, MPK F16C 33/10. Podshipnikovyy uzel skol'zheniya / Burda M.I., Belousov V.Ya., Bogatchuk I.M., Gladiy I.Yu. - №4237374; Zayavl. 27.04.87; Opubl. 23.11.88.
15. A.S. 1355906 SSSR, MPK G01N 3/56. Ustroystvo dlya nepreryvnogo kontrolya iznosa par treniya / Bazderkin V.A., Mironov E.A., Mamaev V.N., Gorbunov V.I. - №3991351; Zayavl. 19.012.85; Opubl. 30.11.87.
16. Pat. 2548060 Rossiyskaya Federatsiya, G01N 3/56, G01N 21/55. Ustroystvo dlya issledovaniya iznosa trushchikhsya poverkhnostey / Karlov S.P., Pokusaev B.G., Nekrasov D.A. (FGBOU VPO «Moskovskiy gosudarstvennyy mashinostroitel'nyy universitet (MAMI)» (Universitet mashinostroeniya)). - №2013145962/28; Zayavl. 15.10.13; Opubl. 10.04.15, Byul. №10. - 11 s.
17. A.S. 1732021 SSSR, MPK F16C 17/24. Ustroystvo dlya nepreryvnogo kontrolya iznosa par treniya / Potekha V.L., Vavrish N.T. - №4776977; Zayavl. 02.01.90; Opubl. 07.05.92.

18. A.S. 1343138 SSSR, MPK F16C 17/24. Podshipnik skol`zheniya / Glinin L.V. - №4072112; Zayavl. 18.04.86; Opubl. 07.10.87.
19. A.S. 1601425 SSSR, MPK F16C 17/24; F04D 29/04; F04D 29/047; F16C 33/04. Podshipnik skol`zheniya / Naumov V.V., Lysenko O.I., Deynera V.T., Andronov A.A., Shchigorev V.A. - №4490637; Zayavl. 05.10.88; OPUBL. 23.10.90.
20. A.S. 685855 SSSR, MKP F16C 17/24. Podshipnik skol`zheniya / Zaytsev V.P. - №2597539; Zayavl. 03.04.78; Opubl. 15.09.79.
21. Knig F., Sous C., Ouald Chaib A., Jacobs G. Events for wear monitoring in sliding bearing systems [Elektronnyy resurs] / Tribology International. - 2021. - Volume 155. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106811>
22. Xincheng Zhuang, Sajad Saraygord Afshari, Tianxiang Yu, Xihui Liang. A hybrid model for wear prediction of a single revolute joint considering a time-varying lubrication condition [Elektronnyy resurs] / Wear. - 2020. - R. 442-443. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203124>
23. Eder S.J., Ielchici C., Krenn S., Brandtner D. An experimental framework for determining wear in porous journal bearings operated in the mixed lubrication regime [Elektronnyy resurs] / Tribology International. - 2018. - Volume 123. - P. 1-9. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.02.026>
24. Revill P., Clarke A., Pullin R., Dennis G.. Acoustic emission monitoring of wear in aerospace self-lubricating bearing liner materials [Elektronnyy resurs] / Wear. - 2021. - R. 486-487. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204102>
25. Sarychev G.A., Shchavelin V.M. Acoustic emission method for research and control of friction pairs [Elektronnyy resurs] / NDT & E International 1994. - Volume 27. - 1994. - P. 216. - Rezhim dostupa: [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90520-7](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90520-7)
26. SEE technology for condition monitoring of bearings [Elektronnyy resurs] / Design Engineering. - Volume 27. - P. 216. - Rezhim dostupa: [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90529-0](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90529-0)
27. Sarychev G.A., Shchavelin V.M. Acoustic emission method for research and control of friction pairs [Elektronnyy resurs] / Tribology International. - 1991. - Volume 24. - P. 11-16. - Rezhim dostupa: [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(91\)90056-F](https://doi.org/10.1016/0301-679X(91)90056-F)
28. Pat. 2783716 Rossiyskaya Federatsiya, F16C 17/02. Ustroystvo kontrolya iznosa podshipnika skol`zheniya / Rodichev A.YU., Polyakov R.N., Popov S.G., Gorin A.V., Rodicheva I.V. (OGU im. I.S.Turgeneva). - №2022110171; Zayavl. 13.04.22; Opubl. 16.11.22, Byul. №32. - 7 s.
29. Pat. 2783323 Rossiyskaya Federatsiya, F16C 33/04, F16C 33/12. Sposob izgotovleniya podshipnika skol`zheniya s vozmozhnost`yu diagnostiki predel'nogo iznashivaniya rabochey poverkhnosti / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Gorin A.V., Rodicheva I.V., Fetisov A.S. (OGU im. I.S.Turgeneva). - №2022114024; Zayavl. 24.05.22; Opubl. 11.11.22, Byul. №32. - 8 s.
30. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022618435 Rossiyskaya Federatsiya. Programma monitoringa sostoyaniya podshipnika skol`zheniya v real'nom vremeni i prediktivnoy diagnostiki predel'nogo iznashivaniya rabochey poverkhnosti / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Nastepanin K.K., Popov S.G., Rodicheva I.V. (FGBOU VO OGU imeni I.S. Turgeneva). - №2022617494; Zayavl. 25.04.22; Opubl. 06.05.22. - 1 s.
31. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022663479 Rossiyskaya Federatsiya. Proshivka kontrollera «Arduino» dlya monitoringa sostoyaniya podshipnikov skol`zheniya v real'nom vremeni / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Nastepanin K.K., Gorin A.V., Rodicheva I.V., Stebakov I.N. (FGBOU VO OGU imeni I.S. Turgeneva). - №2022662064; Zayavl. 27.06.22; Opubl. 14.07.22. - 1 s.

Rodichev Aleksey Yrievich

Orel State University
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: rodfox@yandex.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna

Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Postgraduate student
E-mail: alfox1978@mail.ru

Tokmakova Maria Andreevna

Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Postgraduate student
E-mail: tokmakova2303@gmail.com

Vasiliev Kirill Vladimirovich

Orel State University
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Student
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

Научная статья

УДК 519.6: 656.13: 537.8

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-49-57

И.Е. АГУРЕЕВ, А.В. АХРОМЕШИН

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С УПРАВЛЕНИЕМ

***Аннотация.** В рамках статьи сформулирована обобщенная математическая модель транспортной системы индивидуальных перемещений, содержащая процесс управления в общем виде; представлены численные схемы решения поставленных задач. Расширено описание модели уравнениями процесса управления и интенсивности операций для возможности рассматривать задачи равновесия транспортных систем с учетом функционирования информационно-коммуникационных систем автомобильного транспорта.*

***Ключевые слова:** транспортная система, транспортное поведение, индивидуальные перемещения, математическая модель, транспортный процесс, поездка*

Введение

В последнее время набирает популярность тема моделирования транспортного поведения (ТП). Известно несколько ключевых публикаций, в которых выполнены такие исследования как:

- 1) определен термин транспортного поведения [1-7];
- 2) разработаны подходы к классификации пользователей транспортных систем с точки зрения их транспортного поведения [8-10];
- 3) выполнены эксперименты и натурные, в том числе социологически обследования [1, 11-14];
- 4) определены частные методы решения задач о транспортном поведении [15-18];
- 5) разработаны подходы к построению теории транспортного поведения [19-21].

В предыдущих работах был сделан акцент на целесообразности применения теории макросистем, а также был введен элемент теории транспортного поведения – транспортная система индивидуальных перемещений (ТСИП) [22-24].

Транспортная система индивидуальных перемещений – это идеалистическая система, которая распространяется на дотранспортную, транспортную и послетранспортную фазы в соответствии с определением транспортного процесса. Идеалистическая система, в рамках системного анализа, определяется как система, не имеющая воплощения в виде материальных элементов, а представляющая собой различные виды реализации человеческого замысла на уровне сформулированных идей (планы, проекты, произведения искусства и др.). ТСИП это и есть конкретный замысел, определяющий транспортное поведение человека в ближайшем его будущем, логическая структура использования выбранных способов перемещения в определенной последовательности и с заданной целью.

Реализованная ТСИП может рассматриваться в двух временных аспектах:

- 1) конкретная реализация поездок отдельного индивида в текущий интервал времени (например, сутки);
- 2) среднестатистическая последовательность поездок отдельного индивида в характерный день отдельного сезона (или месяца).

ТСИП, таким образом, определяется набором поездок, совершенных последовательно, с использованием конкретных видов транспорта. Множество ТСИП отдельных индивидов составляет картину транспортной подвижности всего населения. Учитывая циклический характер транспортных процессов (или циклический характер функционирования ТС), можно послетранспортную фазу для индивида рассматривать в виде оценки эффективности поездки (рис. 1).

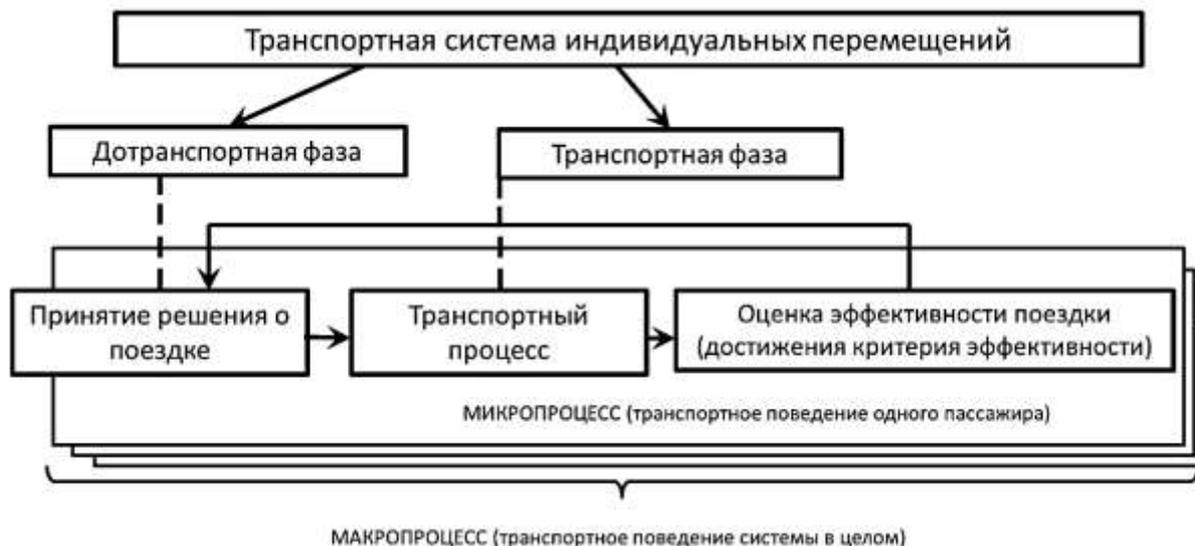


Рисунок 1 - Применение теории макросистем в рамках ТСИП

Стоит вопрос о том, можно ли управлять транспортным поведением? Чем лучше индивиды знают о ТС, тем точнее и целесообразнее они будут формировать свое транспортное поведение. Таким образом, возникает идея об улучшении информированности населения о функционировании и структуре реальной ТС. Способами управления идеалистическими системами являются:

- демонстрация примеров «лучших практик»;
- создание системы стимулов и ограничений;
- создание сервисов, обеспечивающих информирование обо всех вышеуказанных функциях;
- долговременные системы обучения;
- создание интегральных информационных платформ обработки данных и принятия решений;
- создание системы индикаторов эффективности (архитектуры индикаторов) по оценке эффективности принимаемых решений (проектов);

Совокупность ТСИП отдельных индивидов, как мы указывали выше, составляет общую систему передвижений населения в отдельный день, и эта система по своей природе является сложной, так как налицо все признаки сложности.

Напомним определение сложных систем по Олемскому [25]:

«В связи с этим особую актуальность приобрели исследования коллективного поведения, проявляющегося в самоорганизации физических, биологических, социальных и других систем. Благодаря тому что их поведение может изменяться непредсказуемым образом в зависимости от состояния их составляющих и внешних условий, такие системы получили название сложных».

В работе [26] предложен новый подход к описанию транспортного поведения с позиций различных научных дисциплин, теории макросистем, что закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует, обобщен материал и отмечены наиболее важные проблемы в данной области. Так, различными учеными решены следующие задачи: выполнено определение теоретической базы, составлен методический инструментарий, сделан сбор и анализ количественных данных, характеризующих транспортное поведение.

Следует отметить, что в научной литературе мало информации о том, как именно пассажир принимает решение о том, совершит он поездку или нет, т.е. поведенческие модели практически не исследуются.

Таким образом, основные направления исследования транспортного поведения могут быть следующие:

- разработка теоретического аппарата для описания «транспортного поведения»;
- разработка математической модели транспортной системы индивидуальных перемещений;
- построение системы управления ТП.

В настоящей работе поставлена цель – сформулировать обобщенную математическую модель транспортной системы индивидуальных перемещений, а также указать численную схему решения поставленных задач.

Материал и методы

В статье [22] приведена математическая модель, которая в наиболее общем случае описывает транспортную систему, состоящую из элементов – транспортных средств:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\Gamma} = \tilde{\Gamma}(t); \\ \rho = \rho(t); \\ q = q(t); \\ \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \Delta\tau = \sum_{k=1}^K \Delta\tau_k; \\ V(t) = \{V_1, \dots, V_\alpha, \dots, V_p : V_\alpha = \sum_{v=1}^{v_f} n_v(t) | v \in r_\alpha\}; \\ v = 1, \dots, v_f(t); \\ \pi_v = \pi_v(t); \\ \Pi(t) = \{\pi_1(t), \dots, \pi_\beta(t), \dots, \pi_{v_f}(t)\}; \\ G(t) = g_v \otimes \Pi(t) \leq G^*; \\ H(V^*(\Delta\tau_k)) = - \sum_{n=1}^m V_n \ln \frac{V_n}{a_n} - (G_n + V_n) \ln(G_n + V_n) \rightarrow \max, \end{array} \right. \quad (1)$$

где k – индекс (номер) интервала времени $\Delta\tau_k$;

K – число временных интервалов $\Delta\tau_k$;

$\tilde{\Gamma}$ – граф УДС;

ρ – матрица транспортных связей;

q – матрица действующих провозных (пропускных) способностей;

t – непрерывное время;

$V(t)$ – множество, каждый из элементов которого равен числу автомобилей (транспортных средств), находящихся в момент времени t на маршруте (или формирующих корреспонденцию) α ;

v – индекс автомобиля (его уникальный идентификатор);

$v_f = N_\alpha$ – наибольший индекс автомобиля, соответствующий количеству транспортных средств в текущий момент времени;

r – общее число маршрутов (корреспонденций);

n_v – булева переменная, которая определяется соотношением и равна 1, если ТС находится на маршруте r_α , и 0 в противном случае;

r_α – α -й маршрут;

π_v – уравнение транспортного процесса для v -ого автомобиля, определяющее долю выполненного транспортного процесса (транспортной работы);

$\Pi(t)$ – множество, состоящее из отдельных уравнений транспортного процесса;

β – индекс транспортного процесса;

$G(t)$ – векторная функция расходования ресурса(-ов);

g_v – вектор удельных расходов ресурса для каждого автомобиля;

H – информационная энтропия транспортной системы;

G^* – вектор ограничений на расход ресурсов;

a_n – априорные вероятности нахождения элемента в состоянии n ;

G_n – емкость состояния n ;

n – порядковый номер состояния элементов;

m – общее число различных состояний.

Представленная здесь модель транспортной системы оперирует с множеством уравнений транспортного процесса. Поскольку имеется переменная времени, но на каждом относительно малом интервале времени реализуется гипотеза о равновесии системы, то модель можно отнести к классу квазидинамических. Будем считать, что модель (1) образует замкнутую систему уравнений и неравенств с учетом неуказанных здесь вспомогательных соотношений. Тогда соотношения (1) образуют постановку задачи оптимизации транспортного процесса, если в качестве критерия оптимальности выбрать минимум расходования ресурсов.

Следует отметить, что в задаче (1) пока что недостаточно возможностей, чтобы описывать транспортное поведение и ТСИП, поскольку фактически эта постановка соответствует только квазидинамической задаче о распределении транспортных средств на сети. Расширим это представление за счет введения других элементов и подмножеств их состояний, как это позволяет общая теория макросистем. Например, в качестве подмножеств состояний можно рассматривать отдельные виды транспорта (индивидуальный, каршеринг, такси, автобусы, ЛРТ, метро, трамвай, велосипеды и т.д.), а элементами будут индивиды, которые выбирают конкретную систему. Аналогично можно представить себе классифицированное множество центров массового тяготения (ЦМТ), которые заполняются посетителями – теми же пассажирами, которые находятся в ЦМТ после совершения поездки и перед началом новой поездки. Таких постановок задач можно сформулировать достаточно большое число, поэтому нам потребуется некоторая обобщенная математическая модель, которая была бы удобной для большинства таких постановок.

Отметим, что для предполагаемой модели необходимо ввести описания используемых ресурсов и условий их расходования по аналогии с зависимостями для транспортных процессов в системе (1). Традиционно в виде таких ресурсов используем время, материальные ресурсы, денежные средства и их различные виды.

Теория / Расчет

Запишем обобщенную модель макросистемы для моделирования ТСИП в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{S} = \tilde{S}(t); \\ \rho = \rho(t); \\ q = q(t); \\ \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \Delta\tau = \sum_{k=1}^K \Delta\tau_k; \\ E(t) = \{E_1, \dots, E_\alpha, \dots, E_p : E_\alpha = \sum_{e=1}^{ef} n_e(t) | e \in s_\alpha\}; \\ e = 1, \dots, e_f(t); \\ \pi_e = \pi_e(t); \\ \Pi(t) = \{\pi_1(t), \dots, \pi_\beta(t), \dots, \pi_{e_f}(t)\}; \\ G(t) = g_e \otimes \Pi(t) \leq G^*; \\ H(E^*(\Delta\tau_k)) = - \sum_{n=1}^m E_n \ln \frac{E_n}{a_n} - (G_n + E_n) \ln(G_n + E_n) \rightarrow \max. \end{array} \right. \quad (2)$$

В системе (2) замена количества автомобилей (V) на количество элементов e (или множества состояний S) подразумевает то, что обобщенная система может быть записана в виде частного случая, где каждому элементу e может быть поставлен в соответствие конкретный вид элемента:

$$e \in E = \{v; r; p; \dots\}; \quad (3)$$

$$s \in S = \{r; c; v; \dots\}, \quad (4)$$

где v – автомобиль;

r – маршрут;

p – пассажир (пешеход);

c – корреспонденция.

Кроме этого, в (2) обозначено $\tilde{S} = \tilde{S}(t)$ как множество состояний элементов. В частности, если $\tilde{S} = \tilde{\Gamma}$, то мы имеем граф УДС, состоящий из совокупности связей, каждая из которых заполняется элементами (транспортными средствами). В иной постановке $\tilde{S} = \tilde{S}(t)$

может представлять собой одно из следующих множеств: совокупность ЦМТ; совокупность видов транспорта; множество целей поездок и т.д. Выражение $\rho = \rho(t)$ определяет теперь наличие связей между подмножествами состояний, определяющих возможные потоки, например, транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) между различными видами транспортных систем и т.д. Соотношение $q = q(t)$ устанавливает пропускные способности, соответствующие интенсивностям обслуживания элементами подмножеств состояний (пропускная способность ТПУ, ЦМТ и т.д.).

На (2) накладывается требование, чтобы пары элементов, входящих в множества E и S , образовывали реалистичные постановки задач.

Приведенная формулировка модели транспортного поведения может быть решена в рамках теории макросистем с помощью численных методов, позволяющих находить равновесные состояния систем, соответствующие максимуму энтропии в модели (2). Напомним, что выбор конкретного выражения для энтропии зависит от применяемой схемы заполнения состояний элементами.

Рассмотрим вопрос численного решения описанной выше системы уравнений и неравенств.

Записанное условие равновесия в транспортной макросистеме

$$H(E^*(\Delta\tau_k)) = - \sum_{n=1}^m e_n \ln \frac{e_n}{a_n} - (G_n + e_n) \ln(G_n + e_n) \rightarrow \max \quad (5)$$

сопровождается максимизацией функции энтропии для распределенных по определенному правилу элементов на множестве состояний. Здесь обозначено:

m – количество макросостояний (количество связей на рисунке 2);

e_n – количество элементов (например, транспортных средств), находящихся в состоянии n .

Количество неизвестных e_n равно m , что соответствует количеству состояний. Уравнения – нелинейные алгебраические.

Особенностью модели является то, что в ней в явном виде отсутствуют: 1) расщепление по виду транспорта; 2) расщепление по цели поездки, то есть модель соответствует наиболее общему случаю.

Множество связей, множество пунктов отправлений.

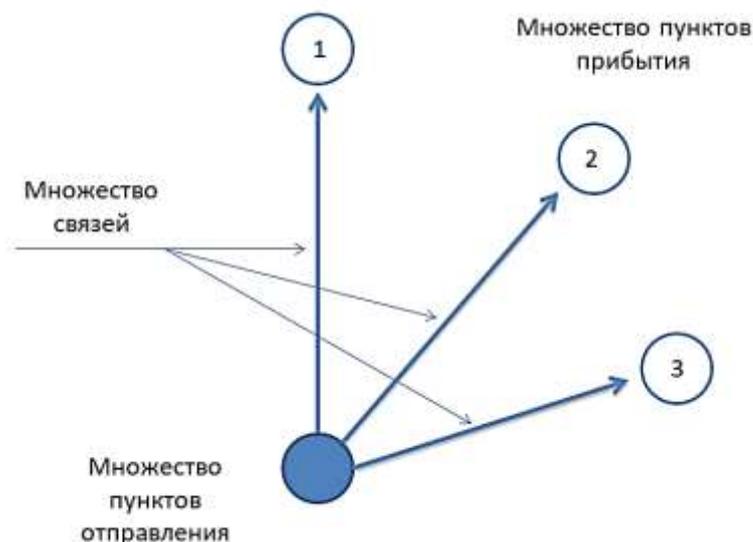


Рисунок 2 - Множество связей и пунктов отправлений

Рассмотрим выражение $\Pi(t) = \{\pi_1(t), \dots, \pi_\beta(t), \dots, \pi_{e_f}(t)\}$, которое представляет собой вектор величин $\pi_\beta(t)$ – уравнений процесса для элемента с индексом $e = \beta$. Здесь $\pi_\beta(t)$ численно представляет собой долю выполненной работы к моменту времени $\tau = t$.

С точки зрения макроподхода мы не выделяем конкретный элемент, а можем получить распределение $\pi_i(t)$ для тех элементов, которые находятся в состоянии i в момент t .

Предположим, что в модели рассматривается частный случай:

- 1) цель поездки – работа.
- 2) вид транспорта – индивидуальный транспорт.

Тогда возникает необходимость в уравнении (1) задать емкости состояний G_1, G_2 и т.д.

Пусть емкость каждого состояния можно выразить отношением

$$G_i = \frac{L_i}{l_a}, \quad (6)$$

где i – произвольный номер состояния;

L_i – длина связи i ;

l_a – динамический габарит автомобиля (приведенного транспортного средства).

Рассмотрим способ расчета априорных вероятностей a_i .

Если $\sum_{i=1}^m D_i$ – общий объем прибытий, то

$$a_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^m D_i}. \quad (7)$$

Для решения задачи необходимо знать (задать) элементы вектора удельных расходов ресурса для конкретной группы (подмножества) автомобилей, находящихся на связи i .

Рассмотрим численную схему решения задачи о равновесии транспортной макросистемы, основанную на теории макросистем [18]. При этом будем считать, что расходование ресурсов является линейным и неполным, что является наиболее вероятным случаем в большинстве транспортных систем.

Тогда рассматривается следующая функция Лагранжа, для которой ставится задача поиска неизвестных множителей:

$$L(E, \lambda) = H(E) + \sum_{k=1}^r \lambda_k (1 - \sum_{n=1}^m \tilde{t}_{kn} E_n). \quad (8)$$

Здесь используются следующие обозначения:

E – общее число элементов в транспортной системе;

λ_k – неопределенные множители Лагранжа, подлежащие определению;

m – общее число подмножеств состояний в системе;

r – общее число ресурсов (в частном случае $r = 1$);

$\tilde{t}_{kn} = t_{kn}/q_k$ – нормированный параметр линейного расходования ресурсов;

q_k – запас k -го ресурса.

Согласно теории макросистем [18] условие существования стационарного состояния сводится к формулировке:

$$\lambda_k^* (1 - \sum_{n=1}^m \tilde{t}_{kn} E_n^*(\lambda)) = 0, \quad (9)$$

$$1 - \sum_{n=1}^m \tilde{t}_{kn} E_n^*(\lambda) \geq 0, \lambda_k \geq 0, k \in \overline{1, r}, \quad (10)$$

которая может быть разрешена с помощью мультипликативного алгоритма:

$$\lambda_k^{s+1} = \lambda_k^s \left(1 - \gamma \nabla_{\lambda_k} \tilde{L}(\lambda^s) \right), k \in \overline{1, r}, \quad (11)$$

где

$$\tilde{L}(\lambda) = L(E^*(\lambda), \lambda). \quad (12)$$

В настоящей статье представление ресурсов g_e не конкретизируется. В принципе, это может быть любой из ресурсов, который расходуется при осуществлении поездки: время; денежные средства; стоимость транспортных средств; горюче-смазочные материалы и т.п.

Результаты и обсуждение

Рассмотренная выше математическая модель закладывает основу для постановки множества конкретных прикладных задач равновесия транспортных систем с учетом функционирования информационных систем автомобильного транспорта с позиций теории макросистем. Принципиально новым является учет в системе уравнений транспортного поведения пассажиров или, другими словами, транспортной системы индивидуальных перемещений.

Выводы

В настоящей работе сформулирована математическая модель транспортной системы индивидуальных перемещений, соответствующая транспортной фазе и демонстрирующая равновесную реализацию «замыслов» множества участников дорожного движения. Эта модель отличается традиционным подходом теории макросистем, в тоже время, она позволяет составлять множество постановок задач для самых разных ситуаций. Например, может представлять интерес задача о распределении пассажиров по различным типам транспортных систем, каждая из которых отличается своим набором потребительских свойств (задача о расщеплении по видам транспорта) и т.д.

Другим результатом данной работы является получение уравнений, необходимых для численной реализации конкретной задачи в модели (2).

Таким образом, дальнейшее направление работ могло бы здесь заключаться в формулировке конкретных постановок задач и их численной реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Подходы к формализации понятия транспортного поведения населения городских агломераций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2021. - № 2. - С. 60-70.
2. Мулеев, Е.Ю. Транспортное поведение населения России: краткий отчет о социологическом исследовании - М.: Институт экономики транспорта и транспортной политики НИУ ВШЭ. - 2015. - 37 с.
3. Савельева Е.О. Факторы формирования транспортного поведения в крупнейших городах России / Е.О. Савельева // Градостроительство. - 2018. - №5(57). - С. 54-63.
4. Федоров В.А. Транспортное поведение индивидуумов – основной источник городских транспортных проблем // Молодой ученый. - 2015. - №18(98). - С. 309-316.
5. Bhattacharya S., Kumar R.V. Modeling tourists' opinions using RIDIT analysis [Электронный ресурс] / IGI Global. - 2017. – Режим доступа: <https://www.igiglobal.com/chapter/modeling-tourists-opinions-using-ridit-analysis/170970>
6. Privitera, D. Towards a Competitive Sustainable City: Cycling as an Opportunity // Handbook of research on sustainable development and economics. - IGI Global. - 2015. - P. 20-36.
7. Wang, Y. Data-driven solutions to transportation problems / 1st edition. - Elsevier Inc., 2019. - 299 p.
8. Бутузова А.Б., Потылицын Е.А. Современные методы исследования транспортной подвижности населения на основе данных мобильных операторов [Электронный ресурс] / Молодой ученый. - 2019. - №50(288). - С. 87–90. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/288/65157/>
9. Савельева Е.О., Лоренс П. Сравнительный анализ моделей городской мобильности в России и за рубежом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. - 2019. - №3. - С. 79-94.
10. Комаров В., Акимова В. Стратегии устойчивой мобильности: лучшие мировые практики // Экономическая политика. - 2021. - Т. 16. - №1. - С. 82-103.
11. Блянкинштейн И.М., Фадеев А.И., Федоров А.В. и др. Обоснование целесообразности изучения транспортной подвижности населения на основе мониторинга абонентов мобильной связи // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. - 2015. - Т. 8. - №2. - С. 254-263.
12. Тиньков С.А. Подходы к оценке транспортной доступности точек притяжения в мегаполисе [Электронный ресурс] / ЭПП. - 2021. - №2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-otsenke-transportnoy-dostupnosti-tochek-prityazheniya-v-megapolise>
13. R.A.M. Madhuwanthi, Ashu Marasinghe, R.P.C. Janaka Rajapakse, Asanka D. Dharmawansa, Shusaku Nomura. Factors influencing to travel behavior on transport mode choice // International journal of affective engineering. - №15(2). - 2015.
14. Quan Liang, Jiancheng Weng, Wei Zhou, Selene Baez Santamaria, Jianming Ma, Jian Rong. Individual travel behavior modeling of public transport passenger based on graph construction [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830/>
15. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Обзор сервисов для обеспечения транспортной подвижности населения / Отв. редактор М.С. Разумов // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике: Сборник научных статей 4-й Международной научно-технической конференции. - Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2022. - С. 22-27.
16. Головин О.К., Пупынин К.В. Повышение эффективности использования аппаратных ресурсов браузерными программными средствами моделирования транспортного потока // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2019): Труды Международной научно-технической конференции - Самара: Самарский научный центр РАН. - 2019. - С. 433-434.
17. Khabibullina E., Sysyoev A. Forming production rules in intelligent transportation system to control traffic flow // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. – 2020. - №4. - С. 317-322.
18. Кузяшев А.Н., Черных А.А. Концепция умного городского транспорта [Электронный ресурс] / Экономика и бизнес: теория и практика. - 2020. - №12-2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsepsiya-umnogo-gorodskogo-transporta>

19. Крушель Е.Г., Огар Т.П., Панфилов А.Э., Степанченко И.В., Степанченко О.В. Оценка пригодности модели перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта для выявления скрытых закономерностей поведения пассажиропотока [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. - №4. – 2021. – Режим доступа: 2021ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6936

20. Пищикова О.В. Механизм управления транспортным поведением жителей мегаполиса [Электронный ресурс] / Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - №1 (115). – Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/1-115-2022-january/mexanizm-upravleniya-transportnym-povedeniem-zhitelej-megapolisa>

21. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Information support of transport mobility of the population // Information innovative technologies: International scientific-practical conference. - Moscow: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky. - 2022. - P. 342-349.

22. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Математическая модель транспортного поведения на основе теории транспортных макросистем // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19. - №6(97). - С. 13-18.

23. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Модельное представление транспортной системы города (агломерации) с позиций теории макросистем / Отв. редактор Е.В. Агеев // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ - 2021): Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. - Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2021. - С. 20-23.

24. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Транспортное поведение населения с позиций феноменологической теории самоорганизации сложных систем // Современные материалы, техника и технология: Сборник научных статей 11-й Международной научно-практической конференции. - Курск: Юго-Западный государственный университет - 2021. - С. 13-18.

25. Олемской, А.И. Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория - М.: Кранд, 2009. - 379 с.

26. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Обоснование выбора теоретического аппарата для описания транспортного поведения жителей города (мегаполиса) // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2021. - Т. 18. - №6(82). - С. 746-758.

27. Попков, Ю.С. Теория макросистем: Равновесные модели - М.: Эдиториал УРСС, 1999. - 320 с.

28. Хакен, Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам - М.: УРСС: ЛЕНАРД. - Изд. 3-е, испр. и знач. доп. - Пер. с англ, 2014. - 320 с.

Агуреев Игорь Евгеньевич

Тульский государственный университет
Адрес: 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92
Д.т.н., зав. кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»
E-mail: agureev-igor@yandex.ru

Ахромешин Андрей Владимирович

Тульский государственный университет
Адрес: 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92
К.т.н., докторант
E-mail: aakhromeshin@yandex.ru

I.E. AGUREEV, A.V. AKHROMESHIN

ON THE ISSUE OF DEVELOPING A MODEL OF A TRANSPORT SYSTEM OF INDIVIDUAL MOVEMENTS WITH MANAGEMENT

***Abstract.** Within the framework of the article, a generalized mathematical model of the transport system of individual movements is formulated, containing the control process in a general form, numerical schemes for solving the tasks are presented. The description of the model is expanded by the equations of the control process and the intensity of operations to be able to consider the problems of equilibrium of transport systems, taking into account the functioning of information systems of road transport.*

***Keywords:** transport system, transport behavior, individual movements, mathematical model, transport process, trip*

BIBLIOGRAPHY

1. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Podkhody k formalizatsii ponyatiya transportnogo povedeniya naseleniya gorodskikh aglomeratsiy // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - № 2. - S. 60-70.
2. Muleev, E.Yu. Transportnoe povedenie naseleniya Rossii: kratkiy otchet o sotsiologicheskom issledovanii - M.: Institut ekonomiki transporta i transportnoy politiki NIU VSHE. - 2015. - 37 с.
3. Savel`eva E.O. Faktory formirovaniya transportnogo povedeniya v krupneyshikh gorodakh Rossii / E.O. Savel`eva // Gradostroitel`stvo. - 2018. - №5(57). - S. 54-63.
4. Fedorov V.A. Transportnoe povedenie individuumov - osnovnoy istochnik gorodskikh transportnykh problem // Molodoy uchenyy. - 2015. - №18(98). - S. 309-316.
5. Bhattacharya S., Kumar R.V. Modeling tourists' opinions using RIDIT analysis [Elektronnyy resurs] / IGI Global. - 2017. - Rezhim dostupa: <https://www.igiglobal.com/chapter/modeling-tourists-opinions-using-ridit-analysis/170970>
6. Privitera, D. Towards a Competitive Sustainable City: Cycling as an Opportunity // Handbook of research on sustainable development and economics. - IGI Global. - 2015. - R. 20-36.
7. Wang, Y. Data-driven solutions to transportation problems / 1st edition. - Elsevier Inc., 2019. - 299 p.

8. Butuzova A.B., Potylitsyn E.A. Sovremennyye metody issledovaniya transportnoy podvizhnosti naseleniya na osnove dannykh mobil'nykh operatorov [Elektronnyy resurs] / Molodoy uchenyy. - 2019. - №50(288). - S. 87-90. - Rezhim dostupa: <https://moluch.ru/archive/288/65157/>
9. Savel'eva E.O., Lorens P. Sravnitel'nyy analiz modeley gorodskoy mobil'nosti v Rossii i za rubezhom // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. - 2019. - №3. - S. 79-94.
10. Komarov V., Akimova V. Strategii ustoychivoy mobil'nosti: luchshie mirovye praktiki // Ekonomicheskaya politika. - 2021. - T. 16. - №1. - S. 82-103.
11. Blyankinshteyn I.M., Fadeev A.I., Fedorov A.V. i dr. Obosnovanie tselesoobraznosti izucheniya transportnoy podvizhnosti naseleniya na osnove monitoringa abonentov mobil'noy svyazi // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. - 2015. - T. 8. - №2. - S. 254-263.
12. Tin'kov S.A. Podkhody k otsenke transportnoy dostupnosti toчек prityazheniya v megapolise [Elektronnyy resurs] / EPP. - 2021. - №2. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-otsenke-transportnoy-dostupnosti-toчек-prityazheniya-v-megapolise>
13. R.A.M. Madhuwanthi, Ashu Marasinghe, R.P.C. Janaka Rajapakse, Asanka D. Dharmawansa, Shusaku Nomura. Factors influencing to travel behavior on transport mode choice // International journal of affective engineering. - №15(2). - 2015.
14. Quan Liang, Jiancheng Weng, Wei Zhou, Selene Baez Santamaria, Jianming Ma, Jian Rong. Individual travel behavior modeling of public transport passenger based on graph construction [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830/>
15. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Obzor servisov dlya obespecheniya transportnoy podvizhnosti naseleniya / Otv. redaktor M.S. Razumov // Informatsionnye tekhnologii v upravlenii, avtomatizatsii i mekhatronike: Sbornik nauchnykh statey 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2022. - S. 22-27.
16. Golovnin O.K., Pupyin K.V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya apparatnykh resursov brauzernymi programmnyimi sredstvami modelirovaniya transportnogo potoka // Perspektivnye informatsionnye tekhnologii (PIT 2019): Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii - Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN. - 2019. - S. 433-434.
17. Khabibullina E., Sysoev A. Forming production rules in intelligent transportation system to control traffic flow // Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nykh sistem. - 2020. - №4. - S. 317-322.
18. Kuzyashev A.N., Chernykh A.A. Kontseptsiya umnogo gorodskogo transporta [Elektronnyy resurs] / Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. - 2020. - №12-2. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-umnogo-gorodskogo-transporta>
19. Krushel' E.G., Ogar T.P., Panfilov A.E., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. Otsenka prigodnosti modeli peremeshcheniya passazhirov mezhdru ostanovkami gorodskogo passazhirskego obshchestvennogo transporta dlya vyyavleniya skrytykh zakonomernostey povedeniya passazhiropotoka [Elektronnyy resurs] / Inzhenernyy vestnik Dona. - №4. - 2021. - Rezhim dostupa: 2021ivdon.ru/magazine/archive/n4y2021/6936
20. Pishchikova O.V. Mekhanizm upravleniya transportnym povedeniem zhitel'ey megapolisa [Elektronnyy resurs] / Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. - 2022. - №1 (115). - Rezhim dostupa: <https://research-journal.org/archive/1-115-2022-january/mexanizm-upravleniya-transportnym-povedeniem-zhitel'ey-megapolisa>
21. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Information support of transport mobility of the population // Information innovative technologies: International scientific-practical conference. - Moscow: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky. - 2022. - P. 342-349.
22. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Matematicheskaya model' transportnogo povedeniya na osnove teorii transportnykh makrosistem // Mir transporta. - 2021. - T. 19. - №6(97). - S. 13-18.
23. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Model' noe predstavlenie transportnoy sistemy goroda (aglomeratsii) s pozitsiy teorii makrosistem / Otv. redaktor E.V. Ageev // Sovremennyye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT - 2021): Sbornik statey XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2021. - S. 20-23.
24. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Transportnoe povedenie naseleniya s pozitsiy fenomenologicheskoy teorii samoorganizatsii slozhnykh sistem // Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologiya: Sbornik nauchnykh statey 11-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet - 2021. - S. 13-18.
25. Olemskoy, A.I. Sinergetika slozhnykh sistem: Fenomenologiya i statisticheskaya teoriya - M.: Krasand, 2009. - 379 s.
26. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Obosnovanie vybora teoreticheskogo apparata dlya opisaniya transportnogo povedeniya zhitel'ey goroda (megapolisa) // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2021. - T. 18. - №6(82). - S. 746-758.
27. Popkov, Yu.S. Teoriya makrosistem: Ravnovesnye modeli - M.: Editorial URSS, 1999. - 320 s.
28. Haken, G. Informatsiya i samoorganizatsiya: makroskopicheskiy podkhod k slozhnym sistemam - M.: URSS: LENARD. - Izd. 3-e, ispr. i znach. dop. - Per. s angl, 2014. - 320 s.

Agureev Igor Evgenievich
Tula State University
Address: 300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Doctor of technical sciences
E-mail: agureev-igor@yandex.ru

Akhromeshin Andrey Vladimirovich
Tula State University
Address: 300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Candidate of technical sciences
E-mail: aakhromeshin@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-58-67

А.А. ВАЛЬКОВСКАЯ, А.В. КУЛИКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КРУПНОГО ГОРОДА ПРОДУКЦИЕЙ (КЛЕЙ ОБОЙНЫЙ) ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

***Аннотация.** Рассмотрен транспортный процесс перевозки химической продукции (клей обойный) г. Волгограда. Рассмотрено объединение индивидуальной упаковки в групповую, с размещением в транспортном пакете. Предложены и осуществлены мероприятия по выбору подвижного состава (ПС), с использованием критерия вместимости и грузоподъемности. Для организации перевозок рассмотрено пять единиц ПС, определено количество пакетов, вмещающих в автомобили, рассчитано необходимое количество ездов для выбранных единиц ПС. В работе определена недоиспользуемая площадь кузова по маркам ПС и рассчитаны суточные затраты для каждого ПС при перевозке суточного объема клея, а также определена экономическая эффективность. Для каждого ПС предложена своя технологическая схема.*

***Ключевые слова:** подвижной состав, клей обойный, бумажные обои, упаковка, перевозка химической продукции, выбор подвижного состава, транспортный пакет, транспортный процесс, суточный объем перевозок, экономическая эффективность, технологическая схема*

Введение

Строительство новых жилищных комплексов в г. Волгограде обеспечивает потребность населения в собственном жилье. Отделка помещений в основном полностью зависит от покупателя объекта. Современный мир и мода в нем предлагает множество интерьерных дизайнерских решений для обустройства помещений. Для подчеркивания особенностей интерьера требуется применение различных декоративных материалов. Современная облицовка представляет собой обдуманый дизайнерский подход к декорированию стен с сочетанием обоев между собой и другими материалами. Обои являются одним из самых доступных и универсальных приемов отделки, поэтому именно им сегодня уделяется особое внимание дизайнеров. Правильно подобранный обойный клей значительно повысит качество и долговечность жизни покрытия.

Химическая промышленность региона выпускает огромное количество продукции для обеспечения жизнедеятельности населения: отбеливающие и моющие средства, средства для мытья посуды, средства для прочистки труб и др., а также строительные материалы: замазка, побелка, краска (АО Каустик); жидкое мыло, моющие средства, порошки (ООО ОРТ); краска, грунтовка, эмаль, олифа (ООО Радуга) и т.д.

Перевозка продукции химической промышленности в г. Волгограде осуществляется автомобильным транспортом. Предприятия и склады города поставляют населению необходимое количество продукции [14].

Потребителями клея обойного в основном являются строительные рынки и магазины.

В производственно-логистических системах перевозчик обязан провести необходимые расчеты, обеспечивающие учет неравномерности объемов потребления, времени доставки, стоимости материалов и должной эффективности функционирования ПС [1-7]. Логистический расчет позволяет правильно организовать работу транспорта, а также способствует определению режима работы единиц ПС при перевозке клея обойного с завода потребителям.

Материал и методы

В работе используются графический и аналитический методы для проведения инженерных расчетов по определению: размещения тары на поддонах; размещения транспортных пакетов на платформе ПС [8-10].

Аналитические расчеты позволяют определить показания использования площади и грузоподъемности, как поддона, так и автомобиля.

Выбор подвижного состава погрузочных механизмов осуществляется по разработанной методике со следующими критериями оптимизации: выбор по производительности; выбор по использованию грузоподъемности; выбор по экономической эффективности; выбор по времени ожидания [1, 11-13]. При разработке технологических схем учитывается технологическая последовательность выполнения операций, элементов, этапов и процессов. Необходимо моделирование транспортного процесса в логистической системе обеспечения потребителей крупного города продукцией химического предприятия. Эффективность предложенных мероприятий оценивается экономическими методами.

Теория / Расчет

Клей обойный предназначен для наклеивания виниловых, структурных, рельефных, текстильных, других специальных обоев и всех видов бумажных обоев. Это порошковый клей на базе крахмального эфира светлого цвета с матовым оттенком, по структуре кремообразный, тягучий [15].

Клей обойный перевозят в закрытой упаковке, в сухом подвижном составе. Способ и срок хранения обойного клея: 2 года в нераспечатанной упаковке, в сухом месте при t от -20 до $+30$ °С, также возможно замораживание до 2-х недель до -40 °С.

Индивидуальная упаковка клея – цветная картонная коробка размером $15 \times 11 \times 5$ см, весом 282 г., групповая упаковка клея – коробка размером $60 \times 30 \times 22$ см, весом 14,5 кг (48 пачек клея в коробке) (рис. 1, 2).



Рисунок 1 – Индивидуальная и групповая упаковка клея обойного

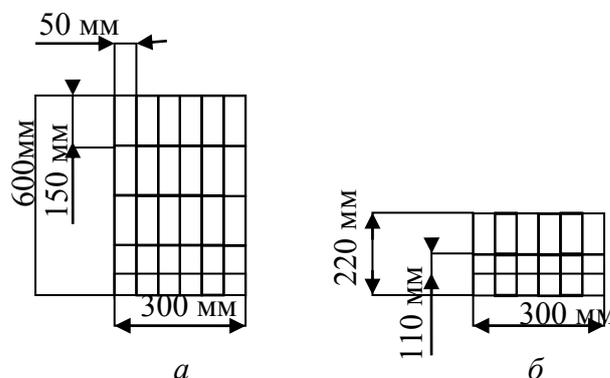


Рисунок 2 – Размещение клея обойного в коробке: а) вид сверху, б) вид сбоку

Формирование транспортного пакета клея обойного рассмотрено с использованием евро (рис. 3) и финского поддонов (рис. 4).

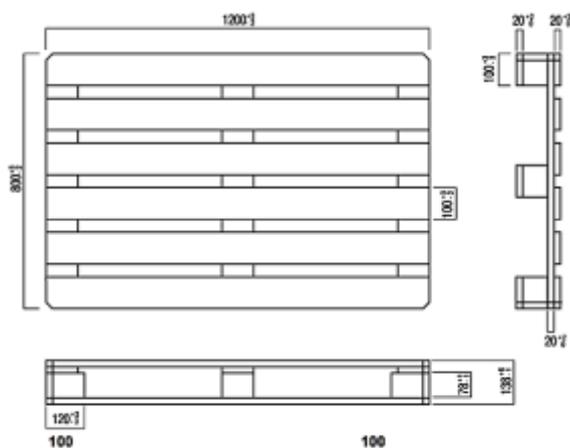


Рисунок 3 – Европоддон

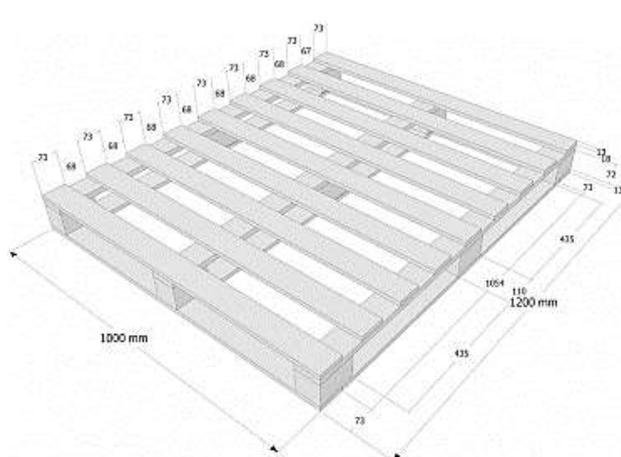
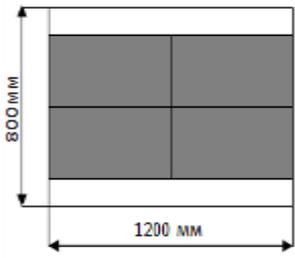
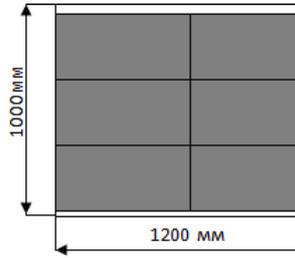
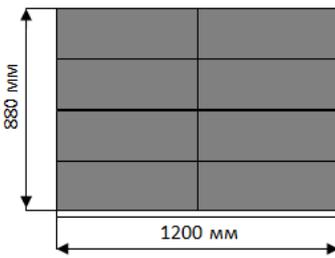
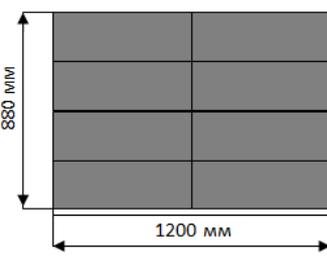


Рисунок 4 – Финский поддон

Сравнительные характеристики тары представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики тары

Показатель	Европоддон	Финский поддон
грузоподъемность, кг	1500	1500
размеры, мм	1200 × 800 × 138	1200 × 1000 × 138
масса поддона, кг	25	25
вид сверху с грузом		
вид сбоку с грузом		
число коробок с обойным клеем, шт.	16	24
масса одной коробки с обойным клеем, шт.	14,5	14,5
масса груза, кг	232	348
масса груза с тарой, кг	257	373

Финский поддон вмещает больше коробок с обойным клеем, чем европоддон, поэтому для перевозки суточного объема груза понадобится меньше тары. Следовательно, выбираем для дальнейших расчетов – финский паллет [16-18].

Выбор ПС проведем из пяти автомобилей: фургон Mercedes-Benz Sprinter 209CDI; фургон BAW 33462; бортовой ЗИЛ 43273Н; бортовой КАМАЗ 4326; фургон Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S. Технические характеристики ПС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ПС

Характеристики ПС	Размещение тары в ПС
Mercedes-Benz Sprinter 209CDI	
грузоподъемность – 0,78 т длина кузова – 2,6 м ширина кузова – 1,65 м высота кузова – 1,75 м стоимость работы – 400 руб/ч	
BAW 33462	
грузоподъемность – 1,1 т длина кузова – 3,88 м ширина кузова – 2,00 м высота кузова – 1,55 м стоимость работы – 450 руб/ч	
ЗИЛ 43273Н	
грузоподъемность – 3,0 т длина кузова – 3,75 м ширина кузова – 2,42 м высота кузова – 1,55 м стоимость работы – 700 руб/ч	
КАМАЗ 4326	
грузоподъемность – 4,0 т длина кузова – 4,8 м ширина кузова – 2,42 м высота кузова – 1,55 м стоимость работы – 800 руб/ч	
Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S	
грузоподъемность – 4,5 т длина кузова – 6,5 м ширина кузова – 2,45 м высота кузова – 2,3 м стоимость работы – 850 руб/ч	

Проведем расчет коэффициента статистического использования грузоподъемности для всех автомобилей:

$$\text{для Mercedes-Benz Sprinter 209CDI } \gamma_c = \frac{G_{\Phi}}{q_a} = 0,373 \times 2 / 0,78 = 0,956;$$

$$\text{для BAW 33462 } \gamma_c = \frac{G_{\Phi}}{q_a} = 0,373 \times 3 / 1,1 = 1,017;$$

для ЗИЛ 43273 $\gamma_c = \frac{G_\phi}{q_a} = 0,373 \times 6/3 = 0,746$;

для КАМАЗ 4326 $\gamma_c = \frac{G_\phi}{q_a} = 0,373 \times 8/4 = 0,746$;

для Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S $\gamma_c = \frac{G_\phi}{q_a} = 0,373 \times 12/4,5 = 0,995$.

Наибольший коэффициент использованию грузоподъемности достигается при перевозке груза фургоном BAW 33462.

Расчет недоиспользованной площади кузова автомобилей представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет недоиспользованной площади

Марка автомобиля	Количество транспортных пакетов, шт.	Площадь кузова автомобиля, м ²	Используемая площадь, м ²	Недоиспользуемая площадь, м ²	Недоиспользуемая площадь, %
Mercedes-Benz Sprinter 209CDI	2	4,29	2,4	1,89	44,1
BAW 33462	3	7,76	3,6	4,16	53,6
ЗИЛ 43273Н	6	9,075	7,2	1,875	20,7
КАМАЗ 4326	8	11,616	9,6	2,016	17,4
Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S	12	15,925	14,4	1,525	9,6

Пример расчета недоиспользованной площади кузова автомобиля для Mercedes-Benz Sprinter 209CDI.

Площадь кузова автомобиля: $S = 2,6 \times 1,6 = 4,29 \text{ м}^2$;

используемая площадь: $S = 1,0 \times 1,2 \times 2 = 2,4 \text{ м}^2$;

недоиспользуемая площадь: $S = 4,29 - 2,4 = 1,89 \text{ м}^2$; $1,89 \times 100 \% / 4,29 = 44,1 \%$.

Зависимости недоиспользованной площади по маркам подвижного состава представлены на рисунке 5.

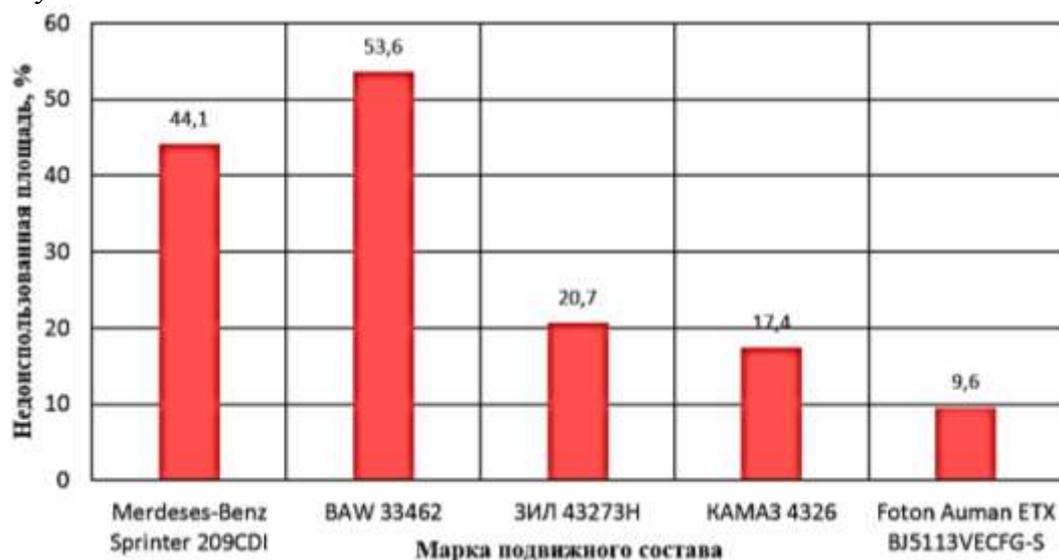


Рисунок 5 – Зависимости недоиспользованной площади по маркам ПС

Наименьшая недоиспользованная площадь при перевозке суточного объема достигается автомобилем Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S.

Перевозка обойного клея осуществляется со склада, расположенного по адресу: г. Волгоград, ул. Моторная, 9.

Потребителями клея обоевого в основном являются строительные магазины и рынки. Суточный объем потребления клея обоевого – 21 т.

Поставки обоевого клея со склада осуществляется пяти потребителям (1 – Строймаг; 2 – База стройматериалов; 3 – Стройматериалы; 4 – Силикатные блоки; 5 – Мир ремонта). Перевозка возможна каждому потребителю в равном объеме – по 4,2 т.

Картограмма грузопотока обоевого клея за сутки представлена на рисунке 6.

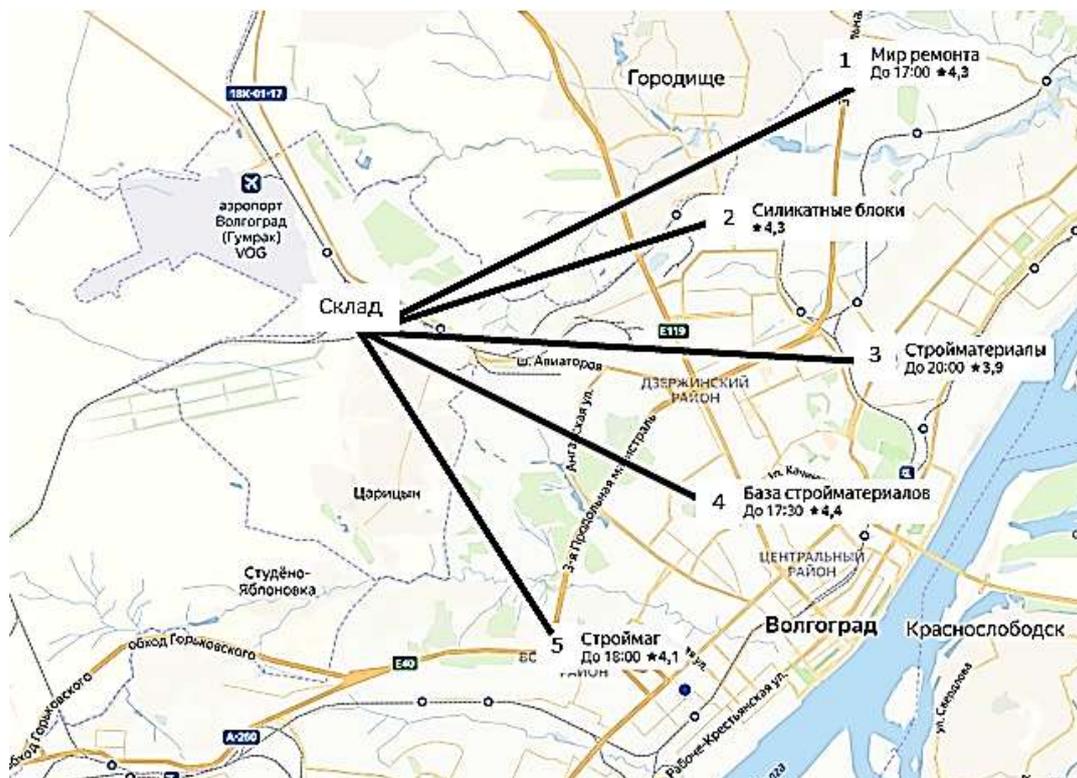


Рисунок 6 – Картограмма грузопотока обоевого клея потребителям за сутки

Проведем расчет необходимого числа ездов с грузом при перевозке суточного объема для каждого вида ПС и расчет экономической эффективности (табл. 4).

Таблица 4 – Расчет необходимого числа ездов с грузом при перевозке суточного объема и расчет экономической эффективности

Марка ПС	Необходимое число ездов, ед.	Стоимость использования ПС, руб.	
		За одну ездку	За сутки
Mersedes-Benz Sprinter 209CDI	30	505	15150,0
BAW 33462	20	616,3	12326,0
ЗИЛ 43273Н	10	1120	11200,0
КАМАЗ 4326	8	1406,7	11253,6
Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S	5	1795	8975,0

Наименьшее число ездов с грузом при перевозке суточного объема достигается при перевозке клея обоевого автомобилем Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S.

Экономическая эффективность ПС = Максимальная стоимость использования ПС - Стоимость использования, выбранного ПС = 15150 – 8975 = 6175 руб./сут.

Наибольшая экономическая эффективность при перевозке всего суточного объема груза приходится на доставку продукции автомобилем Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S.

Проведем расчет технологических схем перевозки клея обоевого для пяти типов ПС, а также рассчитаем суммарное транспортное время за 1 ездку и представим их в таблице 5.

Таблица 5 – Технологические схемы перевозки клея обойного и суммарное транспортное время по технологическим схемам для пяти автомобилей

Марка автомобиля	Необходимое число ездов, ед.	Суммарное транспортное время за одну езду, ч:мин	Технологические схемы
Mercedes-Benz Sprinter 209CDI	30	1:07	
BAW 33462	20	1:11	
ЗИЛ 43273Н	10	1:21	
КАМАЗ 4326	8	1:28	
Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S	5	1:42	

Наименьшее суммарное транспортное время по технологическим схемам при перевозке суточного объема клея обойного достигается при использовании автомобиля Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S.

В таблице 6 представлены расчеты по определению оптимального ПС для перевозки клея.

По итогам таблицы 6 автомобиль Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S, загруженный финскими поддонами, является наилучшим по 4 показателям из 5, соответственно, принимаем данный подвижной состав за оптимальный.

Результаты и обсуждение

Для розничной торговли широкое потребление нашла фасовка и упаковка клея в индивидуальную упаковку весом – 282 г., размером – 150×110×50. Для перевозки клей обойный собирается в коробки по 48 шт., весом – 14,5 кг, размером – 600×300×220.

Таблица 6 – Определение оптимального подвижного состава

Показатели	Mersedes-Benz Sprinter 209CDI	BAW 33462	ЗИЛ 43273Н	КАМАЗ 4326	Foton Auman ETX BJ5113VECF G-S
Коэффициент использования грузоподъемности	0,956	1,017	0,746	0,746	0,995
Доля недоиспользованной площади, %	44,1	53,6	20,7	17,4	9,6
Суммарное транспортное время за сутки, ч.	33,50	23,50	13,50	11,73	8,50
Стоимость использования ПС в сутки, руб.	15150	12326	11200	11253,6	8975
Количество ездки, ед.	30	20	10	8	5

Коробки для перевозки клея обоевого формируются в транспортные пакеты. От выбора транспортного пакета зависят характеристики использования ПС (использование грузоподъемности и вместимости), а также его эффективность [20].

Для формирования транспортного пакета в работе выбран финский поддон, который вмещает 24 коробки, весом 348 кг.

Рассмотрено пять единиц ПС (фургон Mercedes-Benz Sprinter 209CDI; фургон BAW 33462; бортовой ЗИЛ 43273Н; бортовой КАМАЗ 4326; фургон Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S). Определено количество пакетов, вмещаемых в автомобили (Mercedes-Benz Sprinter 209CDI – 2 пакета; BAW 33462 – 3 пакета; ЗИЛ 43273Н – 6 пакетов; КАМАЗ 4326 – 8 пакетов; Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S – 12 пакетов) и осуществлен выбор подвижного состава, с использованием критерия вместимости (недоиспользуемая площадь: Mercedes-Benz Sprinter 209CDI – 44 %; BAW 33462 – 53,6 %; ЗИЛ 43273Н – 20,7 %; КАМАЗ 4326 – 17,5 %; Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S – 9,6 %) и критерия грузоподъемности (коэффициент использования грузоподъемности: Mercedes-Benz Sprinter 209CDI – 0,956; BAW 33462 – 1,017; ЗИЛ 43273Н – 0,746; КАМАЗ 4326 – 0,746; Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S – 0,995).

Рассмотрено пять потребителей в г. Волгограде клея обоевого (1 – Строймаг; 2 – База стройматериалов; 3 – Стройматериалы; 4 – Силикатные блоки; 5 – Мир ремонта). Определен суточный объем потребления клея обоевого – 21 т, по 4,2 т каждому потребителю.

Рассчитано необходимое количество ездки для обеспечения перевозок суточного объема клея обоевого, выбранными единицами ПС (табл. 4). Выявлено, что в зависимости от грузоподъемности автомобиля меняется количество ездки с грузом. Рассчитаны суточные затраты для каждого ПС при перевозке суточного объема (Mercedes-Benz Sprinter 209CDI – 15150 руб., BAW 33462 – 12326 руб., ЗИЛ 43273Н – 11200 руб., КАМАЗ 4326 – 11253,6 руб., Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S – 8975 руб.) и определена экономическая эффективность. Определено, что наибольшая экономическая эффективность при перевозке всего суточного объема груза приходится на доставку продукции автомобилем Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S (6175 руб.).

Разработаны технологические схемы для каждого автомобиля и определено суммарное транспортное время. Оптимальной является технологическая схема автомобиля Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S (суммарное транспортное время за 1 ездку – 1 ч. 42 мин.).

Определено, что автомобиль Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S, загруженный финскими поддонами, является наилучшим по 4 показателям из 5 и принят за оптимальный подвижной состав [19].

Выводы

В работе рассмотрены графический и аналитический методы оптимизации перевозочного процесса грузов. Получено, что для перевозки клея обоевого возможно использование 5 ед. ПС (Mercedes-Benz Sprinter 209CDI; BAW 33462; ЗИЛ 43273Н; КАМАЗ 4326; Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S). Оптимальным подвижным составом по использованию грузоподъемности является BAW 33462 (0,995), по критерию вместимости (наименьшая недоиспользованная площадь) – Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S (9,6 %), по наименьшему числу

ездок – Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S (5 ед.). Рассмотрено пять технологических схем для каждого ПС, оптимальная – для автомобиля Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S. Экономически эффективным автомобилем при перевозке всего суточного объема является Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S (6175 руб.). Автомобиль Foton Auman ETX BJ5113VECFG-S принят за оптимальный ПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельможин, А.В. Грузовые автомобильные перевозки: учебник – Москва: Горячая линия–Телеком. – 3-е изд., испр., 2016. – 560 с.
2. Фирсова С.Ю., Куликов А.В., Советбеков Б. Роль транспортной логистики в обеспечении экзистенциальной безопасности человека // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (Бишкек). – 2019. – Т. 19. – №8. – С. 97-101.
3. Айтбагина Э.Р., Витвицкий Е.Е. Влияние расстояния на результаты работы группы автомобилей при перевозке грузов грузоотправителем // Вестник СибАДИ. – 2017. – №56(4-5(56-57)). – С. 14-24.
4. Федосеев Е.С., Витвицкий Е.Е. Влияние времени простоя под погрузочно-разгрузочными работами на функционирование совокупности малых ненасыщенных систем перевозок строительных грузов автомобильным транспортом общего пользования // Вестник СибАДИ. – 2017. – №56(4-5(56-57)). – С. 47-61.
5. Jacyna-Golda, I., Kłodawski, M., Lewczuk, K., Łajszczak, M., Chojnacki, T., Siedlecka-Wójcikowska, T., 2019. Elements of perfect order rate research in logistics chains // Archives of Transport. – №49(1). – P. 25-35.
6. Kulikov A.V., Firsova S.Y. Effectiveness of road transport technology in modern housing systems // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering. – 2019.
7. Tolebayeva A. Kh., Vitvitskiy E.E., Markelova T.V. Enhancement of the efficiency of transportation of the company's own cargo in operational scheduling // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 632.
8. Илесалиев Д.И. Увеличение массы партии грузов за счёт рационального выбора транспортной тары // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №1. – С. 97-105.
9. Маликов О.Б., Коровяковский Е.К., Илесалиев Д.И. Логистика пакетных перевозок штучных грузов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – №4(41). – С. 51-57.
10. He P., li J. Vehicle routing problem with partly simultaneous pickup and delivery for the cluster of small and medium enterprises // Archives of transport. – 2018. – №45(1). – P. 35-42.
11. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Советбеков Б. Совершенствование организации перевозок экспортных зерновых культур // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (Бишкек). – 2019. – Т. 19. – №4. – С. 46-52.
12. Lukinskiy V., Pletneva N., Gorshkov V., Druzhinin P. Application of the logistics «Just in Time» Concept to Improve the Road Safety // Transportation Research Procedia. – 2017. – №20. – P. 418-424.
13. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // Journal of engineering and applied sciences. – 2017. – Vol. 12. – P. 511-515.
14. Белокуров В.П., Белокуров С.В., Скрыль С.В. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. – №2. – 2010. – С. 6-12.
15. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Артемов А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – №3. – С. 25-33.
16. Беляков, В.В. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем - Н. Новгород: ННГТУ, 2001. – 271 с.
17. Величко, С.В. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации: Монография – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад, 2004. – 126 с.
18. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений – М.: Логос, 2000. – 296 с.
19. Шоломов, М.В. Логические методы исследования дискретных моделей выбора - М: Наука. – 1989. – 287 с.
20. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. – Cetaro.: C.I.M.E., 2009. – 150 p.

Вальковская Анна Аловсатовна

Волгоградский государственный технический университет
Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, ул. Ленина, 28
Студент
E-mail: anna.valkovskay2000@yandex.ru

Куликов Алексей Викторович

Волгоградский государственный технический университет
Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, ул. Ленина, 28
К.т.н., доцент. каф. автомобильные перевозки
E-mail: v2xoda@ya.ru

A.A. VALKOVSKAYA, A.V. KULIKOV

MODELING OF THE TRANSPORT PROCESS IN THE LOGISTICS SYSTEM OF PROVIDING CONSUMERS OF A LARGE CITY WITH PRODUCTS (WALLPAPER GLUE) OF A CHEMICAL ENTERPRISE

Abstract. The transport process of transportation of chemical products (wallpaper glue) of Volgograd is considered. The unification of individual packaging into a group, with placement in a transport package, is considered. Proposed and implemented measures for the selection of rolling stock (PS), using the criterion of capacity and load capacity. For the organization of transportation, five PS units were considered, the number of packages that fit into cars was determined, the required number of rides for the selected PS units was calculated. The paper defines the underutilized area of the body according to the brands of PS and calculates the daily costs for each PS when transporting the daily volume of glue, and also determines the economic efficiency. For each PS, its own technological scheme is proposed.

Keywords: rolling stock, wallpaper glue, paper wallpaper, packaging, transportation of chemical products, choice of rolling stock, transport package, transport process, daily volume of transportation, economic efficiency, technological scheme

BIBLIOGRAPHY

1. Vel' mozhin, A.V. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: uchebnik - Moskva: Goryachaya liniya-Telekom. - 3-e izd., ispr., 2016. - 560 s.
2. Firsova S.Yu., Kulikov A.V., Sovetbekov B. Rol' transportnoy logistiki v obespechenii ekzistentsional'noy bezopasnosti cheloveka // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta (Bishkek). - 2019. - T. 19. - №8. - C. 97-101.
3. Aytbagina E.R., Vitvitskiy E.E. Vliyanie rasstoyaniya na rezul'taty raboty gruppy avtomobiley pri perevozke gruzov gruzootpravitelem // Vestnik SibADI. - 2017. - №56(4-5(56-57)). - S. 14-24.
4. Fedoseenkova E.S., Vitvitskiy E.E. Vliyanie vremeni prostoya pod pogruzochno-razgruzochnymi rabotami na funktsionirovanie sovokupnosti malykh nenasyshchennykh sistem perevozok stroitel'nykh gruzov avtomobil'nyim transportom obshchego pol'zovaniya // Vestnik SibADI. - 2017. - №56(4-5(56-57)). - S. 47-61.
5. Jacyna-Goda, I., Kodawski, M., Lewczuk, K., Oajszczak, M., Chojnacki, T., Siedlecka-Wojcikowska, T. Elements of perfect order rate research in logistics chains // Archives of transport. - 2019. - №49(1). - R. 25-35.
6. Kulikov A.V., Firsova S.Y. Effectiveness of road transport technology in modern housing systems // Proceedings of the 5th International Conference on industrial engineering. - 2019.
7. Tolebayeva A.Kh., Vitvitskiy E.E., Markelova T.V. Enhancement of the efficiency of transportation of the company's own cargo in operational scheduling // IOP Conf. Series: Materials science and engineering. - 2019. - Vol. 632.
8. Ilesaliev D.I. Uvelichenie massy partii gruzov za sch?t ratsional'nogo vybora transportnoy tary // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2018. - №1. - S. 97-105.
9. Malikov O.B., Korovyakovskiy E.K., Ilesaliev D.I. Logistika paketnykh perevozok shtuchnykh gruzov // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya. - 2014. - №4(41). - S. 51-57.
10. He, P., li, J. Vehicle routing problem with partly simultaneous pickup and delivery for the cluster of small and medium enterprises // Archives of transport. - 2018. - №45(1). - R. 35-42.
11. Kulikov A.V., Firsova S.Yu., Sovetbekov B. Sovershenstvovanie organizatsii perevozok eksportnykh zernovykh kul'tur // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta (Bishkek). - 2019. - T. 19. - №4. - C. 46-52.
12. Lukinskiy V., Pletneva N., Gorshkov V., Druzhinin P. Application of the logistics «Just in Time» Concept to Improve the road safety // Transportation research procedia. - 2017. - №20. - R. 418-424.
13. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // Journal of engineering and applied sciences. - 2017. - Vol. 12. - P. 511-515.
14. Belokurov V.P., Belokurov S.V., Skryl' S.V. Prinyatie resheniy dlya effektivnogo upravleniya transportnymi sistemami na osnove situatsiy vybora // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik VINITI RAN. - №2. - 2010. - S. 6-12.
15. Belokurov V.P., Motuzka D.A., Artemov A.Yu. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtotransporta pri osushchestvlenii sezonnykh passazhirskikh perevozok v gorodakh kurortnykh zon // Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. - 2015. - №3. - S. 25-33.
16. Belyakov, V.V. Mnogokriterial'naya optimizatsiya v zadachakh otsenki podvizhnosti, konkurentosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnykh tekhnicheskikh sistem - N. Novgorod: NNGTU, 2001. - 271 s.
17. Velichko, S.V. Sintez funktsiy vybora na iteratsiyakh poiska v chislennykh modelyakh mnogokriterial'noy optimizatsii: Monografiya - Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad, 2004. - 126 s.
18. Larichev, O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy - M.: Logos, 2000. - 296 s.
19. Sholomov, M.V. Logicheskie metody issledovaniya diskretnykh modeley vybora - M: Nauka. - 1989. - 287 s.
20. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. - Cetaro.: S.I.M.E., 2009. - 150 p.

Valkovskaya Anna Alovsatovna
Volgograd State Technical University
Address: 400005, Russia, Volgograd, Lenin str., 28
Student
E-mail: anna.valkovskay2000@yandex.ru

Kulikov Alexey Viktorovich
Volgograd State Technical University
Address: 400005, Russia, Volgograd, Lenin str., 28
Candidate of technical sciences
E-mail: v2xoda@ya.ru

Научная статья

УДК 656

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-68-74

Н.М. КАРИМОВ, А.Ю. МИХАЙЛОВ

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРОДСКИХ ТРЕХПОЛОСНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

***Аннотация.** Приводится обоснование разработки модели оценки пропускной способности многополосных кольцевых пересечений, основанной на конфликтных точках. Разработка такой модели позволит выполнить сопоставительный анализ эффективности многополосных кольцевых пересечений с регулируруемыми кольцевыми пересечениями и турбо-кольцевыми пересечениями.*

***Ключевые слова:** трехполосные кольцевые пересечения, конфликтные точки, распределения интервалов, пропускная способность*

Введение

Действующий в настоящее время ОДМ 218.2.071-2016 «Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог» [2] допускает устройство кольцевых большого диаметра 50-60 м с тремя полосами движения. В документе указывается, что увеличение ширины кольцевой проезжей части, радиусов въездов и центрального островка создает условия опасного движения легковых автомобилей с высокими скоростями. Также отмечается, что кольцевые пересечения могут нарушить скоординированную систему управления движением.

Вместе с тем в Российской Федерации применение многополосных кольцевых пересечений получило в условиях городских улично-дорожных сетей. Эта практика продолжается и за последние годы несколько таких пересечений было спроектировано и построено в Санкт-Петербурге (Софийская ул. – Ижорское шоссе, Софийская ул.– Колпинское шоссе), а также в Калининграде на Аллее чемпионов и ул. Генерала Челнокова и т.д. Применение многополосных кольцевых пересечений аргументируют их более высокой пропускной способностью, хотя содержащаяся в методическом документе ОДМ 218.2.020-2012 [1] разрабатывалась для автомобильных дорог общего пользования.

В городах многополосные кольцевые пересечения устраиваются на магистральных улицах и часто находятся под воздействием близко расположенных светофорных объектов. В городских условиях функционирование многополосных кольцевых пересечений также сопряжено с воздействием движения потоков, оказывающих значительное воздействие на пропускную способность. Очевидна необходимость разработки методики оценки пропускной способности многополосных кольцевых пересечений, отражающая специфику условий городских улично-дорожных сетей.

Материал и методы

Известным преимуществом компактных кольцевых пересечений по сравнению с нерегулируемыми пересечениями является снижение количества конфликтных точек. С увеличением числа полос движения в составе кольцевой проезжей части данное преимущество кольцевых пересечений ликвидируется (рис. 1 и 2). Этим обусловлено наблюдающееся в последнее время применение турбо-кольцевых пересечений вместо двухполосных колец и отказ от многополосных кольцевых пересечений за исключением случаев применения светофорного регулирования [3, 5].

Ряд исследований трехполосных колец указывают на более сложный характер взаимодействия транспортных потоков [6, 7], но в целом трехполосные кольца мало изучены. Поэтому разработка методики оценки пропускной трехполосных колец актуальна и позволит:

- определить область эффективного применения трехполосных колец;
- более точно выполнять сопоставительный анализ «трехполосные кольца – турбо-кольца» и «трехполосные кольца – турбо-кольца»;
- сформировать базу справочных данных для выполнения микромоделирования многополосных колец.

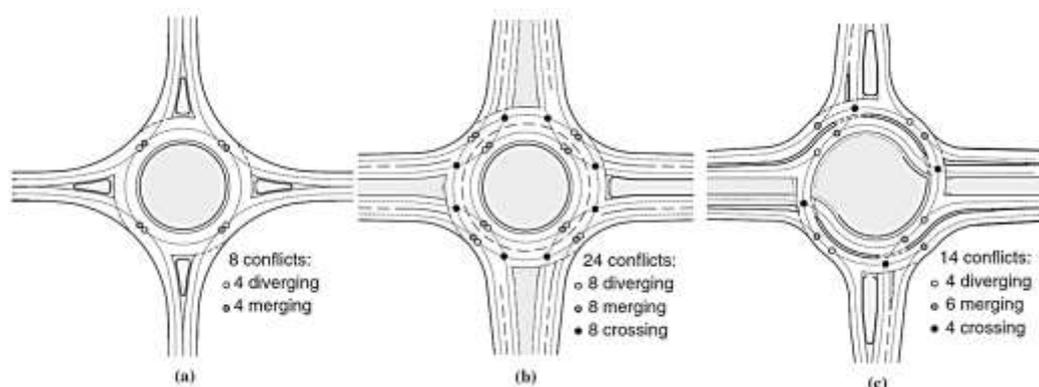


Рисунок 1 – Конфликтные точки на одно и двух-полосных кольцевых пересечениях и турбо-кольцевом пересечении

Теория

В международной специальной литературе к многополосным кольцевым пересечениям относят имеющие две и более полос в составе кольцевой проезжей части. Сложилось два принципиально разных подхода к оценке пропускной способности входов многополосных кольцевых пересечений:

- использование регрессионных моделей оценки пропускной способности каждой из полос движения на входе на кольцевую проезжую часть;
- оценка пропускной способности полосы на входе на кольцевую проезжую часть с учетом взаимодействия второстепенного потока с потоками главного направления в каждой из конфликтных точек.

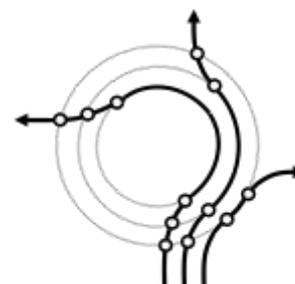


Рисунок 2 – Конфликтные точки, образуемые движением с трехполосного подхода на трехполосном кольце

Учитывая гораздо большее количество конфликтных точек, образующихся на трехполосных кольцах (рис. 1 и 2), должна разрабатываться модель оценки пропускной способности, основанная на закономерностях взаимодействия транспортных потоков в конфликтных точках.

Теория оценки пропускной способности кольцевых пересечений, основанная на конфликтных точках (рис. 3), была сформулирована в работах [8-12] и стало основой расчета кольцевых пересечений немецкого руководства HBS 2015.

Применительно к двухполосному кольцу (рис. 3) для оценки пропускной способности входа на пересечение предложены следующие правила:

- транспортные средства, совершающие правый поворот, или движущиеся прямо через кольцо по внешней полосе, имеют единственную конфликтную точку;
- транспортные средства, совершающие левый поворот, или движущиеся прямо через кольцо по внутренней полосе, имеют две конфликтных точки (т.е. с потоком, движущимся по внешней полосе, а также с потоком, движущимся по внутренней полосе).

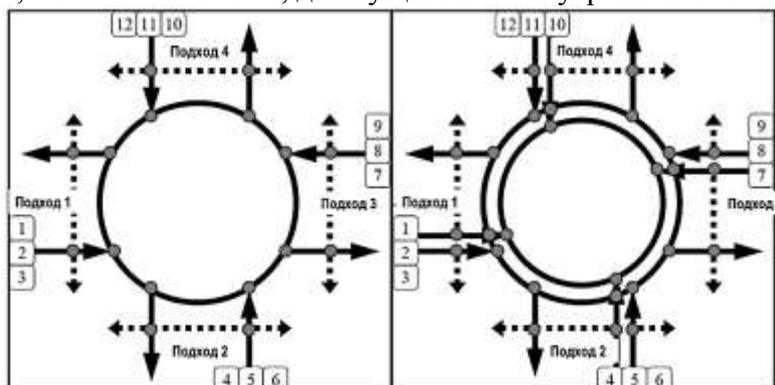


Рисунок 3 – Конфликтные точки транспортных и пешеходных потоков на одно и двухполосном кольцевых пересечениях [8]

В соответствии с матрицей корреспонденций на кольце при рассмотрении входа на кольцо k объем движения (интенсивность) на кольцевой проезжей части q_C , объем движения на входе q_E и объем движения на выходе q_A предложено определять следующим образом [8]:

$$q_{C,k} = q_{k-1,k+1} + q_{k-1,k+2} + q_{k-2,k+1} + q_{k-3,k+1}; \quad (1)$$

$$q_{E,k} = q_{k,k+1} + q_{k,k+2} + q_{k,k+3}; \quad (2)$$

$$q_{A,k} = q_{k+1,k} + q_{k+2,k} + q_{k+3,k}, \quad (3)$$

где k – номер подхода к кольцу;

$q_{k,m}$ – интенсивность движения с подхода на подход m .

Согласно с представленными выше правилами значения главного потока для полос в составе подхода k :

- для правой полосы подхода k к кольцу интенсивность главного потока $q_{R,k} = q_{O,k}$;

- для левой полосы подхода k к кольцу интенсивность главного потока $q_{L,k} = q_{O,k} + q_{I,k}$,

где $q_{O,k}$ – интенсивность по внешней полосе кольцевой проезжей части;

$q_{I,k}$ – интенсивность по внутренней полосе кольцевой проезжей части.

Первоначальным и наиболее важным этапом разработки модели оценки пропускной способности трехполосного кольца является формулирование аналогичных правил определения главных потоков на полосах кольцевой проезжей части [13-15]. Необходимо рассматривать три варианта походов, встречающиеся в российской практике (рис. 3).

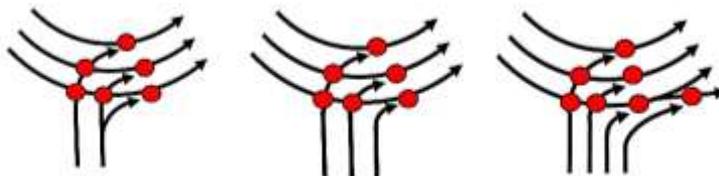


Рисунок 4 - Варианты подходов к трехполосным кольцам и образующиеся конфликтные точки транспортных потоков, движущихся по кольцу и въезжающих на него

Для формулировки правил определения главных потоков для каждой из полос подхода к трехполосному кольцу предстоит прежде всего установить:

- закономерности распределения потоков по полосам кольцевой проезжей части в зависимости от загрузки кольца движением (т.е. в зависимости от матрицы корреспонденций потоков на кольце);

- закономерности распределения движения транспортных средств по направлениям с каждой из полос подхода к кольцевому пересечению.

Необходимость установления закономерностей распределения движения транспортных средств по направлениям с каждой из полос подхода к кольцевому пересечению обусловлена заметным воздействием регулируемых объектов [18]. Уже по имеющимся результатам обработки видео-материалов при близком расположении светофорных объектов (менее 200 м) отмечаются случаи движения в прямом направлении с крайних левых полос.

Следующим этапом является установление параметров взаимодействия главного и второстепенного потока в конфликтных точках. В общем виде пропускная способность второстепенного направления движения в конфликтной точке c (авт./ч)

$$c = \frac{q\varphi e^{-\lambda(t_c - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda t_f}}, \quad (4)$$

где q – интенсивность движения главного потока в конфликтной точке;

φ – свободная доля потока (т.е. доля транспортных средств, интервалы между которыми превышают Δ);

t_c – критический интервал

Δ – минимальный интервал в потоке, $\Delta = 1,8-2,0$ с,

λ – параметр распределения.

Приведенное выше уравнение рассматривает дихотомическое распределение интервалов в потоке (3M Cowan's Distribution) [6], в случае рассмотрения смещенного экспоненци-

ального распределения (2М) принимается $\varphi = 0$, а в случае экспоненциального распределения (2М) принимается $\varphi = 0$ и $\Delta = 0$. Установление диапазонов значений интенсивности движения, для которых применимы распределения М1, М2 и М3 является одной из задач исследования [16, 20].

Все перечисленные параметры, входящие в состав формулы (4), планируется установить в ходе выполняемого исследования. Используется видео-съемка трехполосных кольцевых пересечений, расположенных в разных городах Российской Федерации (Владивосток, Иркутск, Липецк, Нижневартовск, Оренбург, Петрозаводск, Тюмень). Обследованием охвачены осенний, зимний и весенний периоды, что позволит учесть также влияние сезонных факторов.

Результаты и обсуждение

В настоящее время уже получены эмпирические распределения интервалов потоках, при этом в каждом обследований. На основе этих данных устанавливаются закономерности влияния интенсивности движения на долю свободной части потока φ . В частности исследована модель финского автора Luttinen R.T. [4]

$$\varphi = \frac{2}{1+s^2\left(\frac{q}{1-\Delta q}\right)}, \tag{5}$$

где q – интенсивность движения на рассматриваемой полосе кольцевой проезжей части, авт./с;

s^2 – вариация интервалов на рассматриваемой полосе кольцевой проезжей части;

Δ – минимальный интервал в потоке, $\Delta = 1,5-2,0$.

Таблица 1 – Доля свободно двигающихся автомобилей, определяемая на основе модели Luttinen R.T. [4]

Кольцо, дата обследования	Полоса на кольцевой проезжей части					
	Внутренняя		Средняя		Внешняя	
	q , авт./ч	φ	q , авт./ч	φ	q , авт./ч	φ
Иркутск кольцо ГЭС 07.09.2021.	551	0,187	946	0,361	379	0,140
Иркутск кольцо ГЭС 01.11.2021	346	0,236	610	0,185	111	0,029
Иркутск кольцо ГЭС 01.11.2021	422	0,2012	655	0,294	141	0,062
Иркутск кольцо ГЭС 18.02.2022.	657	0,481	1293	0,555	559	0,478
Иркутск кольцо ГЭС 18.02.2022.	943	1,401	804	0,896	593	0,757
Липецк пл. Кольцевая 09.02.2022	122	0,055	278	0,015	0	0
Новокузнецк пр. Строителей 21.03.2022	749	0,216	760	0,487	156	0,15
Новокузнецк пр. Строителей 21.03.2022	771	0,314	725	0,466	278	0,248

Полученные результаты показывают (табл. 1), что рассмотренная модель (5) неприменима для городских условий. С ростом интенсивности движения дисперсия интервалов s^2 стремительно уменьшается, поэтому определяемая с использованием выражения (5) доля свободной части потока растет. Это можно объяснить специфическими характеристиками транспортных потоков на кольцевых пересечениях, расположенных рядом со светофорными

объектами. Сам Luttinen R.T. рекомендовал для получения точной оценки φ использовать непосредственно статистики эмпирических распределений интервалов [17].

Поэтому по мере накопления данных планируется получить регрессионные зависимости влияния интенсивности движения q на φ , для каждой из полос кольцевой проезжей части используя кумулятивные распределения интервалов, полученные по экспериментальным данным [20].

Также получены первые результаты исследований распределения транспортных потоков по полосам кольцевой проезжей части в местах примыкания въездов на кольцо. Для внутренних (левых) полос не отмечается влияние интенсивности движения на кольцо. Доля внутренней полосы колеблется в диапазоне значений 0,28 – 0,50 и составляет в среднем 0,39. Для потока средней полосы отмечается уменьшение его доли с ростом общей интенсивности. На правой полосе наблюдается рост доли ее транспортного потока с ростом суммарной интенсивности на кольце (рис. 5).

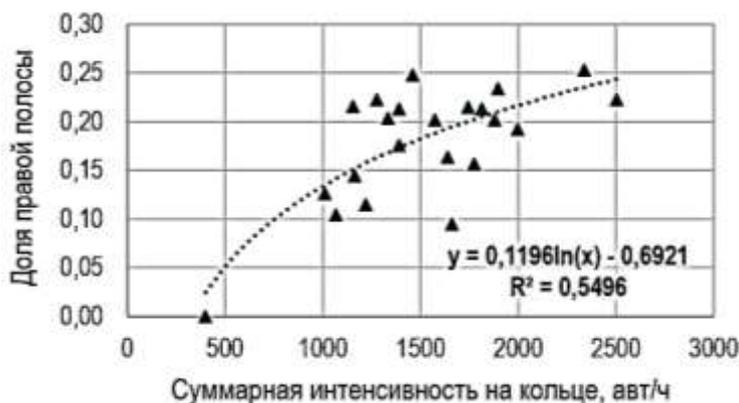


Рисунок 5 – Изменение доли потока правой полосы с ростом интенсивности движения на кольце в зоне примыкания входа на кольцо

Полученные результаты (рис. 5) свидетельствуют о том, что при низких и средних уровнях загрузки трехполосных кольцевых пересечений наименьшие значения интенсивности движения главного потока в конфликтных точках крайней правой полосы кольцевой проезжей части.

Выводы

С учетом уже имеющихся результатов представляется необходимым выполнить сравнение статистической значимости различий значений исследуемых параметров, установленных на кольцевых пересечениях, расположенных в зонах воздействия регулируемых объектов и находящихся вне зон такого влияния.

Выполнение всего планируемого исследования позволит:

- сформировать детальную методику оценки пропускной способности трехполосных кольцевых пересечений, которая также является основой для оценки задержек транспортных средств и их очередей;
- получить регрессионные модели пропускной способности полос движения на подходе, применимые для упрощенной оценки пропускной способности;
- сформировать базы справочных данных для микро моделирования трехполосных кольцевых пересечений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – Москва: РОСАВТОДОР, 2012.
2. ОДМ 218.2.071-2016. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. - Москва: РОСАВТОДОР, 2018.
3. Giuffrè O., Granà A., Marino S. Turbo-roundabouts vs roundabouts performance level // Procedia – social and behavioral sciences. – 2012. – V. 53. – С. 590-600.

4. Luttinen R.T. Properties of cowan's m3 headway distribution // Transportation research record. – 1999. – 1678. – С. 189-196.
5. Mauro R., Branco F. Comparative analysis of compact multilane roundabouts and turbo-roundabouts // Journal of transportation engineering. - 2010. - №136(4). – P. 316-322.
6. Luis Vasconcelos, Ana Bastos Silva, Alvaro Seco, Joao Silva Estimating. The parameters of cowan's m3 headway distribution for roundabout capacity analyses // The Baltic journal of road and bridge engineering. – 2012. - №7(4). – P. 261-268.
7. Shaaban K., Hamad H. Critical gap comparison between one-, two- and three-lane roundabouts in qatar may // Sustainability. - №12(10). - P. 14.
8. Wu N., Brilon W. Roundabout capacity based on conflict technique // Paper presented at the 5th International conference on roundabouts. - Green Bay (WI). – 2017.
9. Вельможин, А.В. Грузовые автомобильные перевозки: учебник – Москва: Горячая линия–Телеком. – 3-е изд., испр., 2016. – 560 с.
10. Фирсова С.Ю., Куликов А.В., Советбеков Б. Роль транспортной логистики в обеспечении экзистенциальной безопасности человека // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (Бишкек). - 2019. - Т. 19. - №8. - С. 97-101.
11. Айтбагина Э.Р., Витвицкий Е.Е. Влияние расстояния на результаты работы группы автомобилей при перевозке грузов грузоотправителем // Вестник СибАДИ. - 2017. - №56(4-5(56-57)). - С. 14-24.
12. Федосеев Е.С., Витвицкий Е.Е. Влияние времени простоя под погрузочно-разгрузочными работами на функционирование совокупности малых ненасыщенных систем перевозок строительных грузов автомобильным транспортом общего пользования // Вестник СибАДИ. - 2017. - №56(4-5(56-57)). - С. 47-61.
13. Белокуров В.П., Белокуров С.В., Скрыль С.В. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. – №2. – 2010. – С. 6-12.
14. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Артемов А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – №3. – С. 25-33.
15. Беляков, В.В. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем - Н. Новгород: ННГТУ, 2001. – 271 с.
16. Величко, С.В. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации: Монография – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад, 2004. - 126 с.
17. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений – М.: Логос, 2000. – 296 с.
18. Шоломов, М.В. Логические методы исследования дискретных моделей выбора - М: Наука. – 1989. – 287 с.
19. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. – Cetaro.: C.I.M.E., 2009. – 150 p.
20. Garrison, W.L. Tomorrow's transportation: changing cities, economies, and lives - Norwood: Artech House, 2000. – 316 p.

Каримов Навруз Мирзорахимович

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
Аспирант
E-mail: newday-87@mail.ru

Михайлов Александр Юрьевич

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
Д.т.н., профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта
E-mail: mikhaylov_ay@mail.ru

N.M. KARIMOV, A.YU. MIKHAYLOV

VALIDATION OF THE CAPACITY ESTIMATION MODEL FOR URBAN THREE-LANE TRAFFIC CIRCLES

Abstract. Currently, three-lane traffic circles are widely used in cities of the Russian Federation. At the same time there are no methods for calculation of the capacity of such traffic circles, taking into account the peculiarities of traffic modes in urban conditions. The paper presents substantiation of development of a model for estimation of capacity of multilane roundabouts based on the conflict points. The development of such a model will allow to carry out a comparative analysis of the efficiency of multilane roundabouts with signalized roundabouts and turbo-roundabouts.

BIBLIOGRAPHY

1. ODM 218.2.020-2012. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobil'nykh dorog. - Moskva: ROSAVTODOR, 2012.
2. ODM 218.2.071-2016. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu kol'tsevykh peresecheniy pri stroitel'stve i rekonstruktsii avtomobil'nykh dorog. - Moskva: ROSAVTODOR, 2018.
3. Giuffr O. Turbo-roundabouts vs Roundabouts Performance Level / O. Giuffr, A. Gran, S. Marino // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. - 2012. - V.53. - S. 590-600
4. Luttinen R.T. Properties of Cowan's M3 Headway Distribution // *Transportation Research Record*. - 1999. - 1678. - S. 189-196.
5. Mauro R., Branco F. Comparative analysis of compact multilane roundabouts and turboroundabouts // *Journal of transportation engineering*. - 2010. - №136(4). - R. 316-322.
6. Luis Vasconcelos, Ana Bastos Silva, Alvaro Seco, Joao Silva Estimating. The parameters of cowan's m3 headway distribution for roundabout capacity analyses // *The Baltic journal of road and bridge engineering*. - 2012. - №7(4). - R. 261-268.
7. Shaaban K., Hamad H. Critical gap comparison between One-, Two-, and Three-Lane Roundabouts in Qatar May // *Sustainability*. - №12(10). - P. 14.
8. Wu N., Brilon W. Roundabout Capacity Based on conflict Technique // Paper presented at the 5th International conference on roundabouts. - Green Bay (WI). - 2017.
9. Vel'mozhin, A.V. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: uchebnyk - Moskva: Goryachaya liniya-Telekom. - 3-e izd., ispr., 2016. - 560 s.
10. Firsova S.YU., Kulikov A.V., Sovetbekov B. Rol' transportnoy logistiki v obespechenii ekzistentsional'noy bezopasnosti cheloveka // *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta (Bishkek)*. - 2019. - T. 19. - №8. - C. 97-101.
11. Aytbagina E.R., Vitvitskiy E.E. Vliyanie rasstoyaniya na rezul'taty raboty gruppy avtomobiley pri perevozke gruzov gruzootpravitelem // *Vestnik SibADI*. - 2017. - №56(4-5(56-57)). - S. 14-24.
12. Fedoseenkova E.S., Vitvitskiy E.E. Vliyanie vremeni prostoya pod pogruchno-razgruchnymi rabotami na funktsionirovanie sovokupnosti malykh nenasyshchennykh sistem perevozk stroitel'nykh gruzov avtomobil'nykh transportom obshchego pol'zovaniya // *Vestnik SibADI*. - 2017. - №56(4-5(56-57)). - S. 47-61.
13. Belokurov V.P., Belokurov S.V., Skryl' S.V. Prinyatie resheniy dlya effektivnogo upravleniya transportnymi sistemami na osnove situatsiy vybora // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik VINITI RAN*. - №2. - 2010. - S. 6-12.
14. Belokurov V.P., Motuzka D.A., Artemov A.Yu. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtotransporta pri osushchestvlenii sezonnykh passazhirskikh perevozk v gorodakh kurortnykh zon // *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*. - 2015. - №3. - S. 25-33.
15. Belyakov, V.V. Mnogokriterial'naya optimizatsiya v zadachakh otsenki podvizhnosti, konkurentosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnykh tekhnicheskikh sistem - N. Novgorod: NNGTU, 2001. - 271 s.
16. Velichko, S.V. Sintez funktsiy vybora na iteratsiyakh poiska v chislennykh modelyakh mnogokriterial'noy optimizatsii: Monografiya - Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad, 2004. - 126 s.
17. Larichev, O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy - M.: Logos, 2000. - 296 s.
18. Sholomov, M.V. Logicheskie metody issledovaniya diskretnykh modeley vybora - M: Nauka. - 1989. - 287 s.
19. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // *Modeling and optimization of flows on networks*. - Cetaro.: S.I.M.E., 2009. - 150 p.
20. Garrison, W.L. Tomorrow's transportation: changing cities, economies, and lives // Norwood: Artech House, 2000. - 316 p.

Karimov Navruz Mirzorakhimovich

Irkutsk National Research Technical University
Adress: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontov str., 83
Postgraduate student
E-mail: newday-87@mail.ru

Mikhaylov Alexander Yuryevich

Irkutsk National Research Technical University
Adress: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontov str., 83
Doctor of technical sciences
E-mail: mikhaylov_ay@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-75-80

А.Г. ЛОКТИОНОВА, А.Г. ШЕВЦОВА

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ

Аннотация. Рассмотрены технические параметры легковых автомобилей и их применение при проектировании и строительстве автомобильных дорог, организации и управлении движением транспортных потоков.

Ключевые слова: транспортный поток, легковой автомобиль, расчетный автомобиль, параметры

Введение

Для формирования информации и оценки состояния дорожного движения необходимы данные, характеризующие транспортный поток. Отечественный и зарубежный опыт позволили определить объективные показатели в транспортных потоках [1]. Методы и аппаратура для исследования транспортных потоков, их показатели, которые применяются в организации дорожного движения продолжает развиваться по сегодняшний день. Транспортный поток представляет собой различные типы отдельно взятых автомобилей, которые имеют отличительные друг от друга технические и геометрические параметры, динамические характеристики. Транспортный поток неоднороден. При условиях управления отдельным автомобилем, водитель ограничен не только Правилами дорожного движения и эксплуатационными показателями дороги, но и техническими характеристиками самого управляемого транспортного средства.

Материал и методы

В рамках исследования рассмотрим влияние технических параметров автомобилей и применение их в расчетах, оказывающих влияние как на строительство автомобильных дорог, так и на организацию, управление и безопасность дорожного движения. Так как они являются основным типом транспортных средств в транспортных потоках на дорогах РФ, о чем подтверждает официальная статистика [2, 3]. Анализ официальной статистики подтверждает разнородность потока и отражает данные по распределению различных типов транспортных средств в транспортном потоке [4]. Легковые транспортные средства составляют более 85 % транспортных средств в потоке от общего числа автомобилей (рис. 1).

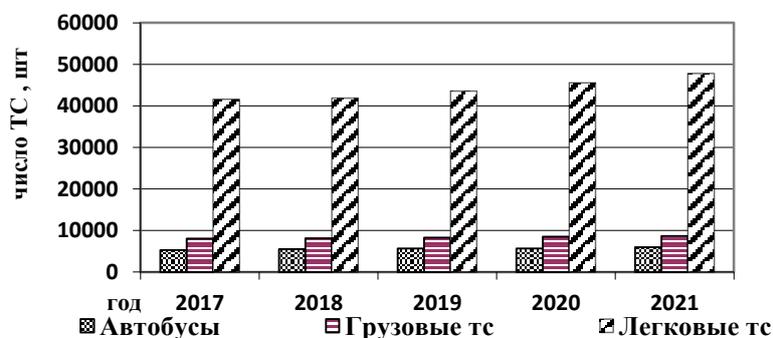


Рисунок 1 - Соотношение основных типов транспортных средств в транспортных потоках РФ

Рассмотрим параметры основного типа транспортных средств в транспортных потоках РФ – легковых автомобилей. К техническим параметрам ТС относят: габаритные размеры, параметры массы, снаряженная масса автомобиля, полезная масса, полная масса, тягово-скоростные свойства, тормозные свойства. Динамические параметры: скорость движения транспортного средства и быстрота его разгона, касательная сила тяги, динамический фактор

[5, 6]. Эти параметры составляют техническую основу транспортных средств и позволяют оценивать не только его конструкцию, но и некоторые особенности движения [7].

Параметры транспортных средств оказывают непосредственное прямое влияние на проектирование и строительство проезжей части, а также организацию дорожного движения. Так, например, при помощи габаритного параметра рассчитываются: ширина полосы для движения, радиусы кривых в плане, продольный уклон, коэффициент сцепления, ширина обочины, ровность дорожного покрытия и расстояние видимости, поток насыщения.

Теория / Расчет

1. Габаритные размеры и масса автомобилей так же учитывается не только для расчета ширины полосы для движения, уклонов дороги, а и для определения показателей потоков насыщения, коэффициентов сопротивления воздуха, инерционных сил, расчетов потока насыщения.

Так, например при расчетах потока насыщения поворотных направлений используется такой параметр автомобилей как габаритная длина расчетного транспортного средства L_a . Данный параметр L_a имеет постоянное значение и определен на основании геометрических характеристик отечественных автомобилей: Москвич 407, Микролитражный М-21 «Волга», М-20» Победа», ЗИЛ-11 [8]. Проанализировав все факторы и существующие методики расчета потока насыщения для поворотных направлений, поток насыщения при поворотном маневре имеет следующий вид [9]:

$$M_{\text{н пов}} = \frac{3600 \cdot (3,6 \sqrt{Rg\varphi_c})}{L_a + T \cdot v + \left(\frac{v^2}{2j_3}\right)}, \quad (1)$$

где Rg - радиус поворота;

φ_c - коэффициент сцепления;

L_a - габаритная длина образцового легкового автомобиля;

T - время торможения;

v - критическая скорость движения автомобиля при заносе;

j_3 - величина установившегося замедления.

Конфигурация кузова автомобилей влияет на сопротивление воздуха. При увеличении скорости движения легкового транспортного средства резко возрастает сопротивление воздуха. В следствии этого снижение воздушного сопротивления достигается путем обтекаемости автомобиля. Исследования проводились на отечественных автомобилях марки ГАЗ. Коэффициент сопротивления воздуха за время исследования снизился в 2 раза с 0,46 для ГАЗ-А до 0,023 - ГАЗ-12 [10].

Сопротивление инерционных сил автомобиля состоит из инерции поступательного движения и инерции вращающихся частей автомобиля (колес, маховика, механизмы трансмиссии), которые действуют при ускорении или замедлении движения автотранспортного средства. Расчет величины инерционной силы поступательного движения возможен благодаря учету такого параметра как масса автомобиля (m) по формуле [11, 12]:

$$P'_j = m \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = Gj, \quad (2)$$

где m - масса автомобиля;

$\frac{dv}{dt}$ - ускорение автомобиля;

j - относительное ускорение;

G - вес автомобиля.

2. Что касается тяговых свойств автомобиля, отечественный ученый Е.А. Чудаков в своих исследованиях предлагает определять тяговые свойства транспортного средства динамическим фактором – т.е. разницей между полной силой тяги на ведущих колесах и сопротивлением воздушной среды, отнесенной к единице веса транспортного средства [13]:

$$D = \frac{P_p - K_{\omega v^2}}{G} = f \pm i \pm j, \quad (3)$$

где P_p – сила тяги автомобиля;

$K_{\omega v^2}$ – сопротивление воздушной среды;

G – вес автомобиля;
 $f \pm i$ – дорожное сопротивление;
 j – ускорение автомобиля.

При движении автомобиля в городских условиях, где скорость транспортного средства постоянно меняется возникает тепловая инерция двигателя. Что впоследствии приводит к снижению силы тяги автомобиля. Отечественный ученый Б.С. Фалькевич определил, что влияние неустановившегося режима двигателя на динамику автомобиля может оцениваться по аналогии с влиянием вращающихся частей двигателя введением поправочного коэффициента δ к инерции поступательно двигающихся масс, для легковых автомобилей δ составляет 0,075-0,085. Сопротивление инерционных сил по Б.С. Фалькевичу определяется по формуле [14]:

$$P_j = G_j [1.04 + (n + \delta) i_k^2], \quad (4)$$

где G_j - инерционная сила поступательного движения;
 n – коэффициент легковых транспортных средств 0,03-0,05;
 δ - поправочный коэффициент;
 i_k - передаточное значение коробки передач.

Динамический фактор определяет резерв тягового усилия на единицу веса двигающегося транспортного средства с определенной скоростью. От скорости движения зависят сила тяги и сопротивление воздуха. При изменении скорости транспортного средства показатели динамического фактора постоянно меняются. Е.А. Чудаков определил график зависимости величины динамического фактора от скорости движения, получивший название динамическая характеристика (рис. 2). Данный график используется и в настоящее время как основной показатель тяговых качеств автомобилей и является основой тяговых расчетов на автомобильных дорогах [15]. Данная динамическая характеристика определена на основании технических параметров отечественных автомобилей: ВАЗ 2103 «Жигули», ЗАЗ-968 «Запорожец», ГАЗ 24 «Волга», ГАЗ 13 «Чайка», ЗИЛ 111, «Москвич 412» [16].

3. Скоростные и тормозные свойства автомобилей определяют особенности движения транспортных средств по криволинейному продольному профилю. На автомобильных дорогах присутствуют участки с разными продольными уклонами, соединяющихся между собой вертикальными кривыми больших радиусов. Двигаясь по такому участку, продольный уклон непрерывно изменяется и скорость автомобиля уменьшается либо увеличивается. Данное направление изучали такие отечественные ученые как К.А. Хавкин и А.Е. Бельский [17,18]. В результате их работы были составлены данные расчетов скорости движения на подъемах с постоянными уклонами и на вертикальной кривой радиусом 10 тыс.м при $v_n = 70$ км/ч, за основу исследований взят автомобиль ГАЗ-51.

Путь, на протяжении которого водитель может остановить транспортное средство, которое движется с той или иной скоростью v – важная характеристика безопасности движения. Вес автомобиля влияет на его тормозной путь. Профессор П.В. Великанов предлагает для расчета величины тормозного пути использовать формулу, которая не учитывает постоянный коэффициент $\lambda=0$, а основывается на полной величине коэффициента сцепления – «коэффициента эксплуатационных условий торможения» - K_0 [19]:

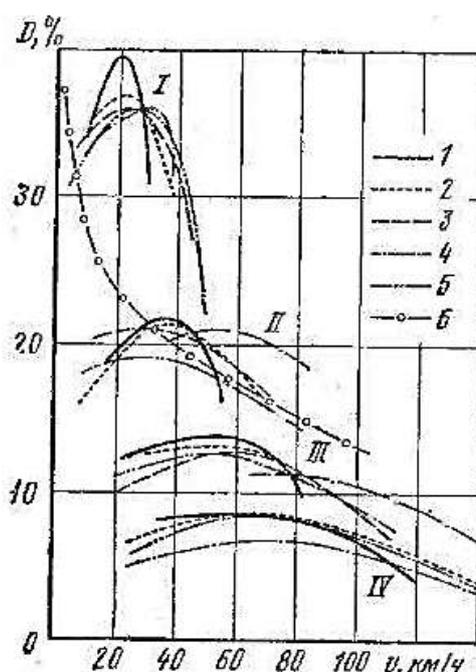


Рисунок 2 – Динамические характеристики легковых транспортных средств: 1-ЗАЗ-968 «Запорожец», 2- ВАЗ 2103 «Жигули», 3- ГАЗ 24 «Волга», 4 – ГАЗ 13 «Чайка», 5 – «Москвич 412», 6 – ЗИЛ 111

$$S = \frac{v^2 K_3}{2g(\varphi \pm i + f)} + vt' , \quad (5)$$

где v – скорость автомобиля, м/сек;

K_3 – коэффициент условий торможения;

φ – коэффициент сцепления шин с покрытием при полной блокировке колес.

Так же от скорости движения автомобиля зависит пропускная способность полосы. А в ширину полосы входят габариты автомобиля. Для расчета пропускной способности полосы движения были проведены различные методы теоретических расчетов, основанных на рассмотрении транспортного потока, а именно на рассмотрении транспортных средств, идущих друг за другом без возможности совершения маневра – обгона. Расстояние в транспортном потоке между транспортными средствами зависит от скорости автомобиля и должно быть достаточным для торможения и остановки. Тормозные качества автомобилей отличаются друг от друга, в результате такого различия тормозной путь первого автомобиля может оказаться меньше тормозного пути заднего автомобиля в потоке и приблизится к нему на расстояние:

$$l_2 = L_3 - L_T = \frac{v^2(K_3 - K_n)}{2g(\varphi \pm i + f)} , \quad (6)$$

где L_3 и L_T – тормозной путь заднего и переднего транспортного средства;

K_3 и K_n – коэффициенты эксплуатационного состояния тормозов обеих автомобилей;

v – скорость транспортного средства в потоке;

φ – коэффициент сцепления шин с покрытием при полной блокировке колес;

$f \pm i$ – дорожное сопротивление.

Что касается ширины полосы движения: чем больше скорость движения транспортного средства, тем больше ширина. Определение ширины проезжей части основывается не только на скорости автомобиля, но и в первую очередь от габаритных размеров автомобилей. Ширина полосы движения определяется по формуле:

$$B = \frac{b+c}{2} + x + y, \quad (7)$$

где b – ширина кузова транспортного средства;

c – колея транспортного средства;

x – расстояние от кузова до полосы, по которой проходит движение;

y – расстояние от середины следа колеса до края проезжей части.

Результаты и обсуждение

На рисунке 3 представлена схема определения ширины полосы для движения граничащей с краем проезжей части. От скорости транспортного средства зависят расстояние от кузова до полосы, по которой проходит движение и расстояние от середины следа колеса до края проезжей части. Они нормируются по результатам наблюдений за транспортным движением и условиями безопасности движения.

Выводы

Как мы видим технические параметры транспортных средств несут неотъемлемую часть при расчетах начиная от проектирования и строительства автомобильных дорог и до организации и управления движением на них. Однако, несмотря на колоссальные исследования в данной области, все вышеупомянутые исследования проводились на отечественных автомобилях 50-70х гг., которые в настоящее время на дорогах не используются. Транспортные потоки РФ состоят из модернизированных и усовершенствованных российских и зарубежных автомобилей имеющих значительно отличительные параметры от расчетных ав-

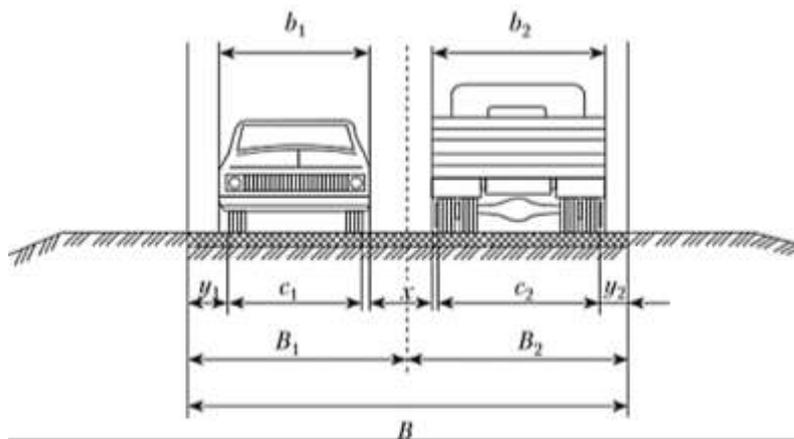


Рисунок 3 – Схема определения ширины полосы движения

томобилей, которые применяются для расчетов на основании нормативных документов [20]. Поэтому необходимо проводить дополнительные исследования с учетом технических параметров автомобилей «нового века», и постоянно актуализировать параметры расчетного «калиброванного» автомобиля для получения более точных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, М.Б. Условия введения различных режимов регулирования дорожного движения: пособие / Под общ. ред. М. Б. Афанасьева. – М.: ВНИИ БДД МВД СССР, 1976. – 319 с.
2. Бабков В.Ф., Замахаев М.С. Автомобильные дороги // Проектирование дорог. – 1959. – Москва. - С. 60.
3. Бельский А.Е. Уравнение движения автомобиля на вертикальных кривых // Труды ХАДИ. - Вып. 18. – 1956.
4. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Юнг А.А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №1. – С. 126-134.
5. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г., Новописный Е.А. Оценка изменений технических параметров современных транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – №3(92). – С. 146-153.
6. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г. Разработка подхода к определению параметров калиброванного автомобиля // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет. - 2021. – С. 210-214.
7. Манина Е.Д., Локтионова А.Г. Учет технических характеристик автомобилей при производстве изыскательских работ // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - 2022. – С. 207-211.
8. Новиков, А.Н. Нормативные требования к конструкции и безопасности колесных транспортных средств, осуществляющих деятельность в транспортно - логистическом комплексе страны: Учебное пособие, 2021. – 145 с.
9. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах: Отраслевой дорожный методический документ 218.6.003.2011. – Москва, 2013. - 69 с.
10. СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги: Свод правил от 09.02.2021; утв. и введ. в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 09.02.2021г. №5/пр и введ. в действие с 10.08.2021г.
11. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения - М.: Транспорт, 1977. –303 с.
12. Технические характеристики автомобилей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.autowe.ru/>
13. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>
14. Хавкин К.А. Улучшить проектирование продольного профиля автомобильных дорог // Автомобильные дороги. - №1. - 1957.
15. Цариков А.А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети города: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Цариков Алексей Алексеевич. - Екатеринбург, 2010 – 39 с.
16. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasilieva V.V., Levshina K.V., Minaeva E.M. Improving the efficiency of the road junction at the city entrance [Электронный ресурс] / MATEC Web Conf.: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science - Volume 329. – 2020. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032901020>
17. Evtuykov, S.A. Effectiveness of the human factor assessment in the investigation of road accidents // Organization and safety of road traffic in large cities: 8th International Conference. – Spb.: SPSUACE. – 2008. - P. 387-389.
18. Lieberman, E.B. Determining the lateral deployment of traffic on an approach to an intersection. in transportation research record 772 // Transportation Research Board, National Research Council, Washington. -1980. - P. 1-5.
19. Novikov A., Shevtsova A. Method of calculations under traffic lights coordination plan using parameters of passenger cars [Электронный ресурс] / Transportation Research Procedia 50. – 2020. – P. 499-506. – Режим доступа: doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.059
20. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of influence of dynamic characteristics for options controlled intersection // Procedia Engineering (см. в книгах). - 2017. - Т. 187. – С. 664-671.

Локтионова Алина Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Аспирант

E-mail: alinbur1995@mail.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

К.т.н.

E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

A.G. LOKTIONOVA, A.G. SHEVTSOVA

ESTIMATION OF TECHNICAL PARAMETERS OF CARS IN THE TRAFFIC FLOW

Abstract. *In this article the technical parameters of passenger cars and their application in the design and construction of highways, the organization and management of traffic flow are considered.*

Keywords: *traffic flow, passenger car, estimated car, parameters*

BIBLIOGRAPHY

1. Afanas`ev, M.B. Usloviya vvedeniya razlichnykh rezhimov regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya: posobie / Pod obshch. red. M. B. Afanas`eva. - M.: VNII BDD MVD SSSR, 1976. - 319 s.
2. Babkov V.F., Zamakhaev M.S. Avtomobil`nye dorogi // Proektirovanie dorog. - 1959. - Moskva. - S. 60.
3. Bel`skiy A.E. Uravnenie dvizheniya avtomobilya na vertikal`nykh krivykh // Trudy HADI. - Vyp. 18. - 1956.
4. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Yung A.A. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie po-toka nasyshcheniya // Intellect. Innovatsii. Investitsii. - 2022. - №1. - S. 126-134.
5. Loktionova A.G., Shevtsova A.G., Novopisnyy E.A. Otsenka izmeneniy tekhnicheskikh parametrov so-vremennykh transportnykh sredstv // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №3(92). - S. 146-153.
6. Loktionova A.G., Shevtsova A.G. Razrabotka podkhoda k opredeleniyu parametrov kalibrovannogo avto-mobilya // Arkhitekturno-stroitel`nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil`no-dorozhnyy universitet. - 2021. - S. 210-214.
7. Manina E.D., Loktionova A.G. Uchet tekhnicheskikh kharakteristik avtomobiley pri proizvodstve izyskatel`skikh rabot // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova, posvyashchennaya 300-letiyu Rossiyskoy akademii nauk: Sbornik dokladov Natsional`noy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova. - 2022. - S. 207-211.
8. Novikov, A.N. Normativnye trebovaniya k konstruksii i bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv, osushchestvlyayushchikh deyatel`nost` v transportno - logisticheskoy komplekse strany: Uchebnoe posobie, 2021. - 145 s.
9. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob"ektov na avtomobil`nykh dorogakh: Ot-raslevoy dorozhnyy metodicheskyy dokument 218.6.003.2011. - Moskva, 2013. - 69 s.
10. SNiP 2.05.02-85 Avtomobil`nye dorogi: Svod pravil ot 09.02.2021; utv. i vved. v deystvie prikazom Min-isterstva stroitel`stva i zhilishchno-kommunal`nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 09.02.2021g. №5/pr i vveden v deystvie s 10.08.2021g.
11. Sil`yanov, V.V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya - M.: Transport, 1977. - 303 s.
12. Tekhnicheskie kharakteristiki avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.autowe.ru/>
13. Federal`naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/>
14. Havkin K.A. Uluchshit` proektirovanie prodol`nogo profilya avtomobil`nykh dorog // Avtomobil`nye dorogi. - №1. - 1957.
15. Tsarikov A.A. Razvitie metodov rascheta reguliruemyykh uzlov na ulichnodorozhnoy seti goroda: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Tsarikov Aleksey Alekseevich. - Ekaterinburg, 2010 - 39 s.
16. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasilieva V.V., Levshina K.V., Minaeva E.M. Improving the efficiency of the road junction at the city entrance [Elektronnyy resurs] / MATEC Web Conf.: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science - Volume 329. - 2020. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032901020>
17. Evtukov, S.A. Effectiveness of the human factor assessment in the investigation of road accidents // Or-ganization and safety of road traffic in large cities: 8th International Conference. - SPb.: SPSUACE. - 2008. - R. 387-389.
18. Lieberman, E.B. Determining the lateral deployment of traffic on an approach to an intersection. in trans- portation research record 772 // Transportation Research Board, National Research Council, Washington. - 1980. - P. 1-5.
19. Novikov A., Shevtsova A. Method of calculations under traffic lights coordination plan using parameters of passenger cars [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Procedia 50. - 2020. - R. 499-506. - Rezhim dostupa: doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.059
20. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of influence of dynamic characteristics for op-tions controlled intersection // Procedia Engineering (sm. v knigakh). - 2017. - T. 187. - S. 664-671.

Loktionova Alina Gennadievna
Belgorod State Technological University
Adress: Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Postgraduate student
E-mail: alinbur1995@mail.ru

Shevtsova Anastasia Gennadievna
Belgorod State Technological University
Adress: Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of technical sciences
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-81-87

Д.В. КАПСКИЙ, С.В. СКИРКОВСКИЙ, Л.А. ЛОСИН

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены основные подходы к математическому моделированию и применению математических методов для решения задач транспортного планирования различных городов с учетом развития городского пассажирского транспорта, проникновения средств индивидуальной мобильности, особенностей организации дорожного движения и перспектив развития транспортной сети.

Ключевые слова. Математическое моделирование, транспортное планирование, оптимизация дорожного движения, прикладная программа, управление транспортными потоками

Введение

Рост автомобильного парка страны, неудовлетворительное состояние дорожно-транспортной сети, а также существенные недостатки в организации движения и обеспечении профессионального уровня и дисциплины водителей и пешеходов служат основными причинами дорожно-транспортных происшествий и иных издержек (экологических, экономических, социальных) в дорожном движении [1-4]. Качество планировочных решений, реализованных в населенных пунктах, в большой степени определяет безопасность дорожного движения в целом.

Интерес к использованию математического моделирования в сфере градостроительства и транспортного планирования связан в значительной степени с тем, что крупные мероприятия по развитию городской инфраструктуры, как правило, ориентированы на долгосрочную перспективу и имеют практически необратимые последствия. Невозможность проведения предварительных натурных экспериментов требует осуществления на подготовительных этапах планирования таких мероприятий максимально глубокой и всеобъемлющей проработки, затрагивающей не только технические, но также экономические, социальные и прочие аспекты.

Возможности транспортной системы являются наиболее важными и ценными характеристиками городской среды. Транспорт связывает объекты функциональных систем города и тем самым обеспечивает населению доступ к местам приложения труда, объектам культурно-бытового обслуживания и возможность выбора наиболее удобных из них, т.е. организует взаимодействие этих систем. Такие факторы как доступность центра города, доступность мест приложения труда и объектов культурно-бытового обслуживания, объем пассажирооборота, с которыми связана значительная часть дохода предпринимателей, определяются возможностями транспортной системы. Поэтому рассматриваемые нами транспортно-градостроительные модели являются не только инструментом совершенствования транспортной системы, но и одним из основных звеньев в решении еще более крупных проблем, лежащих в сфере экономики недвижимости и связанных с эффективным развитием городских территорий. Так, например, методы моделирования находят свое применение при проведении массовой оценки городской территории и объектов недвижимости, а также при разработке генеральных и комплексных схем размещения объектов различных городских систем [5-7].

Материал и методы

Интенсивный рост уровня автомобилизации населения, увеличение количества деловых поездок, использование легкового транспорта при небольших объемах грузоперевозок, появление «коммерческих» маршрутов привели в последние годы к резкому увеличению автомобильных потоков в городских транспортных системах, что вызвало существенные перегрузки транспортных сетей, особенно в центральных частях городов. В связи с этим возникает целый спектр задач, связанных с распределением нагрузки между видами транспорта, выбором маршрутов, взаимодействием различных видов транспорта, влиянием стоимости проезда на объемы перевозок. Эффективное решение этих задач напрямую связано с использованием математических методов в транспортно-градостроительном проектировании.

Нужно отметить, что практически все используемые в проектной практике модели предназначены для анализа вариантов территориального развития и размещения объектов транспортной системы и очень редко в них затрагивается проблема синтеза. Это связано с тем, что городская транспортная система при всей ее относительной автономности является очень сложным объектом, развитие которого определяется множеством критериев и ограничений самого разнообразного и зачастую плохо формализуемого характера. Поэтому одним из реальных путей решения проблемы синтеза является организация процесса целенаправленного выбора рационального варианта транспортной системы с использованием опыта эксперта-градостроителя, формирующего эти варианты для отбора.

Моделирование транспортных потоков проводится на различных уровнях рассмотрения. Как правило, выделяется три уровня: макро-, мезо- и микроуровень (табл. 1) [2, 3].

Таблица 1 – Уровни математического моделирования

Уровень моделирования	Сфера применения
Макроуровень	схемы территориального планирования государств и регионов проекты развития дорожной сети стратегии грузо- и пассажироперевозок
Мезоуровень	генеральные планы городов комплексные транспортные схемы программы развития транспортной инфраструктуры комплексные схемы организации движения отраслевые и генеральные схемы проекты планировки территории (уровень крупных планировочных образований) проекты комплексной оценки территории
Микроуровень	архитектурно-строительное проектирование проекты планировки территории (уровень квартала) схемы организации движения на перекрестках оперативное управление локальными транспортными системами генеральные планы городов и комплексные транспортные схемы (как вспомогательный инструмент)

Макроуровень предполагает изучение транспортных потоков в масштабе крупных территориальных единиц: макрорегионов и государств. На мезоуровне (градостроительном уровне) осуществляется моделирование замкнутой системы передвижений в масштабе города (городской агломерации). Такой подход обеспечивает принятие градостроительных и транспортных решений на уровне формирования общего каркаса транспортной сети. Результаты моделирования используются также для получения необходимого набора характеристик территории, например, показателей транспортной доступности.

Микроуровень предполагает моделирование «поведения» отдельных участников движения – пешеходов или транспортных средств – и используется для изучения передвижений на локальных территориях, таких как перекрестки или зоны обслуживания объектов. Сложность в использовании моделирования на микроуровне заключается в необходимости задания во входном потоке матрицы корреспонденций участников движения, расчет которого может оказаться достаточно трудоемкой задачей. Для создания моделей передвижения на микроуровне используются, как правило, инструментарий имитационного моделирования. Как и любое компьютерное моделирование, оно дает возможность проводить вычислительные эксперименты с еще только проектируемыми системами и изучать системы, натурные эксперименты с которыми из-за соображений безопасности или дороговизны нецелесообразны.

В то же время благодаря своей близости по форме к физическому моделированию этот метод исследования доступен более широкому кругу специалистов. В этих моделях: декомпозиция системы на компоненты производится с учетом структуры проектируемого или изучаемого объекта; в качестве законов поведения могут использоваться экспериментальные данные, полученные в результате натурных экспериментов; поведение системы во времени иллюстрируется заданными динамическими образами [4].

Теория / Расчет

Наиболее эффективно моделирование может использоваться при разработке генеральных планов, комплексных транспортных схем (КТС), программ комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ) крупных и крупнейших городов, особенно имею-

щих сложную планировочную структуру. Для больших, средних и малых городов необходимость в использовании численных методов должна определяться в каждом конкретном случае исходя из особенностей планировочной структуры, положения города в системе расселения и системе транспортных связей. Методики транспортных расчетов, выполняемых для генеральных планов и документов транспортного планирования, таких как КТС и ПКРТИ, как правило, отличаются по своей детализации, несмотря на распространенную практику однотипного подхода к моделированию в рамках этих двух видов документации [5, 8]. На уровне генерального плана зачастую достаточно ограничиться анализом укрупненной матрицы межрайонных корреспонденций. Как пишут известные специалисты в области урбанистики А.Э. Гутнов [18] и В.Л. Глазычев, «использование очень сложных математических моделей неэффективно – слишком велики при этом затраты времени и средств на подготовительные работы, так что традиционное проектирование при всех своих слабостях оказывалось в выигрышном положении. Напротив, относительно простые имитационные или оценочные модели, и, прежде всего транспортной доступности территорий, интенсивности их использования в жизни города, стали реальным и весьма эффективным, но вспомогательным средством при сопоставлении вариантов, формируемых более или менее традиционно» [6-9].

Особо важным при выборе модели является вопрос точности математического моделирования. Как следует из приведенной выше цитаты, достижение высокого уровня точности в сравнении с натурными значениями не всегда соответствует задачам конкретного проекта. Это связано, в первую очередь, с тем, что сами значения транспортных и пассажирских потоков в городах подвержены флуктуациям в достаточно широких пределах. Разброс значений потоков, измеренных в одни и те же часы, помимо достаточно изученных циклических изменений по месяцам года и дням недели, может быть обусловлен ситуацией на локальных участках сети (аварии и т.д.), погодными условиями, сбоями в графике работы общественного пассажирского транспорта и другими причинами. Поэтому результаты обследования помимо погрешности собственно процедуры натурального обследования изначально несут в себе информацию, достоверность которой условна. Кроме того, по некоторым оценкам [7], теоретическая точность прогноза «равновесных» моделей по отдельным дугам составляет около 20% [10-12].

Основы математического моделирования закономерностей дорожного движения были заложены еще в 1912 году русским ученым, профессором Г.Д. Дубелиром. Первые разработки, связанные с проблемами функционально-пространственного развития городов, были выполнены в 1960-х годах и посвящены применению математических методов для моделирования процессов транспортно-градостроительного развития.

В 1960-70-е годы достижения в области математического программирования в сочетании с ростом возможностей вычислительной техники создали благоприятные условия для широкого использования математических методов в различных областях социально-экономических исследований. Одним из первых шагов в сфере градостроительного проектирования явилось создание модели транспортной системы. В тот период впервые в ленинградской градостроительной практике при разработке Генерального плана был проведен расчет матрицы межрайонных корреспонденций. Результаты моделирования

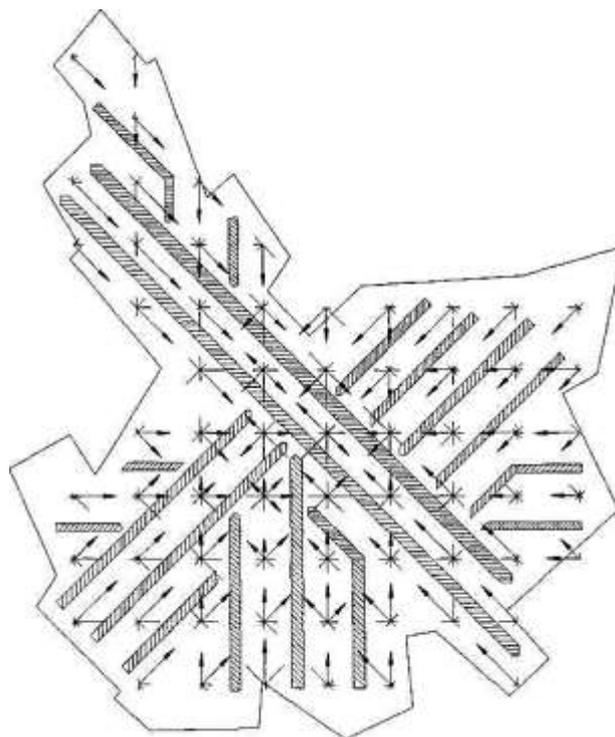


Рисунок 1 – Модель оптимизации транспортных коммуникаций города (по [8])

были использованы для схем организации движения и развития городского пассажирского транспорта. Расчет матрицы на перспективу позволил спрогнозировать распределение потоков при различных вариантах развития города [5, 8, 19, 23].

Многие постановки задач, впоследствии ставшие основой компьютерных моделей, появились еще в «докомпьютерную» эпоху и применялись для решения планировочных и транспортных задач. В качестве примера модели, разработанной еще до активного внедрения в практику персональных компьютеров, приведем модель оптимизации транспортных коммуникаций, которая применялась при разработке транспортных разделов генеральных планов городов в прошлом веке (рис. 1).

Суть метода автор формулирует так: «Считая, что каждая элементарная корреспонденция с наибольшим эффектом в смысле непрямолинейности стремится прийти по кратчайшему направлению по воздушной прямой между объектами отправления и прибытия, можно попытаться отыскать транспортную сеть такой ориентации и плотности, которая обеспечила бы прямолинейное движение для основной массы корреспондирующих. Для этого в каждой ячейке регулярной сетки в плане города определяется неискаженный спектр корреспонденции по восьми направлениям. Скалярная величина транспортной работы в узлах этой сетки служит основанием для назначения плотности сети, а векторное разложение работы определяет рекомендуемую ориентацию магистралей».

Результаты

Задача решается в следующей последовательности. На точечную планограмму распределения населения города накладывается регулярная сетка, в узлах которой строятся координатные оси по восьми направлениям. В пределах каждого из восьми образовавшихся секторов подсчитывается количество населения и полученный результат в принятом масштабе откладывается по оси соответствующего сектора. В результате получается векторная диаграмма тяготения, на которой скалярная величина (длина вектора) определяет интенсивность тяготения в исследуемом узле, а направление вектора – ориентацию этого тяготения. Полученные в результате построения векторные диаграммы для всех узлов сетки в комплексе показывают основные направления трассировки магистралей и интенсивность потока в каждом узле. Кроме распределения населения в каждом узле могут приниматься в качестве исходных данных основные фокусы транспортного тяготения города – места приложения труда, центры культурно-бытового обслуживания и др. Для решения необходимо знать интенсивность притягиваемых ими потоков, которые фиксируются на плане в виде точечной планограммы.

В зарубежной практике прослеживаются те же этапы развития методов транспортно-градостроительного моделирования. Основой большинства современных моделей признается так называемая четырехэтапная схема моделирования (Four-Step-Model, FSM), которая как подход первоначально появилась в 1950-х годах в рамках исследования транспортной системы Детройта (1953) и транспортной системы региона Чикаго (1955).

В настоящее время в практике транспортно-градостроительного проектирования используется значительное количество программных продуктов, ориентированных на расчет матрицы межрайонных корреспонденций и потоков в сети автомобильного и городского общественного транспорта. В соответствии со спецификой решаемых задач программные средства могут отличаться подходами к построению алгоритмов расчета. Организация пользовательского интерфейса таких программ, как правило, связана с возможностями геоинформационных систем (ГИС), на базе которых производится ввод, обработка и отображение графической информации. В СНГ такие программы, в основном, разрабатываются в рамках научных исследований или по заказу проектных организаций, поэтому круг пользователей каждого программного продукта ограничен. В то же время, в последние годы на рынке стали появляться программные пакеты зарубежных производителей, реализующие задачи транспортного моделирования и ориентированные на широкий круг пользователей – проектировщиков-градостроителей, сотрудников эксплуатационных организаций и строительных компаний. Следует отметить такие программные комплексы как Aimsun, Emme [12-14, 16, 17]. Но наибольшую известность в России приобрел программный комплекс PTV Vision® (Германия), который объединяет в себе полный пакет программного обеспечения для планирования, анализа и организации транспортного движения. Для расчета матрицы межрайонных корреспонденций и моделирования потоков на градостроительном уровне (мезоуровне)

предназначен программный модуль PTV Vision® VISUM, являющийся составной частью программного комплекса PTV Vision [21-24].

Специалистами российских проектных организаций используются различные программные средства транспортного моделирования. Одним из наиболее известных программных комплексов является информационно-программный комплекс Citraf, разработанный коллективом ленинградских-петербургских разработчиков (руководитель группы разработчиков – кандидат физико-математических наук Владимир Павлович Федоров). Этот комплекс применяется при решении научно-исследовательских и проектных задач, в число которых входят задачи диагностики и прогнозирования спроса на передвижения в городах и интенсивности потокораспределения по транспортной сети. На базе этого комплекса реализовано большое количество разработок в сфере градостроительства, транспортного планирования и территориального анализа. В частности, следует отметить действующий Генеральный план Санкт-Петербурга, в рамках разработки которого обоснование решений в сфере развития транспортной инфраструктуры и функционального зонирования территории производилось с помощью этого информационно-программного комплекса. Комплекс состоит из следующих модулей [9] (рис. 2): реализующий сетевой расчет матрицы межрайонных корреспонденций и потокораспределения на УДС и на сети городского общественного транспорта (ГОТ) [3, 6, 11]; реализующий досетевой расчет матрицы межрайонных корреспонденций; и модуль реализующий решение задачи синтеза сети.

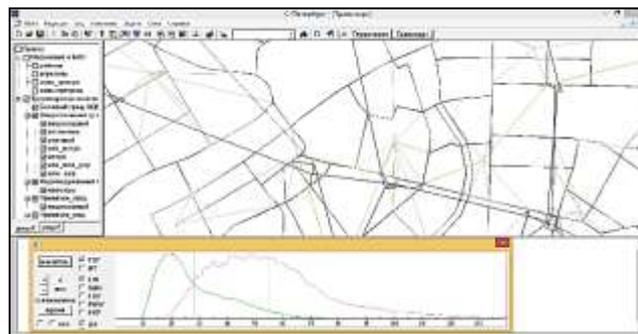


Рисунок 2 – Интерфейс программного комплекса Citraf

Обсуждение

Решение задачи синтеза сети на базе данного комплекса является во многом уникальным: под синтезом сети здесь понимается построение обобщенной картограммы потоков, которая может служить основой для последующего проектирования сетевых решений.

Инструменты транспортного моделирования, постоянно совершенствуясь, стали традиционным средством анализа вариантов проектов в сфере градостроительства и транспортного планирования [25]. Практика многолетнего использования моделей, развитие информационного и алгоритмического обеспечения дали толчок к разработке целого ряда новых содержательных постановок задач, уточнению и совершенствованию разработанных ранее [10-17].

Направления совершенствования моделей в последние годы связаны с изменениями в функционировании городских транспортных систем, которые, во многом, касаются изменений в структуре передвижений в течение дня. На фоне продолжающегося бурного роста уровня автомобилизации населения наблюдается тенденция к существенной дифференциации корреспонденций не только по целям передвижений, но и по скорости передвижения, стоимости проезда, комфортности и т. д. Например, если раньше средние затраты времени на передвижения на общественном пассажирском транспорте в утренний час пик были достаточно стабильной величиной, а стоимость проезда практически не оказывала влияния на выбор пути следования, то сейчас эти параметры естественно не только учитывать, но рассматривать их зависимость от социально-экономического положения пассажира, уровня его доходов.

Выводы

Таким образом, становится очевидным, что необходимо использовать в практике транспортно-градостроительного планирования модели, в которых предусматривается возможность широкой дифференциации как участников движения, так и транспортных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Врубель, Ю.А. Определение потерь в дорожном движении: монография – Минск: БНТУ, 2006. - 240 с.
2. Капский, Д.В. Методология повышения качества дорожного движения: Монография. – Мн.: БНТУ, 2018. – 372 с.
3. Скиркоцкий, С.В. Теоретические и практические подходы к созданию и развитию интеллектуальной транспортной системы города: монография – Гомель: БелГУТ, 2022. – 171 с.

4. Капский, Д.В. Транспорт в планировке городов: пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» – Минск: БНТУ, 2019. – В 10 ч. - Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.
5. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с.
6. Питтель Б.Г. Случайное размещение с ограничениями и принцип максимума взвешенной энтропии // Доклады Академии наук СССР. – 1972. – Т. 207. - №6. – С. 1281-1283.
7. Свердлин Л.И. Транспортные обоснования композиции генерального плана города // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XI международной научно-практ. конф. – Екатеринбург: АМБ. - 2005. – С. 40-43.
8. Швецов, В.И. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей - М.: URSS, 2003. - 64 с.
9. Капский Д.В., Скиркоцкий С.В. Обобщенные подходы к решению задач формирования сети городского пассажирского транспорта // Наука и транспорт. - Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. - 2021. – №2(43). – С. 16-20.
10. Лисененков А.И., Лосин Л.А. Формирование расчетного графа на основе анализа транспортной системы городской агломерации / под научной редакцией д.э.н. С.В.Кузнецова // Проблемы преобразования и регулирования региональных социально-экономических систем: Сборник научных трудов. – Вып. 45. - СПб: ГУАП. - 2019. - С. 49-53.
11. Капский, Д.В. Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации: Монография – Минск: Капитал Принт, 2018. – 144 с.
12. PIARC: The urban road network design // Reference: 10.04.B, Routes. - 1991. – P. 45-84.
13. PIARC: Urban road design and architecture // Reference: 10.08.B, Routes. -1995. – P. 51-126.
14. Liveable neighbourhoods. street layout, design and traffic management guidelines. Western australian planning commission. – 2000. – 59 p.
15. Nicolae Duduta, Carsten Wass, Dario Hidalgo, Luis Antonio Lindau, Vineet Sam John. Traffic safety on bus priority systems // Recommendations for integrating safety into the planning, design, and operation of major bus routes. - EMBARQ, World Resources Institute. - 2014. - 114 p.
16. Adamski, A., Probabilistic model of passenger service processes at bus stops // Transportation Research. - Vol. 26B. - №4. – 1992. - P. 253-259.
17. Optimization model of transit signal priority control for intersection and downstream bus // Mathematical problems in engineering [Электронный ресурс] / 2016. - 8 p. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9487190>.
18. Гутнов, А.Э. Мир архитектуры. Лицо города – М.: Молодая гвардия, 1990. – 350 с.
19. Расчет транспортной подвижности населения Санкт-Петербурга с использованием городского маршрутного пассажирского и индивидуального пассажирского транспорта: Материалы по обоснованию проектных решений Генерального плана Санкт-Петербурга – СПб.: ЗАО «Петербургский НИПИГрад», 2004.
20. Скиркоцкий, С.В. Городской наземный маршрутизированный транспорт : решения по организации перевозок: Монография – Гомель: БелГУТ, 2019. – 174 с.
21. Smith H.R., Hemily B., Ivanovic M. Transit signal priority (TSP): A planning and implementation handbook // ITS America, Washington, D.C. - 2005.
22. Hadayeghi A., Shalaby A.S., Persaud B.N. Macrolevel accident prediction models for evaluating safety of urban transportation systems // Transportation Research Record: Journal of the transportation research board. - №1840. – 2003. - P. 87-95.
23. United Nations, Department of economic and social affairs, Population Division. World urbanization prospects: The 2014 revision. - New York: Author. - 2015.
24. Chester M.V., Horvath A. Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. Environ. Res. Lett, 2009. - 4.
25. Цель 11: Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.un.org/sustainable-development/ru/cities/>

Капский Денис Васильевич

Белорусский национальный технический университет
Адрес: 220013, Республика Беларусь, г. Минск,
пр-кт Независимости 65
Д.т.н., доцент, декан АТФ
E-mail: d.kapsky@gmail.com

Скиркоцкий Сергей Владимирович

Белорусский государственный университет
транспорта
Адрес: 246653, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова 34
К.т.н., доцент, доцент кафедры «ОТиСД»
E-mail: Sergej-ski3359@yandex.ru

Лосин Леонид Андреевич

Институт проблем региональной экономики
РАН (ИПРЭ РАН)
Адрес: 190031, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Серпуховская, 38
К.т.н., заведующий лабораторией ИПРЭ
E-mail: nipigrad@yandex.ru

D.V. KAPSKI, S.V. SKIRKOUSKI, L.A. LOSIN

**APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR SOLVING
TRANSPORT PLANNING PROBLEMS**

Abstract. The article considers the main approaches to mathematical modeling and the application of mathematical methods to solve the problems of transport planning of various cities, taking

into account the development of urban passenger transport, the penetration of means of individual mobility, the peculiarities of the organization of traffic and the prospects for the development of the transport network.

Keywords: mathematical modeling, transport planning, traffic optimization, application program, traffic flow management

BIBLIOGRAPHY

1. Vrubeľ, Yu.A. Opredelenie poter` v dorozhnom dvizhenii: monografiya - Minsk: BNTU, 2006. - 240 s.
2. Kapskiy, D.V. Metodologiya povysheniya kachestva dorozhnogo dvizheniya: Monografiya. - Mn.: BNTU, 2018. - 372 s.
3. Skirkovskiy, S.V. Teoreticheskie i prakticheskie podkhody k sozdaniyu i razvitiyu intellektual`noy transportnoy sistemy goroda: monografiya - Gomel`: BelGUT, 2022. - 171 s.
4. Kapskiy, D.V. Transport v planirovke gorodov: posobie dlya studentov spetsial`nosti 1-44 01 02 «Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya» - Minsk: BNTU, 2019. - V 10 ch. - CH. 1: Transportnoe planirovanie: matematicheskoe modelirovanie. - 94 s.
5. Gorev, A.E. Osnovy teorii transportnykh sistem: uchebnoe posobie. - SPb.: SPbGASU, 2010. - 214 s.
6. Pittel` B.G. Sluchaynoe razmeshchenie s ogranicheniyami i printsip maksimuma vzvshennoy entropii // Doklady Akademii nauk SSSR. - 1972. - T. 207. - №6. - S. 1281-1283.
7. Sverdlin L.I. Transportnye obosnovaniya kompozitsii general`nogo plana goroda // Sotsial`no-ekonomicheskie problemy razvitiya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya: Materialy XI mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konf. - Ekaterinburg: AMB. - 2005. - S. 40-43.
8. Shvetsov, V.I. Matematicheskoe modelirovanie zagruzki transportnykh setey. - M.: URSS, 2003. - 64 s.
9. Kapskiy D.V., S. V. Skirkovskiy Obobshchennye podkhody k resheniyu zadach formirovaniya seti gorodskogo passazhirskogo transporta // Nauka i transport. - Vestnik Belorus. gos. un-ta transp. - 2021. - №2(43). - S. 16-20.
10. Lisenenkov A.I., Losin L.A. Formirovanie raschetnogo grafa na osnove analiza transportnoy sistemy gorodskoy aglomeratsii / pod nauchnoy redaktsiyey d.e.n. S.V.Kuznetsova // Problemy preobrazovaniya i regulirovaniya regional`nykh sotsial`no-ekonomicheskikh sistem: Sbornik nauchnykh trudov. - Vyp. 45. - SPb: GUAP. - 2019. - S. 49-53.
11. Kapskiy, D.V. Transportnoe modelirovanie i otsenka usloviy dorozhnogo dvizheniya s ispol`zovaniem navigatsionnoy informatsii: Monografiya - Minsk: Kapital Print, 2018. - 144 s.
12. PIARC: The urban road network design // Reference: 10.04.B, Routes. - 1991. - P. 45-84.
13. PIARC: Urban road design and architecture // Reference: 10.08.B, Routes. - 1995. - P. 51-126.
14. Liveable neighbourhoods. street layout, design and traffic management guidelines. Western australian planning commission. - 2000. - 59 p.
15. Nicolae Duduta, Carsten Wass, Dario Hidalgo, Luis Antonio Lindau, Vineet Sam John. Traffic safety on bus priority systems // Recommendations for integrating safety into the planning, design, and operation of major bus routes. - EMBARQ, World Resources Institute. - 2014. - 114 r.
16. Adamski, A., Probabilistic model of passenger service processes at bus stops // Transportation Research. - Vol. 26B. - №4. - 1992. - R. 253-259.
17. Optimization model of transit signal priority control for intersection and downstream bus // Mathematical problems in engineering [Elektronnyy resurs] / 2016. - 8 p. - Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9487190>.
18. Gutnov, A.E. Mir arkhitektury. Litso goroda - M.: Molodaya gvardiya, 1990. - 350 s.
19. Raschet transportnoy podvizhnosti naseleniya Sankt-Peterburga s ispol`zovaniem gorodskogo marshrutnogo passazhirskogo i individual`nogo passazhirskogo transporta: Materialy po obosnovaniyu proektnykh resheniy General`nogo plana Sankt-Peterburga - SPb.: ZAO «Peterburgskiy NIPiGrad», 2004.
20. Skirkovskiy, S.V. Gorodskoy nazemnyy marshrutizirovanny transport: resheniya po organizatsii perevozok: Monografiya - Gomel`: BelGUT, 2019. - 174 s.
21. Smith H.R., Hemily B., Ivanovic M. Transit signal priority (TSP): A planning and implementation handbook // ITS America, Washington, D.C. - 2005.
22. Hadayeghi A., Shalaby A.S., Persaud B.N. Macrolevel accident prediction models for evaluating safety of urban transportation systems // Transportation Research Record: Journal of the transportation research board. - №1840. - 2003. - R. 87-95.
23. United Nations, Department of economic and social affairs, Population Division. World urbanization prospects: The 2014 revision. - New York: Author. - 2015.
24. Chester M.V., Horvath A. Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. Environ. Res. Lett, 2009. - 4.
25. Tsel` 11: Obespechenie otkrytosti, bezopasnosti, zhiznestoykosti i ekologicheskoy ustoychivosti gorodov i naseleennykh punktov [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.un.org/sustainable development/ru/cities/>

Kapsky Denis Vasilyevich

Belarusian National Technical University
Adress: 220013, Republic of Belarus, Minsk
Doctor of technical sciences
E-mail: d.kapsky@gmail.com

Skirkousky Sergey Uladzimirovich

Belarusian State University of Transport
Adress: 246653, Republic of Belarus, Gomel, Kirova str.
Candidate of technical sciences
E-mail: Sergej-ski3359@yandex.ru

Losin Leonid Andreevich

Institute of Problems of Regional Economics
of the Russian Academy of Sciences (IRE RAS)
Adress: 190031, Russia, Saint Petersburg
Candidate of technical sciences
E-mail: nipigrad@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-88-94

А.Ю. АРТЕМОВ, С.В. ДОРОХИН

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КООРДИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

***Аннотация.** Рассмотрен один из основных способов управления движением транспортных потоков в городах – координационный, который представляет собой движение автомобилей по магистральной улице от «зеленого» к «зеленому». Разработан алгоритм оценки эффективности координированного управления по результату оценки транспортных задержек и интенсивности дорожного движения.*

***Ключевые слова:** уровень автомобилизации, уровень загрузки, дорожная сеть, магистральные улицы, светофорное регулирование, координированное управление, эффективность*

Введение

Высокий уровень автомобилизации, характерный сегодня для Российской Федерации приводит к возникновению определенного рода проблем, связанных в первую очередь с высокой нагрузкой дорожной сети современных городов. Сегодня, имеется определенное количество мероприятий, которые могут снизить возникающую нагрузку – это в первую очередь, строительство и реконструкция проблематичных участков, а также применение способов управления движением транспортными потоками в городах – светофорное регулирование. Применением первых способов – строительства и реконструкции не всегда представляется возможным в связи с их высокой стоимостью, а таких случаях наиболее альтернативным способом является применением эффективных способов управления, к которым также относится и координированное управление транспортными потоками. Вопросу координированного управления сегодня посвящено большое количество научных работ [1-7]. В большинстве своем, научные работы посвящены анализу эффективности применения координированного управления, основанного на анализе основных принципов его применения. Следует отметить, что при вводе рассматриваемого типа управления, обязательным условием является соблюдение следующих условий:

- 1) не менее двух полос для движения в каждом направлении;
- 2) транзитность потока не менее 70 %;
- 3) одинаковый или кратный цикл регулирования;
- 4) расстояние между соседними перекрестками не должно превышать 800 м.

Одной из основных проблем современных городов сегодня является перенасыщенность автомобильным транспортом, так согласно официальным данным, представленным на сайте «Федеральной службы государственной статистики» [8], в Воронежской области, по состоянию на 2021 год число легковых автомобилей находящихся в собственности на 1000 жителей составило 363,9, тогда как в 2000 году данный показатель составлял 166,8 (рис. 1).

Определенный прирост числа легковых автомобилей, оказывает определенную нагрузку на дорожную сеть городов, что приводит к возникновению заторовых ситуаций. В свою очередь при вводе координированного управления, довольно часто возникают ситуации, при которых заторовые ситуации наблюдаются на второстепенных улицах, несмотря на то, что по основной магистральной улице, заторовые ситуации также существуют, но время простоя значительно ниже. В таком случае ввод координированного управления должен быть оправданным. Для оценки эффективности применения координированного управления в рамках выполненного научного исследования предлагается разработать алгоритм оценки эффективности применения координированного типа управления с учетом анализа ситуации на основной магистральной улице и второстепенных участках.

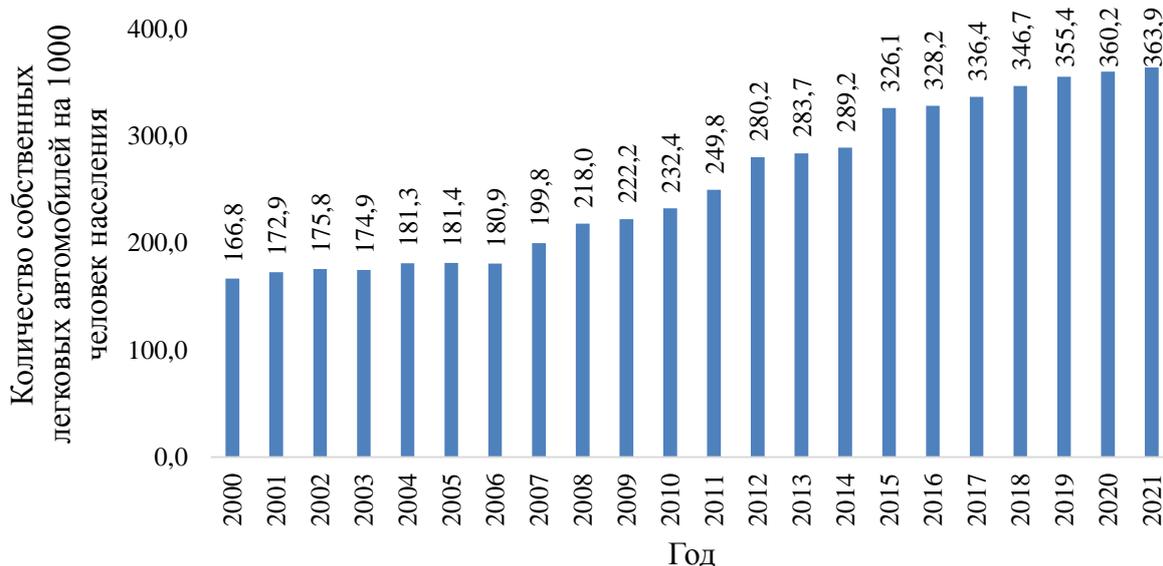


Рисунок 1 – Количество собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения в Воронежской области за период 2000-2021 г.

Материал и методы

В качестве метода проведения исследования определено имитационное моделирование [9-11], основным материалом для исследования стал продукт Any Logic, который сегодня активно применяется для моделирования транспортных процессов [12-15].

В качестве объекта исследования определена одна из наиболее нагруженных магистральных улиц г. Воронежа - Ленинский проспект (рис. 2). Протяженность координируемого участка 840 м, в координации находятся 3 перекрестка – Ленинский пр. – ул. Циолковского (перекресток №1), Ленинский пр. – ул. Полины Осипенко (перекресток №2), Ленинский пр. – Ольховый пер. (перекресток №3).

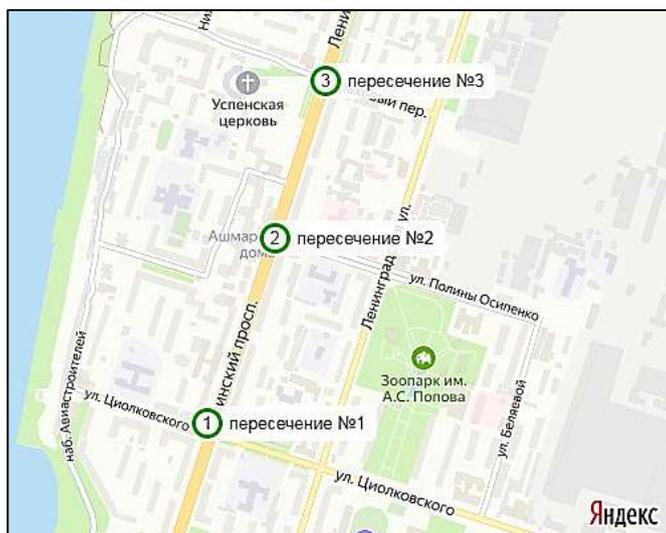


Рисунок 2 – Спутниковый снимок исследуемого координируемого участка – Ленинский проспект

Протяженность между перекрестком №1 и перекрестком №2 составляет 460 м, между перекрестком №2 и перекрестком №3 – 380 м.

В результате моделирования в программной среде Any Logic были получены данные по времени задержки на каждом рассмотренном направлении (рис. 2), с учетом существующего значения интенсивности (табл. 1).

Таблица 1 – Данные по величине задержки по результату имитационного моделирования в программной среде AnyLogic

Обозначение направлений	Наименование улиц	N, ед/ч	t, с
ВН1	Ленинский пр.	5064	99,24
ВН2	Ленинский пр.	5636	31,74
ВН3	ул. Циолковского	1530	73,49
ВН4	ул. Циолковского	1174	166,64
ВН5	Ленинский пр.	5942	114,93
ВН6	Ленинский пр.	4948	146,34
ВН7	ул. Полины Осипенко	1000	131,03
ВН8	Ленинский пр.	6394	36,63
ВН9	Ленинский пр.	5606	96,53
ВН10	пер. Ольховый	1174	107,12
ВН11	пер. Ольховый	1310	151,24

Следует отметить, что в соответствии с основными рекомендациями по вводу координируемого управления, транзитность основного участка, на основании данных которого вводится режим координации должны быть обеспечена интенсивностью выше 70 %.

Теория / Расчет

В рассматриваемом случае среднее значение по такому участку (\bar{N}_o) составляет 5598 ед./ч, среднее значение по второстепенным улицам (\bar{N}_B) составляет 1238 ед./ч, что позволяет определить коэффициент соотношения интенсивностей (k_N) при координированном управлении:

$$k_N = \frac{\bar{N}_o}{\bar{N}_B}, \tag{1}$$

где k_N – коэффициент соотношения интенсивностей дорожного движения;

\bar{N}_o – средняя интенсивность движения по основному (координируемому) участку, ед./ч;

\bar{N}_B – средняя интенсивность движения по второстепенным (не координируемым) участкам, ед./ч.

В результате расчетов, установлено что коэффициент в данном случае составляет 0,22, что что удовлетворяет требованиям ввода координации, т.к. транзитность потока составляет 78 %. Но выполненная процедура имитационного моделирования также позволила оценить значение задержки транспортных средств, установлено что среднее наблюдаемое значение по основному направлению (\bar{t}_o) составляет 87,57 с, по второстепенным направлениям (\bar{t}_B) – 125,9 с, что в свою очередь позволяет рассчитать значение ранее введенного коэффициента эффективности:

$$k_t = \frac{\bar{t}_o}{\bar{t}_B} \tag{2}$$

где k_t – коэффициент соотношения средних задержек на рассматриваемом участке;

\bar{t}_o – средняя задержка при движении по основному (координируемому) участку, с;

\bar{t}_B – средняя задержка при движении по второстепенным (не координируемым) участкам, с.

Выполненный расчет с использованием формулы (2) позволил установить значение коэффициента 0,7, при котором, согласно требованиям ввода координированного управления с обеспеченной транзитностью координируемого участка в 70 %, управление считается эффективным.

Несмотря на наблюдаемые значительные задержки по второстепенным улицам, которые превышают простои на основном направлении более чем на 40 %, в соответствии с интенсивностью, превышающей в 4 раза, такое значение является допустимым, но как было установлено ранее, в современных городах довольно часто наблюдаются ситуации, при которых значение интенсивностей второстепенных улиц равнозначно или превышает значение интенсивности по основному направлению. При возникновении таких ситуаций, требует

оперативное вмешательство со стороны управляющих организаций, в введении которых находятся такие координируемые участки.

Результаты

Для разработки алгоритма оценки эффективности ввода координированного типа управления, выполнен имитационный эксперимент с целью установления определенных ранее коэффициентов - k_N и k_t для определения эффективности применения координируемого управления.

При проведении эксперимента, без изменения режима координации были получены следующие результаты, представленные в таблице 2.

В рассматриваемом случае – «эксперимент» \bar{N}_0 остается неизменной и составляет 5598 ед./ч, а среднее значение по второстепенным улицам (\bar{N}_B) составляет 1856 ед./ч, что позволяет определить коэффициент соотношения интенсивностей (k_N) при координированном управлении с использованием формулы (1), который составил 0,33

Таблица 2 – Данные по величине задержки по результату проведения эксперимента в программной среде AnyLogic

Обозначение направлений	Наименование улиц	N, ед/ч	t, с
ВН1	Ленинский пр.	5064	66,23
ВН2	Ленинский пр.	5636	35,46
ВН3	ул. Циолковского	3060	92,37
ВН4	ул. Циолковского	2348	89,61
ВН5	Ленинский пр.	5942	72,02
ВН6	Ленинский пр.	4948	81,94
ВН7	ул. Полины Осипенко	2000	100,52
ВН8	Ленинский пр.	6394	30,8
ВН9	Ленинский пр.	5606	70,24
ВН10	пер. Ольховый	2348	46,4
ВН11	пер. Ольховый	2620	152,98

Выполненная процедура имитационного моделирования также позволила оценить значение задержки транспортных средств (табл. 2), установлено что среднее наблюдаемое значение по основному направлению (\bar{t}_0) составляет 59,44 с, по второстепенным направлениям (\bar{t}_B) – 96,38 с, что в свою очередь позволяет рассчитать значение ранее введенного коэффициента эффективности, значение которого в данном случае составило 0,62.

Обсуждение

Таким образом, зная соотношение интенсивностей при координированном управлении возможно определить соотношение задержек автомобилей и определить эффективность применяемого типа управления, на основании чего был получен алгоритм оценки эффективности координированного управления (рис. 3).

На следующем этапе в рамках выполненного исследования необходимым мероприятием является проверка алгоритма на существующем участке и оценка результатов с учетом данных детекторов транспорта.

В целом, разработанный алгоритм будет способствовать повышению эффективности методов управления, что является одним из основных направлений в области организации дорожного движения [16-23].

Выводы

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

1. Для проверки эффективности применения координированного управления в пользование был введен коэффициент соотношения интенсивностей дорожного движения по основному (координируемому) участку и второстепенным участкам (k_N), физический смысл которого заключается в установлении средних значений рассматриваемых величин и определении искомого коэффициента.



Рисунок 3 – Алгоритм оценки эффективности координированного управления

2. В результате выполнения эксперимента в имитационной модели были получены средние значения задержек при установленных режимах управления, которые было предложено учитывать через расчет введенного коэффициента соотношения задержек (k_t), соответствующих установленным значениям интенсивностей дорожного движения.

3. На основании полученных данных был разработан алгоритм оценки эффективности координированного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иваненко М.А. Координированное управление движением транспортных потоков как метод повышения пропускной способности городской дорожной сети крупных городов // Вестник транспорта. – 2011. – №10. – С. 31-32.
2. Галюзин А.И., Шевцова А.Г., Боровской А.Е. Координированное управление городской транспортной магистрали // Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее: Материалы III Международной молодежной конференции. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2021. – С. 5-9.
3. Кадасев Д.А., Петросянц А.И., Киньшин С.В. Координированное управление светофорной сигнализацией на проспекте Победы города Липецк // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции. - Липецк: Липецкий государственный технический университет. - 2022. – С. 154-159.
4. Власов А.А., Горелов А.М. Координированное управление въездами на автомагистраль // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – №2(21). – С. 100.
5. Кадасев Д.А., Полоцкий Д.В. Координированное светофорное управление автотранспортными потоками на магистрали г. Липецка // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. – №1(4). – С. 413-416.
6. Пильгейкина И.А., Власов А.А. Критерии формирования зон координированного управления координированными объектами // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2017. – №2(9). – С. 202-208.
7. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16. – №6(70). – С. 680-691.
8. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>
9. Кольшикина Д.В., Дрогачева Я.А., Шевцова А.Г. Обзор программ имитационного моделирования движения транспортных потоков // Воронежский научно-технический Вестник. – 2019. – Т. 3. – №3(29). – С. 111-117.
10. Изюмский А.А., Надирян С.Л., Сенин И.С. Применение имитационного моделирования в сфере моделирования транспортных потоков // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – №1. – С. 52-54.
11. Novikov A., Glagolev S., Novikov I., Shevtsova A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model // IOP Conference se-

ries: Materials science and engineering International conference on innovations in automotive and aerospace engineering. – Irkutsk: Institute of physics publishing. - 2019. - P. 012052.

12. Чувилов, Д.А. Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий на базе логического искусственного интеллекта – Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2020. – 305 с.

13. Шамлицкий Я.И., Охота А.С., Мироненко С.Н. Моделирование транспортных потоков в среде AnyLogic // Программные продукты и системы. – 2018. – №3. – С. 632-635.

14. Фатхутдинов А.Ф. Применение имитационного моделирования для оптимизации дорожного движения // Вестник современных исследований. – 2018. – №12.15(27). – С. 265-271.

15. Galkin A., Khabibullina E. Graph-structural modeling in traffic flow control task // Proceedings - 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency. – Lipetsk. - 2020. – P. 807-811.

16. Dorokhin S.V., Likhachev D.V., Artemov A.Yu. et al. The dynamic traffic modelling system // Lecture notes in networks and systems. – 2022. – Vol. 402. – P. 1586-1594.

17. Дорохин С.В., Терентьев В.В., Андреев К.П. Безопасность на дорогах: проблемы и решения // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – №2(57). – С. 67-73.

18. Скрыпников А.В., Чистяков А.Г., Дорохин С.В., Кривошеева А.В. К вопросу совершенствования информационных систем управления транспортом // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №5. – С. 219.

19. Некрасова Е.Е., Шевцова А.Г. Основные критерии оценки эффективности функционирования перекрестков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – №4-1(15-1). – С. 363-366.

20. Шевцова А.Г., Мочалина Ю.А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2015. – Т. 2. – №2(3). – С. 672-677.

21. Новиков И.А., Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Управление и организация дорожного движения при оценке единичного элемента системы «ВАДС» / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы международной научно-практической конференции. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», 2015. – С. 231-238.

22. Шевцова А.Г., Дух В.В., Лытнев А.С., Безродных А.А. Анализ программ повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2017. – Т. 4. – №1(7). – С. 327-331.

23. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // Journal of applied engineering science. – 2019. – Vol. 17. – №2. – P. 175-181.

Артемов Александр Юрьевич

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Ст. преподаватель кафедры «Организация перевозок и безопасности движения»

E-mail: artenov_a_u@mail.ru

Дорохин Сергей Владимирович

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Декан автомобильного факультета

E-mail: dsvvrn@yandex.ru

A.YU. ARTEMOV, S.V. DOROKHIN

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF COORDINATED MANAGEMENT

Abstract. *The article considers one of the main ways to control the movement of traffic flows in cities - coordination, which is the movement of cars along the main street from «green» to «green». When such situations arise, the use of coordinated management should be justified, in connection with this, within the framework of the study, an algorithm was developed to evaluate the effectiveness of coordinated management based on the result of assessing traffic delays and traffic intensity.*

Keywords: *motorization level, load level, road network, main streets, traffic light regulation, coordinated management, efficiency*

BIBLIOGRAPHY

1. Ivanenko M.A. Koordinirovannoe upravlenie dvizheniem transportnykh potokov kak metod povysheniya propusknoy sposobnosti gorodskoy dorozhnoy seti krupnykh gorodov // Vestnik transporta. - 2011. - №10. - S. 31-32.
2. Galyuzin A.I., Shevtsova A.G., Borovskoy A.E. Koordinirovannoe upravlenie gorodskoy transportnoy magistrali // Molodezh` i transport. Nastoyashchee i budushchee: Materialy III Mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii. - Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - 2021. - S. 5-9.
3. Kadasev D.A., Petrosyants A.I., Kin`shin S.V. Koordinirovannoe upravlenie svetofornoy signalizatsiy na prospekte Pobedy goroda Lipetsk // Infokommunikatsionnye i intellektual`nye tekhnologii na transporte: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. - 2022. - S. 154-159.
4. Vlasov A.A., Gorelov A.M. Koordinirovannoe upravlenie v`ezdami na avtomagistral` // Internet-zhurnal Naukovedenie. - 2014. - №2(21). - S. 100.
5. Kadasev D.A., Polotskiy D.V. Koordinirovannoe svetofornoe upravlenie avtotransportnymi potokami na magistrali g. Lipetska // Al`ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional`nogo ispol`zovaniya. - 2016. - T. 3. - №1(4). - S. 413-416.
6. Pil`geykina I.A., Vlasov A.A. Kriterii formirovaniya zon koordinirovannogo upravleniya koordinirovannymi ob`ektami // Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii. - 2017. - №2(9). - S. 202-208.
7. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Osnovnye printsipy rascheta programmy svetofornogo regulirovaniya na osnove upravlyaemykh setey i potoka nasyscheniya // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta. - 2019. - T. 16. - №6(70). - S. 680-691.
8. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/>
9. Kolyshkina D.V., Drogacheva Ya.A., Shevtsova A.G. Obzor programm imitatsionnogo modelirovaniya dvizheniya transportnykh potokov // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik. - 2019. - T. 3. - №3(29). - S. 111-117.
10. Izyumskiy A.A., Nadiryayn S.L., Senin I.S. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya v sfere modelirovaniya transportnykh potokov // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik). - 2016. - №1. - S. 52-54.
11. Novikov A., Glagolev S., Novikov I., Shevtsova A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model // IOP Conference series: Materials science and engineering International conference on innovations in automotive and aerospace engineering. - Irkutsk: Institute of physics publishing. - 2019. - P. 012052.
12. Chuvikov, D.A. Modeli i algoritmy rekonstruktsii i ekspertizy avariynnykh sobytiv dorozhno-transportnykh proissheshtviy na baze logicheskogo iskusstvennogo intellekta - Moskva: OOO «Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-M», 2020. - 305 s.
13. Shamlitskiy Ya.I., Okhota A.S., Mironenko S.N. Modelirovanie transportnykh potokov v srede AnyLogic // Programmnye produkty i sistemy. - 2018. - №3. - S. 632-635.
14. Fatkhutdinov A.F. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya optimizatsii dorozhnogo dvizheniya // Vestnik sovremennykh issledovaniy. - 2018. - №12.15(27). - S. 265-271.
15. Galkin A., Khabibullina E. Graph-structural modeling in traffic flow control task // Proceedings - 2020 2nd International conference on control systems, mathematical modeling, automation and energy efficiency. - Lipetsk. - 2020. - P. 807-811.
16. Dorokhin S.V., Likhachev D.V., Artemov A.Yu. et al. The dynamic traffic modelling system // Lecture notes in networks and systems. - 2022. - Vol. 402. - P. 1586-1594.
17. Dorokhin S.V., Terent`ev V.V., Andreev K.P. Bezopasnost` na dorogakh: problemy i resheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2017. - №2(57). - S. 67-73.
18. Skrypnikov A.V., Chistyakov A.G., Dorokhin S.V., Krivosheeva A.V. K voprosu sovershenstvovaniya informatsionnykh sistem upravleniya transportom // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. - 2014. - №5. - S. 219.
19. Nekrasova E.E., Shevtsova A.G. Osnovnye kriterii otsenki effektivnosti funktsionirovaniya perekrestkov // Aktual`nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. - 2015. - T. 3. - №4-1(15-1). - S. 363-366.
20. Shevtsova A.G., Mochalina Yu.A. Obzor novykh tekhnicheskikh sredstv organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Al`ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional`nogo ispol`zovaniya. - 2015. - T. 2. - №2(3). - S. 672-677.
21. Novikov I.A., Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Upravlenie i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya pri otsenke edinichnogo elementa sistemy «VADS» / Pod obschchey redaktsiyey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: FGBOU VPO «Gosudarstvennyy universitet - uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks», 2015. - S. 231-238.
22. Shevtsova A.G., Dukh V.V., Lytnev A.S., Bezrodnykh A.A. Analiz programm povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // Al`ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional`nogo ispol`zovaniya. - 2017. - T. 4. - №1(7). - S. 327-331.
23. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // Journal of applied engineering science. - 2019. - Vol. 17. - №2. - P. 175-181.

Artemov Alexander Yurievich
 Voronezh State Forest Engineering University
 Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
 Art. lecturer
 E-mail: artenov_a_u@mail.ru

Dorokhin Sergey Vladimirovich
 Voronezh State Forest Engineering University
 Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
 Dean of the automotive faculty
 E-mail: dsvvrn@yandex.ru

Научная статья

УДК 004: 656.2

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-95-100

В.Н. ИГИН

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЛОКОМОТИВА

Аннотация. Рассмотрен процесс формирования технических требований к интеллектуальной системе локомотива, предназначенного для эксплуатации на Восточном полигоне железных дорог Российской Федерации. Уточнен перечень основных функций для автоматического управления локомотивом и диагностики его технического состояния.

Ключевые слова: локомотив, интеллектуальная система, микропроцессорная система, диагностика, технические требования

Введение

По поручению Президента Российской Федерации, в рамках решений Восточного экономического форума от 17 сентября 2015 г., №Пр-1891 «Об обеспечении приоритетного финансирования задач социально-экономического развития Дальнего Востока ОАО «РЖД» реализует проект: «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей с развитием пропускных и провозных способностей».

Генеральной схемой проекта предусмотрена организация перевозок угля в поездах массой 7100 тонн без увеличения унифицированной длины состава. Приведенные требования еще раньше были закреплены протоколом заседания межведомственной комиссии по транспорту от 19 мая 2014 г. №2. Согласно распоряжению холдинга от 3 октября 2017 г. №2014р, при разработке технологии управления тяговыми ресурсами Восточного полигона, произведена оценка профиля пути, внешних климатических условий и соответствующих тягово-энергетических показателей локомотивов с интеллектуальной системой управления. Также определен перечень основных функций для автоматического управления локомотивом в режиме автоведения и диагностики его технического состояния.

Формирование технических требований к интеллектуальной системе локомотива, определяющей эффективное функционирование и безопасность его работы в условиях Восточного полигона, определяет цель и содержание работы.

Материал и методы

Ключевые требования к новым локомотивам соответствуют распоряжению ОАО «РЖД» от 17 апреля 2018 г. №769/р «Стратегия научно-технологического развития холдинга РЖД на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. (Белая книга)», п.п. 4.7.2. Разработка и производство новых локомотивов осуществляется в строгом соответствии с действующим в РФ порядком [1]. При разработке требований к новым локомотивам с интеллектуальной системой управления учтены климатические особенности условий внешней среды [2-4].

В рамках решения задачи осуществлена оценка реальных климатических условий, показатели которых приведены в табл. 1, на участках: Тында – Юктали - Хани; Угольная - Нерюнгри-Беркамит – Тында - Сковородино; Тында - Верхнезейск – Февральск, где планируется эксплуатация инновационной серии тепловозов.

Таблица 1 - Климатические показатели в остановочных пунктах Восточного полигона

Показатели	Среднемесячные значения климатических показателей					
	Тында	Нерюнгри	Н. Чара	Н. Ургал	Хани	Февральск
январь, °С	-27,3	-29,1	-30,6	-30,1	-29,4	-28,1
июль, °С	17,8	15,8	16,4	19,5	17,7	19,8
t _{min} , °С	-38	-44	-47	-45	-45,1	-45,5
t _{cp.год} , °С	-4,2	-6,1	-6,1	-2,4	-4,8	-1,9

Анализ табличных данных показывает, что среднемесячные значения температуры в январе в остановочных пунктах Новая Чара и Новый Ургал находятся в интервале от -30,1 °С

до -30,6 °С, а в июле - от 16,4 °С до 19,5 °С, что соответствует «Очень холодному» климатическому району, обозначаемому, в соответствии с ГОСТ 16350-80, табл. 1, как I₁ [2].

Наряду с этим, число дней в году с минимальной температурой воздуха ниже минус 45 °С на остановочных пунктах Новая Чара, Хани и Февральск при норме от 1 до 10, согласно ГОСТ 16350-80 (табл. 1), достигло в января текущего года от 1 до 3-х раз и также отвечает критерию «Очень холодного климатического района». Заметно, что климатическое исполнение современных тепловозов, как и старой, до строительства БАМ постройки одинаковое - для умеренного климата «У». Известно, что в соответствии с ГОСТ 15150-1969 п. 5.4 е): «для железнодорожного подвижного состава исполнения «У» нижнее рабочее и предельное значение температуры принимать равным минус 50 °С». При этом согласно п. 2.1, табл. 1 этого ГОСТа, для районов с умеренным и холодным климатом, нужны тепловозы соответствующего климатического исполнения (ХЛ), что позднее будет откорректировано.

В основу проекта инновационных тепловозов, наряду с действующими стандартами [6, 7], включены элементы «интеллектуальных технологий», определенных перспективными направлениями развития тепловозостроения и дизелестроения [8, 9], в частности:

- снижение зависимости от импортных компонентов за счет применения в производстве локомотивов преимущественно отечественных комплектующих;
- повышение тяговых свойств на 10-15%;
- повышение коэффициента технической готовности до 0,96-0,97;
- снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт локомотивов за счет перехода от системы планово-предупредительных ремонтов к системе ремонта «по фактическому состоянию» с использованием системы бортовой диагностики и прогнозирования остаточного ресурса;
- увеличение эксплуатационного пробега между экипировками топливом и песком;
- снижение расхода топливно-энергетических ресурсов в среднем на 10 %;
- повышение эксплуатационного к.п.д. локомотива;
- реализация управления локомотивом в полностью автоматическом режиме - в автоведении - с надлежащим уровнем безопасности движения поездов;
- снижение воздействия на окружающую среду за счет уменьшения отходов и выбросов вредных веществ [7].

В таблице 2 показаны тягово-энергетические показатели современных серий тепловозов 2ТЭ25А, 2ТЭ25К^М и инновационного проекта тепловоза 2ТЭ35А.

Таблица 2 - Тягово-энергетические показатели тепловозов

Параметры	Серия тепловоза (одна секция)		
	2ТЭ25А	2ТЭ25К ^М	2ТЭ35А
Климатический район	I ₂ , II ₄ ,..., II ₁₀	I ₂ , II ₄ ,..., II ₁₀	I ₂ , II ₄ ,..., II ₆
Исполнение (категория размещения)	У (1)	У (1)	У (1)
Осевая формула	3 ₀ - 3 ₀	3 ₀ - 3 ₀	2 ₀ + 2 ₀ - 2 ₀ + 2 ₀
Масса М, т	144	144	200
Мощность объявленная N _е , кВт	2500	2650	3650
Скорость длительная v _∞ , м/с (км/ч)	5 (18)	6,55 (23,6)	5 (18)
Скорость конструкционная v _к , м/с (км/ч)	33,3 (120)	27,8 (100)	33,3 (120)
Сила тяги длительного режима F _∞ , кН	390,0	323,6	500
Мощность касательная N _к , кВт	1950	2121	2493

Принципиальным отличием инновационного проекта тепловоза 2ТЭ35А от современных серий 2ТЭ25А и 2ТЭ25К^М, помимо осевой формулы и повышенной нагрузки от оси на рельс, является наличие микропроцессорной, взамен электромашинной и электроаппаратной, системы управления и диагностики (МПСУ и Д).

Теория / Расчет

Технологическая основа микропроцессорной системы управления обусловлена стандартами: в сфере информационных технологий [10, 11], функциональной безопасности систем электрических, электронных, программируемых электронных и программного обеспечения [12], а диагностики - в одноименной области их функционирования [13-15].

Теоретическая основа безопасности движения определена действующими в компании ОАО «РЖД» правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [16, 17] и тяговых расчетов для поездной работы [18-20].

Формирование технических требований включает идентификацию процессов функционирования локомотива с последующим составлением перечня основных функций для автоматического управления и диагностики его технического состояния.

МПСУ и Д должна обеспечивать:

- контроль и управление дизелем;
- оптимизацию характеристик дизеля, синхронного тягового генератора (СТГ) и асинхронных тяговых двигателей (ТАД) в режимах тяги, торможения и холостого хода;
- программное управление работой дизель-генераторной установки (ДГУ) и систем тепловоза;
- контроль состояния и функционирования оборудования тепловоза и причин его отказов;
- запись параметров работы тепловозов на встроенном накопителе;
- автоматическое и ручное управление холодильной камерой дизеля;
- управление основным и вспомогательным оборудованием тепловоза;
- организация информационного обеспечения локомотивной бригады;
- диагностирование оборудования тепловоза;
- интеграцию с устройствами безопасности.

Система диагностики поезда должна иметь возможность:

- обеспечения безопасности движения поезда в части защиты от логических ошибок;
- сбора и хранения параметров работы тепловоза и его оборудования;
- обмена данными с инфраструктурой;
- формирования алгоритмов управления оборудованием тепловоза;
- автоматического регулирования производительности компрессора.

Поездная коммуникационная сеть должна обеспечивать:

- распознавание железнодорожного подвижного состава, объектов инфраструктуры;
- соответствие требованиям нормативной документации по передаче информации;
- контроль положения тепловоза относительно предельного столбика;
- взаимодействие между оборудованием тепловоза;
- двухстороннюю связь при передаче диагностической информации

Оптимизирован перечень основных функций МПСУ и Д тепловоза, в частности:

- управление частотой вращения вала дизеля;
- управление мощностью тяговой передачи в режиме тяги и электрического торможения;
- динамическое включение и отключение асинхронных тяговых двигателей для увеличения коэффициента полезного действия тяговой передачи при работе на частичных режимах;
- ограничение максимального тока и напряжения тягового генератора;
- стабилизация мощности синхронного тягового генератора;
- снятие или уменьшение нагрузки дизеля при превышении температуры воды и масла;
- снижение мощности тягового генератора при отключении части асинхронных тяговых двигателей;
- управление электроприводом компрессора и системой подготовки сжатого воздуха;
- управление скоростью движения;
- самодиагностика блоков системы МПСУ и Д (с определения места неисправности);
- диагностика основного и вспомогательного оборудования;
- контроль включения и отключения электрических аппаратов;
- отображение на мониторе текущих параметров тепловоза;
- регистрация состояния аппаратов и органов управления тепловоза и показаний датчиков;
- защита от боксования и юза (в режиме электрического торможения) колесных пар;
- регистрация моточасов работы дизеля с хранением в энергонезависимой памяти и отображением на мониторе;

- сервисные режимы (включение аппаратов в ручном режиме, корректировка параметров регулятора и т.д.);
- контроль состояния и зарядки аккумуляторных батарей (АБ);
- контроль и сигнализацию обрыва тормозной магистрали;
- сигнализация отпуска тормозов для каждой тележки;
- контроль сопротивления изоляции низковольтных цепей;
- контроль минимального уровня воды в расширительном баке;
- автоматическое регулирование давления воздуха в главных резервуарах;
- сопряжение с системами безопасности и передача требуемых параметров на единый съемный носитель;
- поосное регулирование тяги и ряд других.

МПСУ и Д надлежит быть блочно унифицированной. На блоках, имеющих в своем составе часы реального времени, должно быть установлено единое астрономическое время. Вычислительные средства должны обеспечить бесперебойную работу программного обеспечения.

Аппаратные средства системы должны иметь возможность интеграции с отдельными новыми устройствами, узлами и компонентами и предусматривать их резервирование.

МПСУ и Д надлежит обеспечивать регистрацию в энергонезависимой памяти данных (параметров движения поезда, работы оборудования, информации от путевых устройств, цифрового радиоканала и действий машиниста).

В энергонезависимой памяти должен осуществляться сбор данных с возможностью их перезаписи на съемный носитель информации.

Информация о составе может вводиться локомотивной бригадой вручную с маршрутного листа машиниста, например, формы ТУЗВЦУ.

Энергонезависимой памятью надлежит обеспечить хранение и доступ к зарегистрированным данным в интервале от 100 до 150 тыс. км пробега.

Доступ к просмотру информации в энергонезависимой памяти на тепловозе должен обеспечиваться через средства кабины машиниста.

Для получения юридически значимых данных о параметрах движения, связанных с безопасностью движения, должны быть осуществлены мероприятия, обеспечивающие сохранение информации при любых изменениях условий внешней среды, в частности, согласно действующему ГОСТ [3] температуры от минус 50 °С до плюс 30 °С.

МПСУ и Д следует реализовывать управление тяговым приводом в зависимости от массы поезда и условий эксплуатации путем изменения:

- числа и мощности асинхронных тяговых двигателей (ТАД);
- алгоритма работы вспомогательного привода.

МПСУ и Д надлежит реализовывать управление движением тепловоза в режимах автотоведения, советчика и ручного управления, в том числе при дистанционном управлении. Также система должна обеспечивать автоматическое управление магистральным тепловозом на сортировочных станциях, автоматизированное проведение маневровых передвижений.

Для уточнения перечня основных функций МПСУ и Д во 2-й половине 2019 г., в инициативном порядке, проведено шесть совещаний с участием причастных к формированию технических требований к проекту тепловоза с интеллектуальной системой управления как представителей заказчика от ОАО «РЖД», так и представителей исполнителя - от ООО «Центр инновационного развития СТМ».

В ходе обсуждения выявлен ряд необоснованно заявленных показателей, ограничивающих эффективную эксплуатацию локомотивов:

- в составе поезда массой 7100 т и длиной 1052 м (с учетом 10 м на неточность установки) большим 1050 м длины приемоотправочных путей станции;
- с завышением на 530 кВт (3650 кВт, вместо 3120 кВт) объявленной мощности дизеля и повышенным на 81 кг/ч расходом топлива с последующим ростом на 6,1 кг/ч вредных выбросов: 0,052 кг - NO_x, 0,011 кг - CO, 0,009 кг - СnHm, 0,003 кг - С в час.
- с превышением на 7 % удельного расхода дизельного топлива на промежуточных позициях контроллера машиниста (КМ): от 199 до 210 г/кВт·ч, вместо 196 г/кВт·ч;
- с нерасчетным на 1,5 % значением как «доли от номинального расхода» топлива на «холостом ходу», вместо регламентированного 10 кг/ч.

Результаты

По результатам детальной проработки технических требований, подготовлено техническое задание на опытно-конструкторскую работу 2ТЭ35А.00.000ТЗ: «Разработка магистрального тепловоза с интеллектуальной системой управления», которое утверждено 14 сентября 2020 г. заместителем генерального директора – главным инженером ОАО «РЖД». Исполнителем ОКР определен ООО «Центр инновационного развития СТМ», АО «Людинский тепловозостроительный завод».

Обсуждение

Проблема формирования технических требований к локомотивам с интеллектуальной системой обсуждалась: на VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век» в октябре 2019 г. в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС):

- на VIII международной научно-практической конференции «информационные технологии и инновации на транспорте» в мае 2022 г. в Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева;

- на международной научно-практической конференции «Транспорт России: прошлое, настоящее и будущее (к 185-летию открытия первой отечественной железной дороги)» в мае 2022 г. в Российском университете транспорта (МИИТ).

Выводы

Согласно утвержденному техническому заданию на опытно-конструкторскую разработку «Разработка магистрального грузового тепловоза 2ТЭ35А с интеллектуальной системой управления» 2ТЭ35А.00.00.000ТЗ планируется изготовить и начать испытывать опытный образец в 2024 г.

Предполагается, что грузовой тепловоз 2ТЭ35А с интеллектуальной системой управления будет способен вести тяжеловесные поезда массой до 7100 т с конструкционной скоростью 120 км/ч и высокими технико-экономическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. - М.: Стандартинформ, 2016. - 15 с.
2. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. - М.: Издательство стандартов, 1981. - 150 с.
3. ГОСТ 15150-69. Межгосударственный стандарт: Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. - М.: Стандартинформ, 2010. - 71 с.
4. Игин В.Н. Восточный полигон диктует условия тяге // Локомотив. - 2021. - №12. - С. 5-8.
5. Игин В.Н. Оценка тяговых свойств локомотивов // Локомотив. - 2021. - №2. - С. 40-43.
6. ГОСТ 31187-2011. Тепловозы магистральные. Общие технические требования.
7. ГОСТ 24028 - 2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. - М.: Стандартинформ, 2013. - 12 с.
8. Игин В.Н., Марков В.А., Фурман В.В. Эксплуатационные испытания тепловозов с электронной системой управления топливоподачей // Машиностроение. - 2014. - №4. - С. 25-37.
9. Игин В.Н., Марков В.А., Фурман В.В. и др. Испытания транспортного средства с электронной системой управления топливоподачей дизельного двигателя // Грузовик. - 2015. - №3. - С. 17-29.
10. ГОСТ Р 59263 – 2020. Системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики микропроцессорные. Требования к интерфейсам и протоколам обмена информацией. - М.: Стандартинформ, 2020. - 15 с.
11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. - М.: Издательство стандартов, 1993. - 12 с.
12. ГОСТ ИЕС 61508-3-2018. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению. - М.: Стандартинформ, 2018. - 113 с.
13. ГОСТ Р 52120 – 2003. Техническая диагностика. Локомотивы магистральные. Общие требования приспособленности к диагностированию. - М.: Издательство стандартов, 2003. - 7 с.
14. ГОСТ Р 52122 – 2003. Техническая диагностика. Локомотивы магистральные. Встроенные системы диагностирования. Общие требования. - М.: Издательство стандартов, 2003. - 8 с.
15. ГОСТ Р ИСО 13372 – 2013. Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2014. - 20 с.
16. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. - М.: ООО «Техинформ», 2013. - 520 с.
17. Игин В.Н. Безопасность движения в тяговых расчетах // Локомотив. - 2021. - №6. - С. 40-44.
18. Правила тяговых расчетов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. - 287 с.

19. Игин В.Н. Правила тяговых расчетов требуют корректировки // Локомотив. - 2017. - №6. - С. 7-8.
20. Игин В.Н. Техническое нормирование дизельного топлива в тепловозной тяге // Локомотив. - 2020. - №7. - С. 32-37.

Игин Валерий Николаевич

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)
Адрес: 125315, Россия, г. Москва, ул. Часовая, 22/2, стр. 1
Д.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»
E-mail: iginvn@mail.ru

V.N. IGIN

FORMATION OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE INTELLIGENT LOCOMOTIVE SYSTEM

Abstract. *The process of forming technical requirements for the intelligent system of a locomotive intended for operation at the Eastern landfill of the railways of the Russian Federation is considered. The list of basic functions for automatic locomotive control and diagnostics of its technical condition has been clarified.*

Keywords: *locomotive; intelligent system; microprocessor system, diagnostics, technical requirements*

BIBLIOGRAPHY

1. GOST 15.301-2016. Sistema razrabotki i postanovki produktsii na proizvodstvo (SRPP). Produktsiya proizvodstvenno-tekhnicheskogo naznacheniya. Poryadok razrabotki i postanovki produktsii na proizvodstvo. - M.: Standartinform, 2016. - 15 s.
2. GOST 16350-80. Klimat SSSR. Rayonirovanie i statisticheskie parametry klimaticheskikh faktorov dlya tekhnicheskikh tseley. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1981. - 150 s.
3. GOST 15150-69. Mezhgosudarstvennyy standart: Mashiny, pribory i drugie tekhnicheskije izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh rayonov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, khraneniya i transportirovaniya v chasti vozdeystviya klimaticheskikh faktorov vneshney sredy. - M.: Standartinform, 2010. - 71 s.
4. Igin V.N. Vostochnyy poligon diktuet usloviya tyage // Lokomotiv. - 2021. - №12. - S. 5-8.
5. Igin V.N. Otsenka tyagovykh svoystv lokomotivov // Lokomotiv. - 2021. - №2. - S. 40-43.
6. GOST 31187-2011. Teplovozy magistral'nye. Obshchie tekhnicheskije trebovaniya.
7. GOST 24028 - 2013. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Dymnost' otrabotavshikh gazov. Normy i metody opredeleniya. - M.: Standartinform, 2013. - 12 s.
8. Igin V.N., Markov V.A., Furman V.V. Ekspluatatsionnye ispytaniya teplovozzov s elektronnoy sistemoy upravleniya toplivopodachey // Mashinostroenie. - 2014. - №4. - S. 25-37.
9. Igin V.N., Markov V.A., Furman V.V. i dr. Ispytaniya transportnogo sredstva s elektronnoy sistemoy upravleniya toplivopodachey dizel'nogo dvigatelya // Gruzovik. - 2015. - №3. - S. 17-29.
10. GOST R 59263 - 2020. Sistemy i ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki mikroprotseornnye. Trebovaniya k interfeysam i protokolam obmena informatsiy. - M.: Standartinform, 2020. - 15 s.
11. GOST R ISO/MEK 9126-93. Informatsionnaya tekhnologiya. Otsenka programmnoy produktsii. Harakteristiki kachestva i rukovodstva po ikh primeneniyu. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1993. - 12 s.
12. GOST IEC 61508-3-2018. Funktsional'naya bezopasnost' sistem elektricheskikh, elektronnykh, programmiruemyykh elektronnykh, svyazannykh s bezopasnost'yu. Chast' 3. Trebovaniya k programmnomu obespecheniyu. - M.: Standartinform, 2018. - 113 s.
13. GOST R 52120 - 2003. Tekhnicheskaya diagnostika. Lokomotivy magistral'nye. Obshchie trebovaniya prisposoblennosti k diagnostirovaniyu. - M.: Izdatel'stvo standartov, 2003. - 7 s.
14. GOST R 52122 - 2003. Tekhnicheskaya diagnostika. Lokomotivy magistral'nye. Vstroennyye sistemy diagnostirovaniya. Obshchie trebovaniya. - M.: Izdatel'stvo standartov, 2003. - 8 s.
15. GOST RISO 13372 - 2013. Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Terminy i opredeleniya. - M.: Standartinform, 2014. - 20 s.
16. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii. - M.: OOO «Tekhinform», 2013. - 520 s.
17. Igin V.N. Bezopasnost' dvizheniya v tyagovykh raschetakh // Lokomotiv. - 2021. - №6. - S. 40-44.
18. Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoy raboty. - M.: Transport, 1985. - 287 s.
19. Igin V.N. Pravila tyagovykh raschetov trebuyut korrektyrovki // Lokomotiv. - 2017. - №6. - S. 7-8.
20. Igin V.N. Tekhnicheskoe normirovanie dizel'nogo topliva v teplovozznoy tyage // Lokomotiv. - 2020. - №7. - S. 32-37.

Igin Valery Nikolaevich

Russian University of Transport (RUT (MIIT))
Address: 125315, Moscow, Chasovaya str., 22/2, p. 1
Doctor of technical sciences
E-mail: iginvn@mail.ru

Научная статья

УДК 656.137

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-101-106

А.В. КОРОЧКИН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУНТОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ВЯЖУЩИМИ, В КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы использования грунтов, укрепленных вяжущими в качестве слоев дорожной одежды. Особое внимание уделено проблемам применения данной технологии в современном дорожном строительстве. Проведен анализ методологических исследований ученых, на основании которых сделан вывод о необходимости создания нормативной базы, посвященной укрепленным грунтам, которая должна включать в себя основные технические требования, необходимые данные для расчетов, рекомендации по применению и другую методическую документацию.*

***Ключевые слова:** прочность, долговечность, бетон, дорожная одежда, цемент, грунт*

Введение

Современные автомобильные дороги представляют собой сложные инженерные сооружения и требуют немалых материальных затрат на строительство и эксплуатацию. Поэтому снижение стоимости работ – одна из важнейших задач, стоящих перед всеми дорожниками. Одним из самых эффективных способов экономии средств при строительстве автомобильных дорог является использование местных строительных материалов, благодаря чему отпадает необходимость дальних перевозок, которые значительно отягощают смету.

В районах, где имеются собственные залежи песка и камня для производства щебня, а также промышленные предприятия, отходы которых могут использоваться в качестве строительного материала (шлаки, шламы, шахтные отвалы и т.д.) проблема решается просто. Все вышеперечисленные местные материалы после определения их физико-механических свойств напрямую направляются на строительную площадку и используются при устройстве оснований и подстилающих слоев дорожных одежд и искусственных сооружений [12].

Устройство дорожных одежд автомобильных дорог можно назвать трудоемким, сложным и затратным процессом. Поэтому дорожниками всех стран всегда приветствуется внедрение новых технологий и строительных материалов, которые позволяют облегчить проектирование, строительство и эксплуатацию дорожных одежд, увеличить долговечность и прочность, а также, снизить их стоимость, более того, это является одной из основных задач для них. По всему миру быстро распространяются новые дорожно-строительные материалы и технологии. Они позволяют улучшать качество автомобильных дорог, их безопасность и комфортность движения по ним автомобильного транспорта. На каждом этапе развития цивилизации при проектировании и строительстве дорог применялись те материалы и технологии, которые были доступны (соответствовали) именно этому времени. Сначала это было мощение камнем и деревом, затем появились щебеночные дороги (макадамы), далее асфальт, бетон и др. Но вот там, где нет песка и камня, и к тому же отсутствуют промышленные производства, возникают определенные сложности. Необходимые материалы требуется завозить издалека, из-за чего их стоимость увеличивается в разы. Поэтому внимание дорожников обратилось на такой местный материал, который в чистом виде никогда не применяется при строительстве дорожных одежд, но есть везде и в неограниченном количестве – на грунт.

Как мы знаем, в своем естественном состоянии такие природные образования как грунты обладают невысокой прочностью и водостойкостью. Для того чтобы их использование было возможно в конструкциях дорожных одежд, грунты следует сделать устойчивыми и прочными. Также, они не должны зависеть от таких параметров, как перемена влажности, погодные условия и переменные нагрузки при движении транспорта. Первые удачные опыты обработки грунтов цементом в России в целях коренного изменения их первоначальных свойств провели в XX веке.

Материал и методы

К настоящему времени в России разработано более 200 методов укрепления грунтов и местных материалов, и их количество продолжает расти с каждым годом, не говоря об опыте других стран.

В первую очередь, разработке и совершенствованию методов укрепления грунтов способствовали положительные результаты производственного внедрения технологий, основанных на использовании наиболее распространенных вяжущих, таких как: цемент, битум, известь. Стоит отметить, что важную роль в развитии данных методов сыграли достижения в области грунтоведения, технологии вяжущих веществ и обработки грунтов.

В СССР исследованиями возможности использования грунта в качестве строительного материала занялись с середины 20-х годов XX в. Тогда же появилось дорожное грунтоведение – геологическая наука, изучающая возможности применения грунтов в строительстве автомобильных и железных дорог, аэродромов и т.д. [1]. Одной из главных целей проводимых исследований стала возможность улучшения физико-механических свойств грунтов до такого уровня, чтобы их можно было использовать в качестве слоев дорожных одежд. Так появилась идея укрепления грунтов вяжущим.

Уже в 30-40 годах прошлого века появились технологии укрепления органическими вяжущими (битум, каменноугольные дегти) и неорганическими вяжущими (известь, портландцемент). Укрепленные грунты значительно отличались в лучшую сторону по своим свойствам не только от обычных грунтов, но и от традиционных песка и щебня. Уложенные в основание они практически исключают проникновение воды в нижележащие слои дорожной одежды и земляного полотна. Лучше, чем щебень распределяют нагрузки. Способствуют достижению большей ровности покрытия [19].

Вопросами укрепления грунтов занимались многие отечественные ученые: Безрук В.М. [2], Любимова Т.Ю. [3], Бируля А.К. [4], Могилевич В.М. [5], Ребиндер П.А. [6], Линцер А.В. [7] и многие другие. Благодаря их работам удалось получить теоретические обоснования укрепления грунтов, разработать технологию применения грунтов, укрепленных вяжущим, при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог. Многие из этих научных исследований сохранили свою актуальность до настоящего времени и являются базой для дальнейших научных изысканий по данной тематике.

Теория

При укреплении грунтов органическими вяжущими следует различать «влажность грунта при смешении его с органическим вяжущим» и «оптимальную влажность смеси при уплотнении». Влажность грунта при смешении - это та наименьшая влажность, при которой органическое вяжущее равномерно распределяется в грунте. Необходимую влажность грунта при смешении определяют методом подбора по визуальной оценке качества смеси. Под оптимальной влажностью при уплотнении смеси понимают ту влажность, при которой достигается максимальная плотность, прочность при сжатии образцов имеет наибольшее значение, а набухание - наименьшее. Водостойкость укрепленного грунта достигается заполнением его пор вяжущими. Необходимое для этого количество вяжущего зависит от пористости грунта [16].

Превращение грунта в качественный дорожно-строительный материал с заданными свойствами возможно лишь на основе комплексного химического, физико-химического и механического воздействия на грунт, объединенного в единый взаимосвязанный технологический процесс.

Правильное взаимное сочетание процессов, происходящих при укреплении грунтов и их усиление действием поверхностно-активных и других веществ, обеспечивают преобразование природных свойств грунта с приданием ему монолитности, прочности и водостойчивости. При этом в зависимости от применяемых веществ и свойств грунта характер структурообразования и структурно-механические свойства укрепленного грунта бывают различными [15].

Результаты и обсуждение

Укрепленные вяжущим грунты в качестве слоев оснований дорожных одежд по прочности значительно превосходят щебень, песок и различные песчано-щебеночно-гравийные смеси, традиционно применяемые в дорожных конструкциях. Так модуль упругости песка в зависимости от его крупности колеблется от 100 МПа до 130 МПа. Модули упругости щебеночных смесей находятся в диапазоне 260 МПа – 300 МПа. Модуль упругости трудноуплотняемого щебня -

350 МПа, легкоуплотняемого щебня - 450 МПа. В то время, как модули упругости грунтов оптимального состава, обработанных органическими вяжущими, составляет 430 МПа, а обработанных совместно органическим и минеральным вяжущим - 700 МПа. Те же грунты оптимального состава, но обработанные цементом имеют нормативные значения модуля упругости от 400 МПа (для марки М20) до 950 МПа (для марки М100). Для грунтов неоптимального состава модули упругости равны 250 МПа (М20) и 870 МПа (М100) соответственно [18].

То есть, укрепленные грунты вполне могут составить конкуренцию широко распространенным строительным материалам при строительстве дорожных одежд, особенно при строительстве дорог низких категорий в сельских и малозаселенных районах, где всегда ощущался дефицит строительных материалов. В 60-80 г. XX века использование укрепленных грунтов в дорожном строительстве начало активно внедряться по всей стране. Однако затем тема внедрения данной технологии заметно снизилась. В настоящее время в России насчитывается 30 000 км дорог с основаниями или покрытиями из грунтов, укрепленных вяжущими [8]. В то время как общее протяжение автомобильных дорог в Российской Федерации по данным Росстата на 2018 г. составило 1 259 400 км, из них дорог с твердым покрытием – 1 076 000 км. А значит, доля дорог с грунтоцементным основанием или покрытием составляет всего 2 % от общей протяженности дорог или 2,8 % от дорог с твердым покрытием. И это притом, что стоимость строительства таких дорог значительно ниже стоимости дорог с дорожными одеждами, построенными по традиционным технологиям.

Рассмотрим проблемы, которые не позволили укрепленным грунтам в свое время занять достойное место среди строительных материалов предназначенных для устройства дорожных одежд.

Во-первых, следует сказать об отсутствии необходимых средств механизации процесса укрепления грунтов. Ни в СССР, ни в Российской Федерации в период конца XX – начала XXI вв. не было техники, позволяющей качественно выполнять работы по внесению вяжущих в грунт и их перемешиванию. Так, дозировка и распределение материалов, как правило, производилась вручную. Перемешивание же осуществлялось с помощью автогрейдеров или сельскохозяйственной техники. Отчего степень однородности полученных смесей оставляла желать лучшего. В отдельных случаях она составляла не более 50 %. Из-за чего вся дорожная конструкция не выдерживала требуемых нагрузок и намного раньше расчетного срока службы начинала разрушаться.

Еще одна серьезная проблема, которая в свое время негативно повлияла на распространение укрепленных грунтов в качестве слоев дорожной одежды – это их некоторые свойства. Дело в том, что особенностью дорожных одежд со слоями из укрепленного грунта является серьезное влияние объемных деформаций, не зависящих от нагрузок, таких как усадка при использовании неорганических вяжущих, набухание при увеличении влажности, температурное расширение (сжатие). В результате чего на поверхности укрепленных грунтов могут появляться трещины, которые затем передаются всем монолитным слоям дорожной одежды, включая асфальтобетон. Чтобы предотвратить образование отраженных трещин, требуются дополнительные мероприятия (увеличение толщины асфальтобетонных и других содержащих битум слоев, армирование основания и покрытия, устройство прослоек из несвязных грунтов и т.д.), что требует дополнительных материальных средств и снижает экономический эффект от использования данной технологии [13].

В-третьих, при строительстве большинства автомобильных дорог с применением укрепленных грунтов в нашей стране в качестве вяжущего применялся цемент. Грунтоцемент обладает отличными прочностными качествами, в чем значительно превосходит традиционные строительные материалы. Однако его хрупкость и высокая истираемость, в случае применения его в качестве покрытия, требует наличия защитного слоя. Исследования, проведенные в нашей стране, показали, что тонкослойный асфальтобетон на грунтоцементном основании не обладает достаточной трещиностойкостью и сдвигоустойчивостью на границе раздела слоев и не может применяться в качестве защитного слоя. Не держится на грунтоцементе и поверхностная обработка. В этом укрепленные цементом грунты во многом копируют свойства жестких оснований из бетона [9] или так называемого «тощего» укатываемого бетона [10].

Вот эти, перечисленные выше, недостатки укрепленных грунтов и привели к тому, что после достаточно активного использования укрепленных грунтов во второй половине прошлого века в нашей стране данная технология потеряла свою привлекательность.

Тем не менее, в последние годы по целому ряду причин интерес к использованию грунтов, укрепленных вяжущим, в качестве слоев дорожной одежды снова вырос.

Начнем с того, что появилась специальная техника, предназначенная для работы со слоями дорожной одежды непосредственно на стройплощадке, в том числе и для внесения вяжущего, и его перемешивания при укреплении грунтов – ресайклеры. Благодаря ресайклерам вопросы правильности дозирования вяжущего и перемешивания могут быть сняты с повестки дня. Полученные в результате работы данной машины укрепленные грунты отличаются высокой степенью однородности.

Стоит сказать, что проследить кинетику перехода одной структуры по плотности укрепленных грунтов во времени, которые определяются при помощи методов стандартного уплотнения, не представляется возможным. Так, в период времени от начала ввода воды в пескоцементную смесь до начала схватывания цемента плотность образцов, уплотненных на приборе стандартного уплотнения, снижается всего пол процента. Такой же результат мы получим и при анализе образцов, уплотненных в момент начала и конца схватывания цемента. А вот плотность суглинка, который укреплен 10 % цемента, постоянная. Она не зависит от времени уплотнения образцов с момента введения в смесь воды до конца схватывания цемента. Таким образом, метод стандартного уплотнения позволяет достичь одинаковую плотность образцов укрепленных грунтов как при формировании кристаллизационной структуры минерального вяжущего, так и в момент коагуляционной структуры. Этот факт не позволяет оперативно проследить переход коагуляционной структуры в конденсационную (кристаллизационную) анализируемых материалов с помощью данного метода, а значит, и их фактическую удобоукладываемость во времени, которая позволяет назначать класс катка по линейной нагрузке при определенной степени уплотнения. Чаще всего, в соответствии с технологическим регламентом, при выходе катка на основание из укрепленного грунта оптимальной влажности он «тонет» в смеси, а методов, оценивающих необходимую линейную нагрузку и время начала уплотнения, не существует [14].

И второй важный фактор, повлиявший на увеличения интереса к данной технологии, заключается в появлении большого количества новых материалов, позволяющих значительно улучшить характеристики грунтов, укрепленных вяжущими. На сегодняшний день разработано много различных добавок, существенно влияющих на свойства вяжущих и улучшающих структуру обработанных модификаторами грунтов. Сейчас наша промышленность представляет широкий ассортимент стабилизирующих добавок: битумополимерные композиции (БКП), полифилизаторы, полимерная добавка Nicoflok, полибонд, RjadCem, Акропол-ГСМ, АНТ и много других [11]. Благодаря таким добавкам можно значительно уменьшить водонасыщение укрепленных грунтов, увеличить их прочность на сжатие и на изгиб, усилить сопротивляемость трещинообразованию и колеобразованию, увеличить скорость набора прочности и т.д.

Кроме того, появились композитные материалы, такие как полимерная грунтовка Colzumix, позволяющие увеличить адгезию на границе слоев основание-покрытие. В результате чего появляется возможность устройства тонкослойных покрытий на основаниях из укрепленных грунтов. Выпускаются и новые тонкослойные битумополимерные и органические покрытия и слои износа, которые в состоянии эффективно работать с основаниями из укрепленных грунтов.

Иными словами, все те проблемы, что возникали у дорожников полвека назад при строительстве дорожных одежд, с применением укрепленных грунтов, в настоящее время имеют решения. И есть надежда, что в скором будущем данная технология получит широкое признание на всей территории Российской Федерации. Однако, для того чтобы это произошло нужно срочно обратить внимание на нормативную базу, регламентирующую данное направление в дорожном строительстве.

Дело в том, что существующие в настоящее время нормативные документы, касающиеся укрепленных грунтов, дают только общую информацию о грунтах и вяжущих материалах, применяемых для укрепления грунтов и технические требования к ним. Данных о конкретных добавках (модификаторах), которые значительно меняют физико-механические свойства материалов, в этих нормативах практически нет. Это в свою очередь не позволяет производить достоверный расчет дорожных одежд с учетом дополнительных свойств мате-

риалов, модифицированных добавками. И данное обстоятельство может серьезно затормозить применение данной технологии в строительстве автомобильных дорог.

Выводы

По мнению автора, необходимо создать общую нормативную базу, которая должна иметь четкую классификацию грунтов, вяжущих и добавок (модификаторов), содержала бы технические требования ко всем этим материалам. Могла бы представить полный перечень необходимых для расчетов характеристик различных комбинаций грунт-вяжущее-добавка (прочность при сжатии, прочность на изгиб, модуль упругости, плотность и т.д.). А также имела бы рекомендации по применению грунтовых смесей в тех или иных конкретных ситуациях и другие документы методического характера [17].

Устройство дорожных одежд со слоями из укрепленных грунтов с учетом появившихся новых материалов и специальной техники на сегодняшний день, вне всякого сомнения, является перспективным направлением в дорожном строительстве. Оно позволит без потерь качества значительно сократить затраты на строительство автомобильных дорог, особенно в регионах, испытывающих острый дефицит традиционных строительных материалов [20].

Появление новых материалов, предназначенных для укрепления грунтов, специальная техника, позволяющая качественно перемешивать укрепляемые слои и обеспечивающая точность дозировки вяжущих и добавок, позволили избавиться от проблем, замедливших темпы распространения данной технологии на территории России в 60-80 годах прошлого века. Сегодня использование укрепленных грунтов в качестве слоев основания и покрытий на автомобильных дорогах вновь стало актуальным.

Однако для дальнейшего распространения технологии укрепления грунтов необходимо создание нормативной базы, которая содержала бы классификацию укрепленных грунтов, технические требования к ним и используемым материалам, давала все необходимые для расчетов данные, а также включала в себя рекомендации по применению и другую методическую документацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов, М.М. Основы дорожного грунтоведения – М.: Гострансиздат, 1936. – 555 с.
2. Безрук, В.М. Основы стабилизации грунтов в дорожном строительстве – Москва: Дориздат, 1944. – 90 с.
3. Любимова, Т.Ю. О процессах структурообразования в грунтах, укрепленных цементом // Труды совещаний по теоретическим основам технической мелиорации грунтов. – М.: МГУ, 1961.
4. Бируля А.К., Ермакович Д.В. Механические свойства цементогрунта и использование его в конструктивных слоях дорожных одежд // Материалы к V совещанию по закреплению и укреплению грунтов. – Новосибирск, 1966.
5. Могилевич, В.М. Дорожные одежды из цементогрунта - М.: Транспорт, 1973. – 214 с.
6. Ребиндер, П.А. Придание грунтам водонепроницаемости и механической прочности – Л.: Академия наук СССР, 1942. – 267 с.
7. Линцер А.В. Основы индустриального применения укрепленных грунтов в дорожном строительстве: Дис... д-ра техн. наук. – Тюмень, 1983.
8. Фурсов, С.Г. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами // Обзорная информация. Автомобильные дороги и мосты. – М.: Информавтодор. - 2007. – Вып. 3.
9. Корочкин, А.В. Опыт устройства тонких асфальтобетонных слоев на цементобетонном основании // Строительные материалы. – 2010. - №10. – С. 54-56.
10. Корочкин, А.В. Опыт применения «тощего» бетона в конструкциях жестких и нежестких дорожных одежд // Строительные материалы. – 2018. - №7. – С. 20-30.
11. Клековкина М.П., Филиппова К.В. Инновационные материалы - добавки и стабилизаторы для укрепления грунтов // Техника. Технологии. Инженерия. - 2017. - №3(5). - С. 31-34.
12. Эргашев Б.О., Авалбаев Г.А., Бобомуратова С.Ю., Сагдуллаева С. Экологические проблемы промышленности строительных материалов // Транспортные сооружения: интернет-журнал – 2021. – №16(115). – С. 564-566.
13. Баранник А.Ю., Федорков В.И., Архипенко А.А. Технологии и результаты опытной эксплуатации в системе МЧС России мобильных дорожных покрытий на переувлажненных грунтах и болотах I, II типа. Технологии гражданской безопасности // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – №4(46). – С. 50-53.
14. Худайкулов Р.М., Мирзаев Т.Л. Применение стабилизаторов для улучшения прочности грунтового основания автомобильных дорог // Транспортные сооружения: интернет-журнал. – 2020. – №1.
15. Нормы и правила по стандартизации конструкций дорожных одежд: RStO 17. – Бонн, 2017. – 52 с.
16. Типовые конструкции нежесткой дорожной одежды для автомобильных дорог Государственной компании «АВТОДОР»: Каталог. – М.: Доринжсервис, 2018. – 130 с.
17. ОДМ 218.2.104-2019. Альбом типовых конструкций нежестких дорожных одежд в различных дорожно-климатических зонах. – М.: Росавтодор, 2020. – 56 с.
18. ГОСТ Р 59628-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Жесткие дорожные одежды. Типовые конструкции. – М.: Стандартинформ, 2021. – 100 с.
19. Кузнецова А.П. История дорожных одежд // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – №14. – С. 93-97.

20. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд; Введ. 01.01.01. – М.: Информавтотор, 2001. – 148 с.

Корочкин Андрей Владимирович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, 64

К.т.н., доцент кафедры «Изыскания и проектирование дорог»

E-mail: andrey_korochkin@mail.ru

A.V. KOROCHKIN

THE USE OF BINDER REINFORCED SOILS IN ROAD PAVEMENT DESIGN

Abstract. The article deals with the use of binder-strengthened soils as layers of road pavement. Particular attention is paid to the problems of application of this technology in modern road construction. The analysis of methodological researches of scientists has been carried out, on the basis of which the conclusion about the necessity of creating the regulatory framework devoted to the reinforced soils which must include the basic technical requirements, necessary data for calculations, recommendations for application and other methodical documentation has been made.

Keywords: strength, durability, concrete, pavement, cement, soil

BIBLIOGRAPHY

1. Filatov, M.M. Osnovy dorozhnogo gruntovedeniya - M.: Gostransizdat, 1936. - 555 с.
2. Bezruk, V.M. Osnovy stabilizatsii gruntov v dorozhnom stroitel'stve - Moskva: Dorizdat, 1944. - 90 s.
3. Lyubimova, T.Yu. O protsessakh strukturoobrazovaniya v gruntakh, ukreplennykh tsementom // Trudy soveshchaniy po teoreticheskim osnovam tekhnicheskoy melioratsii gruntov. - M.: MGU, 1961.
4. Birulya A.K., Ermakov D.V. Mekhanicheskie svoystva tsementogrunta i ispol'zovanie ego v konstruktivnykh sloyakh dorozhnykh odezhd // Materialy k V soveshchaniyu po zakreplenyu i ukreplenyu gruntov. - Novosibirsk, 1966.
5. Mogilevich, V.M. Dorozhnye odezhdyy iz tsementogrunta - M.: Transport, 1973. - 214 с.
6. Rebinder, P.A. Pridanie gruntam vodonepronitsaemosti i mekhanicheskoy prochnosti - L.: Akademiya nauk SSSR, 1942. - 267 s.
7. Lintser A.V. Osnovy industrial'nogo primeneniya ukreplennykh gruntov v dorozhnom stroitel'stve: Dis.... d-ra tekhn. nauk. - Tyumen', 1983.
8. Fursov, S.G. Stroitel'stvo konstruktivnykh sloev dorozhnykh odezhd iz gruntov, ukreplennykh vyazhushchimi materialami // Obzornaya informatsiya. Avtomobil'nye dorogi i mosty. - M.: Informavtodor. - 2007. - Vyp. 3.
9. Korochkin, A.V. Opyt ustroystva tonkikh asfal'tobetonnykh sloev na tsementobetonnom osnovanii // Stroitel'nye materialy. - 2010. - №10. - S. 54-56.
10. Korochkin, A.V. Opyt primeneniya «toshchego» betona v konstruktsiyakh zhestkikh i nezhestkikh dorozhnykh odezhd // Stroitel'nye materialy. - 2018. - №7. - S. 20-30.
11. Klekovkina M.P., Filippova K.V. Innovatsionnye materialy - dobavki i stabilizatory dlya ukrepleniya gruntov // Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya. - 2017. - №3(5). - S. 31-34.
12. Ergashev B.O., Avalbaev G.A., Bobomuratova S.Yu., Sagdullaeva S. Ekologicheskie problemy promyshlennosti stroitel'nykh materialov // Transportnye sooruzheniya: internet-zhurnal - 2021. - №16(115). - S. 564-566.
13. Barannik A.Yu., Fedorkov V.I., Arkhipenko A.A. Tekhnologii i rezul'taty opytной ekspluatatsii v sisteme MCHS Rossii mobil'nykh dorozhnykh pokrytiy na pereuvlazhnykh gruntakh i bolotakh I, II tipa. Tekhnologii grahdanskoy bezopasnosti // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. - 2015. - №4(46). - S. 50-53.
14. Hudaykulov R.M., Mirzaev T.L. Primenenie stabilizatorov dlya uluchsheniya prochnosti gruntovogo osnovaniya avtomobil'nykh dorog // Transportnye sooruzheniya: internet-zhurnal. - 2020. - №1.
15. Normy i pravila po standartizatsii konstruktsiy dorozhnykh odezhd: RStO 17. - Bonn, 2017. - 52 s.
16. Tipovye konstruktsii nezhestkoy dorozhnoy odezhdyy dlya avtomobil'nykh dorog Gosudarstvennoy kompanii «AVTODOR»: Katalog. - M.: Dorinzhservis, 2018. - 130 s.
17. ODM 218.2.104-2019. Al'bom tipovykh konstruktsiy nezhestkikh dorozhnykh odezhd v razlichnykh dorozhno-klimaticheskikh zonakh. - M.: Rosavtodor, 2020. - 56 s.
18. GOST R 59628-2021. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Zhestkie dorozhnye odezhdyy. Tipovye konstruktsii. - M.: Standartinform, 2021. - 100 s.
19. Kuznetsova A.P. Istoriya dorozhnykh odezhd // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog. - 2015. - №14. - S. 93-97.
20. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd; Vved. 01.01.01. - M.: Informavtodor, 2001. - 148 s.

Korochkin Andrey Vladimirovich

Moscow Automobile and Road State Technical University

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Candidat of technical sciences

E-mail: andrey_korochkin@mail.ru

Научная статья

УДК 62-144

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-107-112

М.Ю. ЕЛАГИН, Р.Н. ХМЕЛЕВ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. Получены зависимости изменения экологических показателей дизеля от режимных параметров. Исследования проведены на примере дизеля ТМЗ-450Д. Приведены примеры расчетов. Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение экологических показателей дизельного двигателя с целью нахождения возможных путей по их улучшению.

Ключевые слова: дизельный двигатель, экологические показатели, выбросы вредных веществ, прогнозирование

Введение

Одной из важнейших задач современного двигателестроения является повышение экологических показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС) [1-4]. К таким показателям, в первую очередь, относятся выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Несмотря на большое количество работ [5-15], посвященных исследованию выбросов вредных веществ, по-прежнему, актуальным является прогнозирование изменения экологических показателей ПДВС в зависимости от режимных параметров двигателя с целью нахождения возможных путей по их улучшению. В этой связи чрезвычайно важным является непрерывное совершенствование процесса проектирования с точки зрения качества проектных решений, а также минимизации материальных и временных затрат. При этом разработка эффективных методов прогнозирования экологических показателей ПДВС представляет собой одну из важнейших задач.

Целью данной работы является получение аппроксимационных зависимостей изменения выбросов вредных веществ в отработавших газах в функции от режимных параметров (на примере дизеля ТМЗ-450Д). Полученные зависимости могут быть положены в основу методики прогнозирования концентрации CO и NO_x в отработавших газах.

Материал и методы

Для решения поставленной задачи в данной работе используются теоретико-экспериментальные методы, базирующиеся на термодинамике открытых систем [16], математической статистике и экспериментальных данных АО «АК «Туламашзавод» по выбросам вредных веществ и режимным параметрам дизеля ТМЗ-450Д.

На основе массива экспериментальных данных, приведенных в таблице 1, были получены аппроксимационные зависимости концентраций CO и NO_x, для прогнозирования их изменения в зависимости от режимных параметров, что проиллюстрировано примерами расчетов.

Таблица 1 - Экспериментальные данные АО «АК Туламашзавод» по выбросам вредных веществ и режимным параметрам дизеля ТМЗ-450Д

№ п/п	n , об/мин	M_e , Н·м	N_e , кВт	G_T , кг/ч	α	$\varphi_{впр}$, град	C_{CO} , ppm	C_{NO_x} , ppm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3600	8,9	3,53	1,18	2,641	19,9	667,47	436,14
2	3600	11,1	4,24	1,32	2,360	19,9	563,55	558,96
3	3600	13	5,01	1,46	2,133	19,9	483,11	639,96
4	3600	14,9	5,74	1,61	1,935	19,9	497,06	686,26
5	3600	16,8	6,59	1,78	1,750	19,9	609,83	725,54
6	3600	19	7,35	1,98	1,573	19,9	819,81	757,73
7	3600	20	8,15	2,1	1,483	19,9	1183,80	739,23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	3200	7	2,42	0,87	3,205	16,1	633,49	498,95
9	3200	9	3,13	1,01	2,761	16,1	569,56	583,28
10	3200	10,9	3,78	1,12	2,489	16,1	467,93	703,19
11	3200	13	4,52	1,26	2,213	16,1	389,80	805,08
12	3200	15,1	5,22	1,38	2,020	16,1	341,97	921,15
13	3200	17	5,89	1,53	1,822	16,1	391,33	923,34
14	3200	19	6,57	1,69	1,650	16,1	523,61	941,27
15	3200	21,1	7,32	1,86	1,499	16,1	634,90	945,17
16	2800	5	1,51	0,64	3,833	12,3	754,48	495,84
17	2800	7	2,12	0,74	3,315	12,3	700,28	576,51
18	2800	9	2,73	0,85	2,886	12,3	558,99	734,62
19	2800	11	3,34	0,96	2,555	12,3	428,74	907,66
20	2800	12,9	3,9	1,07	2,293	12,3	366,97	1048,77
21	2800	15	4,54	1,19	2,061	12,3	339,21	1149,89
22	2800	17,1	5,18	1,32	1,858	12,3	332,37	1244,93
23	2800	18,9	5,75	1,45	1,692	12,3	372,75	1312,66
24	2800	21,1	6,4	1,59	1,543	12,3	561,90	1324,61
25	2800	22,8	6,91	1,74	1,410	12,3	1274,78	1328,63
26	2400	4,9	1,28	0,52	4,117	8,5	971,78	565,94
27	2400	7,1	1,85	0,62	3,453	8,5	991,13	664,74
28	2400	8,9	2,32	0,71	3,015	8,5	712,04	841,49
29	2400	10,9	2,84	0,81	2,643	8,5	512,24	1017,07
30	2400	13	3,39	0,89	2,405	8,5	368,36	1156,17
31	2400	15	3,9	1,01	2,119	8,5	313,86	1281,37
32	2400	17	4,42	1,11	1,928	8,5	331,92	1380,97
33	2400	19	4,94	1,23	1,740	8,5	476,87	1464,83
34	2400	21,1	5,48	1,35	1,585	8,5	1088,91	1471,54
35	2400	23,3	6,06	1,52	1,408	8,5	2302,76	1417,17
36	2000	4,9	1,06	0,43	4,148	4,6	1285,67	527,37
37	2000	9,9	2,16	0,63	2,831	4,6	535,05	1066,48
38	2000	14	3,03	0,81	2,202	4,6	353,45	1365,89
39	2000	18	3,9	0,99	1,802	4,6	541,36	1527,65
40	2000	24,2	5,26	1,43	1,247	4,6	2991,59	1184,48

В таблице используются следующие условные обозначения: n – частота вращения коленчатого вала; M_e – эффективный крутящий момент; N_e – эффективная мощность; G_T – часовой расход топлива; α – коэффициент избытка воздуха; $\varphi_{впр}$ – угол опережения впрыска топлива, C_{CO} , C_{NOx} – концентрации CO и NOx в отработавших газах.

Теория / Расчет

Предлагаемый подход позволит получить аппроксимационные зависимости других, не менее важных, экологических показателей дизельного двигателя.

В результате обработки экспериментальных данных, приведенных в таблице, методом множественной регрессии были получены следующие аппроксимационные зависимости концентраций C_{CO} и C_{NOx} в отработавших газах.

$$C_{NOx} = 174,106 + 0,17095 \cdot n + 697,44 \cdot N_e - 3050,0 \cdot G_o^{1,15} + 2172,3 \cdot \frac{1}{\alpha}. \quad (1)$$

Для зависимости (1) получены следующие значения статистических критериев:
- критерий Фишера $F = 184,0443$;

- множественная корреляция 0,97704;
- средняя относительная погрешность 6,5 %.

$$C_{CO} = 693,5181 + 0,31438 \cdot n - 417,06 \cdot N_e + 21,045 \cdot G_o^{4,55} + 8972,9 \cdot \frac{1}{\alpha^{3,75}} \quad (2)$$

Для зависимости (2) получены следующие значения статистических критериев:

- критерий Фишера $F = 60,8818$;
- множественная корреляция 0,93506;
- средняя относительная погрешность 18,3 %.

Полученные зависимости использовались в динамической модели [17-21] дизеля для прогнозирования изменения концентраций C_{CO} и C_{NOx} в отработавших газах. Динамическая модель разработана на базе термодинамики открытых систем [16, 21] и обеспечивает анализ функционирования ПДВС во времени как единой динамической системы и исследование его экологических показателей. Предлагаемый подход основан на иерархической системе моделей ПДВС [18, 19, 21], обеспечивающих рациональное сочетание сложности и полноты описания взаимосвязанных механических, термодинамических, газодинамических и гидродинамических процессов, с возможностью выбора моделей требуемого уровня сложности.

На рисунке 1 в виде линий равного уровня приведены полученные значения концентраций NO_x и CO в отработавших газах на различных режимах работы двигателя ТМЗ-450Д.

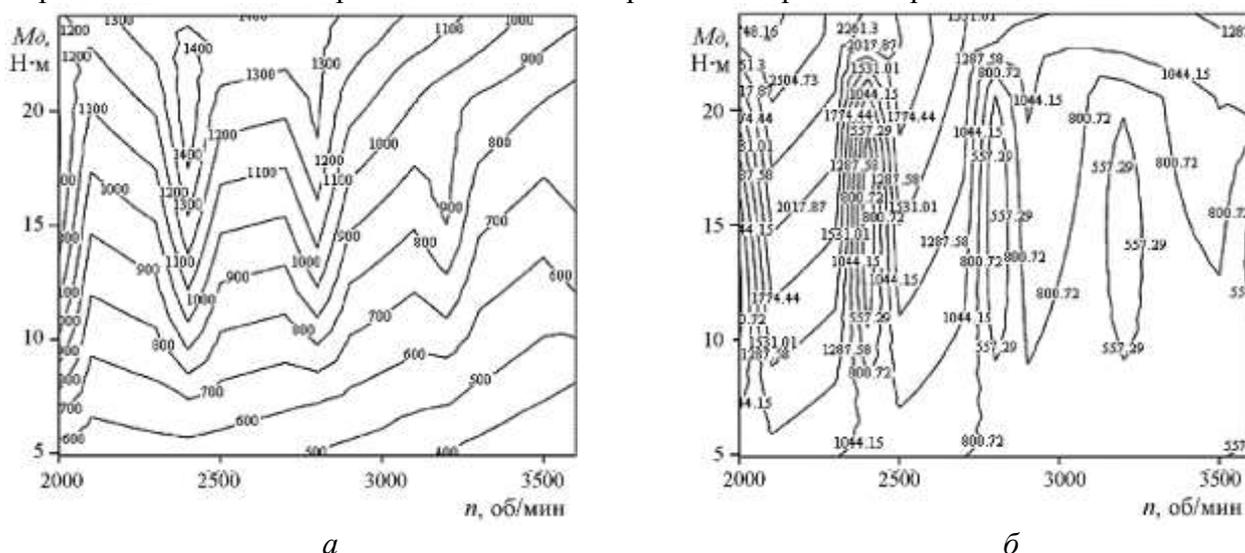
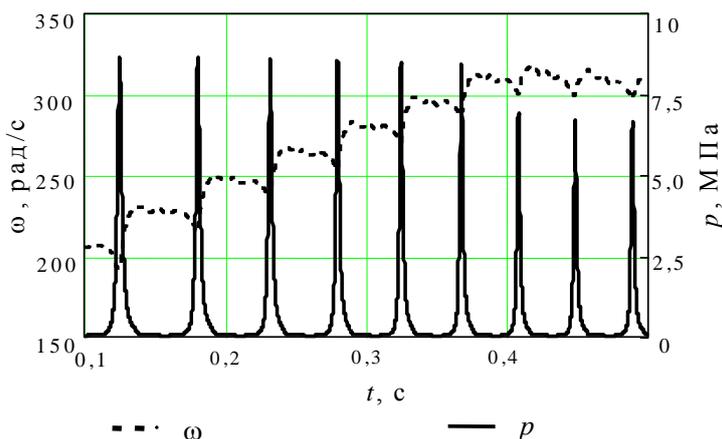


Рисунок 1 – Значения концентраций NO_x (а) и CO (б) в отработавших газах при различных режимах работы двигателя

На рисунке 2 приведены графики изменения угловой скорости (ω), давления в цилиндре (p) и экологических показателей (C_{NOx} , C_{CO}) при разгоне двигателя ТМЗ-450Д и увеличении нагрузки в неустановившемся режиме.



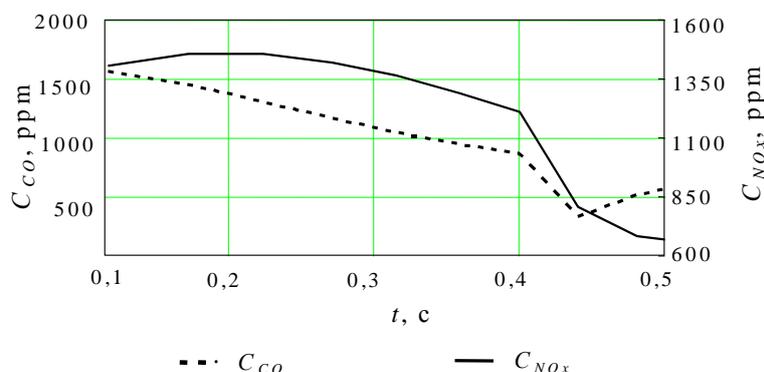


Рисунок 2 – Изменение показателей работы дизеля ТМЗ-450Д на переходном режиме

Результаты и обсуждение

Зависимости (1) и (2) использовались в динамической модели дизеля ТМЗ-450Д для установления закономерностей влияния конструктивных и эксплуатационных параметров дизеля на его энергетические и экологические показатели.

Выводы

Полученные зависимости позволяют спрогнозировать выбросы C_{CO} и C_{NOx} при различных условиях эксплуатации дизельного двигателя и наметить пути к их уменьшению.

Аналогичные зависимости могут быть получены и для других экологических показателей дизельного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
2. Козлов А.В. Теоретические основы оценки показателей силовых установок автомобилей в полном жизненном цикле: Дис. ... д-ра. техн. наук / М.: 2004. - 426 с.
3. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей: монография [Текст] / В.А. Марков, Р.М. Баширов, И.И. Габитов. - М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 376 с.
4. Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: учеб. для вузов - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 720 с.
5. Кавтарадзе Р.З. Исследование влияния конструктивных и регулировочных параметров на образование оксидов азота в газовом двигателе с использованием трехмерной модели рабочего процесса // Материалы международной конференции Двигатель – 2007, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2007. - С. 145-149.
6. Корнилов Г.С. Теоретическое и экспериментальное обоснование способов улучшения экологических показателей и топливной экономичности автомобильных дизелей: Дис... д-ра. техн. наук. - М.: МГТУ (МАМИ), 2005. - 439 с.
7. Лашко В.А., Тимошенко Д.В. Проблемные вопросы экологической безопасности поршневых двигателей // Материалы МНТК «Двигатели 2008» Актуальные проблемы развития и эксплуатации поршневых двигателей в транспортном комплексе Азиатско-Тихоокеанского региона. - Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2008. - С. 169 - 176.
8. Салмин В.В. Применение вероятностно-статистических методов для определения основных показателей автотракторных ДВС // Двигателестроение. - 2004. - № . - С. 9-11.
9. Чесноков С.А. Химический турбулентный теплообмен в двигателях внутреннего сгорания: монография - Тула: ТулГУ. - 2-е изд. перераб. и доп., 2009. - 500 с.
10. Носырев Д.Я., Скачкова Е.А. Влияние режимов работы дизеля на выбросы вредных веществ // Техносферная безопасность: Материалы седьмой Всероссийской научно-практической конференции. Е. И. Богуславский (отв. редактор). - 2002. - С. 210-214.
11. Гумеров И.Ф., Валеев Д.Х., Куликов А.С., Хафизов Р.Х., Борисенков Е.Р., Гатауллин Н.А. Опыт создания стенда для исследования экологических показателей двигателей // Двигателестроение. - 2015. - №3(261). - С. 26-30.
12. Казакова В.А., Шинкевич В.А., Филиппова Е.М., Ивлева И.Б. Порядок и контроль выбросов отработавших газов дизелей на новом уровне // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. - 2018. - №4. - С. 34-39.
13. Гузей Д.В., Пантелеев В.И., Минаков А.В., Жигарев В.А. Расчетное исследование влияния характеристик топливных форсунок на экологические параметры дизель-генератора // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. - 2021. - Т. 14. - №6. - С. 667-683.
14. Ларцев А.М., Васильев А.В. Экспериментальное исследование влияния регулировочных парамет-

ров на экономические и экологические показатели тракторного дизеля воздушного охлаждения // Справочник. Инженерный журнал с приложением. - 2015. - №8(221). - С. 37-42.

15. Марков В.А., Шлёнов М.И., Полухин Е.Е. Влияние формы внешней скоростной характеристики на токсичность отработавших газов дизеля в переходных процессах // Двигатель – 2007: Материалы международной конференции, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2007. - С. 113-118, 329-334.

16. Елагин М.Ю. Термодинамика открытых систем – Тула: ТулГУ, 2013. - 400 с.

17. Платонов К.Ю., Павлов Д.В., Хмелев Р.Н. Динамическая модель быстроходного дизеля с воздушным охлаждением: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020661037. - №2020660170; Заявл. 07.09.20. - 2020.

18. Хмелев Р.Н., Тишин С.А. Использование динамических моделей для исследования экологических показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания // 56-я Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием: Сборник докладов в двух частях. - Часть 2. - 2020. - С. 164-169.

19. Маливанов М.В., Хмелев Р.Н. Иерархическая система моделей ДВС // Двигатель – 2007: Материалы международной конференции, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2007. - С. 113-118.

20. Попов И.В., Толмачев П.В., Хмелев Р.Н. Виртуальный стенд для снятия статических и динамических характеристики двигателей внутреннего сгорания // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2016. - №3. - Тула: ТулГУ. - С. 164-170.

21. Agureev, I.E., Elagin, M.Y., Khmelev, R.N., Platonov, K.Y., Pyshnyi, V.A. Using experience of the dynamic models of piston internal combustion engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. - 786(1). – 012080.

Елагин Михаил Юрьевич

Тульский государственный университет

Адрес: 300002, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92

Д.т.н., проф. кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»

E-mail: elaginmy@rambler.ru

Хмелев Роман Николаевич

Тульский государственный университет

Адрес: 300002, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92

Д.т.н., проф. кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»

E-mail: aiah@yandex.ru

M.Y. ELAGIN, R.N. KHMELEV

FORECASTING CHANGES IN THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE

Abstract. *In the article, on the basis of experimental data, the dependences of changes in the environmental indicators of diesel on the operating parameters are obtained. The research was carried out on the example of the TMZ-450D diesel engine. Concentrations of CO and NOx in exhaust gases were considered as environmental indicators. Examples of calculations are given. The results obtained make it possible to predict changes in the environmental performance of a diesel engine in order to find possible ways to improve them.*

Keywords: *diesel engine, environmental indicators, emissions of harmful substances, forecasting*

BIBLIOGRAPHY

1. Zvonov V.A. Toksichnost` dvigateley vnutrennego sgoraniya - M.: Mashinostroenie, 1981. - 160 s.
2. Kozlov A.V. Teoreticheskie osnovy otsenki pokazateley silovykh ustanovok avtomobiley v polnom zhiznennom tsikle: Dis. ... dokt. tekhn. nauk / M.: 2004. - 426 s.
3. Markov V.A. Toksichnost` otrabotavshikh gazov dizeley: monografiya [Tekst] / V.A. Markov, R.M. Bashirov, I.I. Gabitov. - M: MGTU im. N.E. Bauman, 2002. - 376 s.
4. Kavtaradze, R.Z. Teoriya porshnevnykh dvigateley. Spetsial' nye glavy: ucheb. dlya vuzov - M.: MGTU im. N.E. Bauman, 2008. - 720 s.
5. Kavtaradze R.Z. Issledovanie vliyaniya konstruktivnykh i regulirovochnykh parametrov na obrazovanie oksidov azota v gazovom dvigatele s ispol'zovaniem trekhmernoy modeli rabocheho protsessa // Materialy mezhd-

- narodnoy konferentsii Dvigatel` - 2007, posvyashchenoy 100-letiyu shkoly dvigatelestroeniya MGTU im. N.E. Baumana. - M.: MGTU im. N.E. Baumana. - 2007. - С. 145-149.
6. Kornilov G.S. Teoreticheskoe i eksperimental'noe obosnovanie sposobov uluchsheniya ekologicheskikh pokazateley i toplivnoy ekonomichnosti avtomobil'nykh dizeley: Dis... dokt. tekhn. nauk. - M.: MGTU (MAMI), 2005. - 439 s.
7. Lashko V.A., Timoshenko D.V. Problemnnye voprosy ekologicheskoy bezopasnosti porshnevnykh dvigateley // Materialy MNTK «Dvigateli 2008» Aktual'nye problemy razvitiya i ekspluatatsii porshnevnykh dvigateley v transportnom komplekse Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. - Habarovsk: Tikhookean. gos. un-t, 2008. - S. 169 - 176.
8. Salmin V.V. Primenenie veroyatnostno-statisticheskikh metodov dlya opredeleniya osnovnykh pokazateley avtotraktornykh DVS // Dvigatelestroenie. - 2004. - № . - S. 9-11.
9. Chesnokov S.A. Himicheskii turbulentnyy teplomassobmen v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya: monografiya - Tula: TulGU. - 2-e izd. pererab. i dop., 2009. - 500 s.
10. Nosyrev D.YA., Skachkova E.A. Vliyanie rezhimov raboty dizelya na vybrosy vrednykh veshchestv // Tekhnosfernaya bezopasnost': Materialy sed'moy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. E. I. Boguslavskiy (otv. redaktor). - 2002. - S. 210-214.
11. Gumerov I.F., Valeev D.H., Kulikov A.S., Hafizov R.H., Borisenkov E.R., Gataullin N.A. Opyt sozdaniya stenda dlya issledovaniya ekologicheskikh pokazateley dvigateley // Dvigatelestroenie. - 2015. - №3(261). - S. 26-30.
12. Kazakova V.A., Shinkevich V.A., Filippova E.M., Ivleva I.B. Poryadok i kontrol' vybrosov otrabo-tavshikh gazov dizeley na novom urovne // Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. - 2018. - №4. - S. 34-39.
13. Guzey D.V., Panteleev V.I., Minakov A.V., Zhigarev V.A. Raschetnoe issledovanie vliyaniya kharakteristik toplivnykh forsunok na ekologicheskies parametry dizel'-generatora // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. - 2021. - T. 14. - №6. - S. 667-683.
14. Lartsev A.M., Vasil'ev A.V. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya regulirovochnykh parametrov na ekonomicheskies i ekologicheskies pokazateli traktornogo dizelya vozdušnogo okhlazhdeniya // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem. - 2015. - №8(221). - S. 37-42.
15. Markov V.A., Shlionov M.I., Polukhin E.E. Vliyanie formy vneshney skorostnoy kharakteristiki na toksichnost' otrabotavshikh gazov dizelya v perekhodnykh protsessakh // Dvigatel` - 2007: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchenoy 100-letiyu shkoly dvigatelestroeniya MGTU im. N.E. Baumana. - M.: MGTU im. N.E. Baumana. - 2007. - С. 113-118, 329-334.
16. Elagin M.Yu. Termodinamika otkrytykh sistem - Tula: TulGU, 2013. - 400 s.
17. Platonov K.Yu., Pavlov D.V., Hmelev R.N. Dinamicheskaya model' bystrokhodnogo dizelya s vozdušnym okhlazhdeniem: Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM 2020661037. - №2020660170; Zayavl. 07.09.20. - 2020.
18. Hmelev R.N., Tishin S.A. Ispol'zovanie dinamicheskikh modeley dlya issledovaniya ekologicheskikh pokazateley porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya // 56-ya Nauchno-prakticheskaya konferentsiya profesorskogo-prepodavatel'skogo sostava TulGU s vs Rossiyskim uchastiem: Sbornik dokladov. V dvukh chastyakh. - Chast' 2. - 2020. - S. 164-169.
19. Maliovanov M.V., Hmelev R.N. Ierarkhicheskaya sistema modeley DVS // Dvigatel` - 2007: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchenoy 100-letiyu shkoly dvigatelestroeniya MGTU im. N.E. Baumana. - M.: MGTU im. N.E. Baumana. - 2007. - S. 113-118.
20. Popov I.V., Tolmachev P.V., Hmelev R.N. Virtual'nyy stend dlya snyatiya staticheskikh i dinamicheskikh kharakteristik dvigateley vnutrennego sgoraniya // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskies nauki. - 2016. - №3. - Tula: TulGU. - S. 164-170.
21. Agureev, I.E., Elagin, M.Y., Khmelev, R.N., Platonov, K.Y., Pyshnyi, V.A. Using experience of the dynamic models of piston internal combustion engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - 786(1). - 012080.

Elagin Mikhail Yurievich

Tula State University
Address: 300002, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Doctor of technical sciences
E-mail: elaginmy@rambler.ru

Khmelev Roman Nikolaevich

Tula State University
Address: 300002, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Doctor of technical sciences
E-mail: hrn@yandex.ru

Научная статья
 УДК 656.137
 doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-113-118

М.Ю. КАРЕЛИНА, М.О. ВОРОНЦОВА

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТС ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АЭРОПОРТУ

Аннотация. Проводится подробный анализ качества атмосферного воздуха в Москве. Рассмотрены основные способы контроля качества воздуха на территории города. Проанализированы возможные причины данных результатов и выявлены основные показатели, которые повлияли на качество атмосферного воздуха в определенном районе. Проанализирована возможность улучшения качества отработавших газов (ОГ) автотранспортных средств, эксплуатирующиеся в аэропорту. Началом расчета было принято взять расчет категории опасности автомобиля и сравнения их с действующими и соответствующими стандартами ЕВРО. Актуальность исследования заключается в улучшении экологии города, которая является важным фактором здоровья и качества жизни населения.

Ключевые слова: экология, НТТС, городская агломерация, качество отработавших газов, ЕВРО

Введение

Качество атмосферного воздуха в городских агломерациях достаточно важный вопрос. Как показывает анализ литературы, наибольшее влияние на загрязнение воздуха в городе Москве выпадает именно на передвижные источники, что подтверждает большое количество ГОСТ и стандартов именно для транспортных средств. Несмотря на то, что в целом в Москве достаточно неплохая ситуация, благодаря розе ветров, остаются районы наиболее подверженные загрязнению [1]. В данной работе проводится анализ и обоснование для исследования, а также приводится пример расчета для улучшения экологической ситуации.

Материал и методы

В основе исследования лежат экологические исследования из государственных и частных источников, которые и позволили выделить определенный район и необходимость анализа причин его повышенной загрязненности. Причинами выступили находящиеся в непосредственной близости: шоссе, завод и аэропорт [2]. В рамках исследования было принято решение об анализе наземных транспортно-технологических средств (НТТС), эксплуатирующихся в аэропортах. В источниках рассматриваются различные статистические методы, которые являются дополнением к раскрытию вопроса, к примеру метод кумулятивных сумм и расчеты абсолютной погрешности при замерах и проведении ремонтов [3]. Как вводные данные и обоснование для исследования, была взята категория опасности автомобиля, как потенциальный расчет, который в дальнейшем поможет выявить отклонения от нормы и привести эксплуатируемые транспортные средства (ТС) к стандартам ЕВРО [4-6].

В рамках взаимодействия систем аэропорта и города, согласно стандартам, регламентируются выбросы следующих показателей: СО (оксид углерода), СН (углеводород), NOx (оксиды азота), твердых частиц, SO₂ (диоксида серы) [7-9].

К примеру, пробег автомобиля в значительной степени влияет на экологическую безопасность автомобиля [11, 12]. В ряде работ разрабатываются методы интегральной оценки уровня экологической опасности автомобиля с точки зрения технического состояния и совершенства автомобиля. Методика интегральной оценки опасности вредных веществ (ВВ) в ОГ любого автомобиля, через категорию опасности автомобиля (КОА) и критерия экологической опасности автомобиля (Ка) [10]:

$$КОА = \sum_1^m КОВ = \sum_1^m \left(\frac{M_i}{ПДК_i} \right)^{\alpha_i}, \quad (1)$$

где КОВ – категория опасности i-ой примеси м³/с;

M_i – количество выбросов i-ой примеси г/с;

ПДК – максимально-разовая предельно допустимая концентрация, г/м³;

α_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i-го вещества с вредностью диоксида серы (III класс опасности);

$$K_a = \text{КОА} / \text{КОА}_{\text{ЕВРО}}, \quad (2)$$

где КОА – категория опасности исследуемого автомобиля, м³/с;

КОА_{ЕВРО} – категория опасности автомобиля, удовлетворяющего самым жестким действующим нормам на выбросы, м³/с.

Теория / Расчет

В Москве создана и функционирует современная система мониторинга качества атмосферного воздуха. Всего в состав города входят 12 административных округов и на них приходится 49 станций автоматического мониторинга [13]. Основные показатели, по которым идет проверка представлены на рисунке 1.

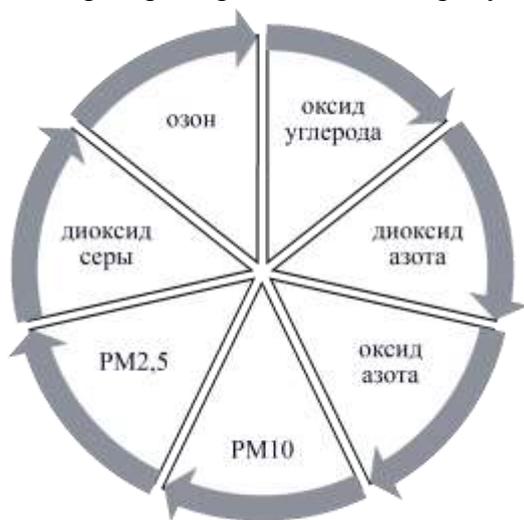


Рисунок 1 - Основные компоненты

На всей территории города отмечается сильная пространственная изменчивость основных показателей, на которую влияет множество факторов, от количества зеленых насаждений, до загруженности автомагистралей. Состояние загрязнения воздушного бассейна города зависит не только от количества выбросов загрязняющих веществ и их химического состава, но и от климатических условий, определяющих перенос, рассеивание и превращение выбрасываемых веществ.

Говоря о Москве, то содержание оксида углерода в жилых районах ниже на 1,8 раз, NOx – в 1,4 раза, PM10 и PM2,5 – в 1,2 раза, по сравнению с территориями, находящимися вблизи автомагистралей. А вот показатель диоксида серы стабилен и не коррелирует с местоположением. Обращая внимание

на уровень озона, на территории города, то ожидаемое наивысшие значения отмечены в селитебных зонах, а минимальные около автомобильных магистралей.

Руководствуясь докладом «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2020 году», можно сделать вывод, что в целом, по сравнению с 2011 года в целом по городу концентрации CO и NOx снизились в 2,1 раз, SO2 в 1,4 раза, а мелкие взвешенные частицы PM10 в 1,5 раза. Содержание мелких взвешенных частиц PM2,5 с 2013 года снизилось в 1,5 раз. O3, PM2,5) в 2020 году по сравнению с 2019 годом отмечается положительная динамика по снижению уровню загрязнения атмосферного воздуха. Этому способствовало ряд причин, начиная от сокращения потребления электричества и заканчивая сокращением транспортных потоков, вызванных удаленным режимом работы большинства компаний [14-16].

Говоря о периоде режима самоизоляции и удаленной работы компаний, концентрации веществ, загрязняющих воздух были ниже, чем в 2019 году, к примеру, оксид углерода – в 1,5 раза, диоксид серы – в 1,1 раза, диоксид азота – в 1,7 раза.

Нам бы хотелось также больше внимания уделить веществам PM2,5 и PM10, так как вынесли мы их отдельно и не стали объединять под один класс. Взвешенные частицы представляют собой широко распространенный загрязнитель атмосферного воздуха, включающий смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии.

Показатели PM оказывают влияние на здоровье человека, а различия по цифрам – размеры частиц. Далее рассмотрим этот вопрос более подробно. Массовая концентрация частиц с диаметром менее 10 мкм – PM10, а с диаметром менее 2,5 мкм – PM2,5, их еще называют мелкодисперсными взвешенными частицами.

Эти частицы, в частности те, которые обладают диаметром от 0,1 мкм до 1 мкм могут находиться в воздухе в течении нескольких недель и подвергаться переносу. Наиболее распространенные химические компоненты PM, представлены на рисунке 2.

Из-за такого химического состава частицы РМ начинают включать в себя аллергены и микроорганизмы.

Говоря о том, как эти частицы попадают в атмосферный воздух, тут есть два пути: они могут выбрасываться, если являются первичными или непосредственно, образовываясь в атмосфере, из различных газообразных прекурсоров (аммиак, двуокись серы и тд).

Важно отметить, что РМ могут быть произведены не только от искусственных носителей, но и из природных. К антропогенным источникам можно отнести ДВС, твердые виды топлива и многое другое.

Частицы РМ представляют угрозу здоровью человека не только совместно с другими элементами, но и в чистом виде. Представляя собой более 50 % всех взвешенных частиц. Наибольшую опасность они представляют из-за того, что способны оседать в легких человека.

Несмотря на общую благоприятную экологию города, было принято решение более подробно рассмотреть экологию по отдельным районам, в частности, заинтересовал район «Молжаниновский». Исходя из интерактивной карты EcoStandard group на качество атмосферного воздуха данного района влияет сразу несколько негативных факторов, а именно:

- высокая загруженность шоссе;
- малая площадь зеленых насаждений;
- влияние объектов негативного воздействия [17].

Под влиянием объектов негативного воздействия выступают: завод по производству асфальта и аэропорт.

Как объект исследования был выбран именно аэропорт, так как на его территории эксплуатируются множество наземных транспортно-технологических средств.

В зоне и окрестностях аэропорта качество атмосферного воздуха ухудшается из-за выбросов отработавших газов от автотранспорта. На территории аэропорта эксплуатируются бензиновые и дизельные НТТС [18]. При расчете уровня загрязнений необходимо обратить внимание на такие факторы как режим работы двигателей и перемещение источников, которые напрямую влияют на образование и распространение веществ.

Нужно также учитывать, что выбросы при хранении и заправке топлив рассчитываются отдельно от стационарных источников.

В рамках анализа и подтверждения вышеприведённых формул были взяты результаты замеров автомобиля FIAT Croma 2009 года выпуска, как обоснование к рациональному началу исследования, по данным которых можно будет строить дальнейшие математические модели и исследования. Замеры были сделаны на пробеге 120 000 км, 130 000 км и 140 000 км, данные представлены в таблице 1 и стандарты ЕВРО в таблице 2.

Таблица 1 – Замеры CO, CH

Номер замера	Категория опасности веществ				Категория опасности автомобиля	
	CO		CH			
	м/с	%	м/с	%	м/с	%
1	0,23	76,67	0,07	23,33	0,3	100
2	0,31	70,45	0,13	29,55	0,44	100
3	0,42	68,85	0,19	31,15	0,61	100

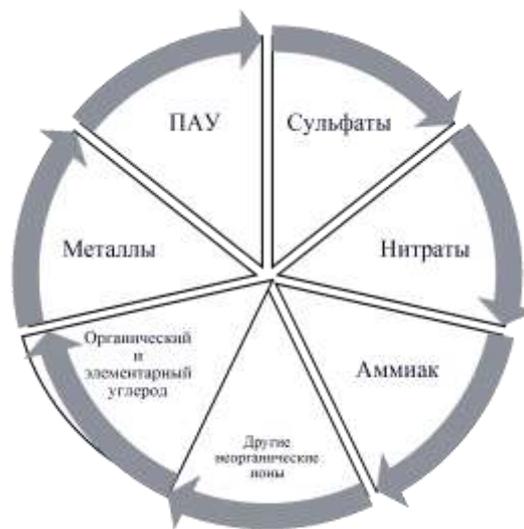


Рисунок 2 – Наиболее распространенные химические компоненты РМ

Таблица 2 – Нормы выбросов для дизельного двигателя

Нормы предельной токсичности ОГ для дизельного двигателя, г/км		
	СО	СН
Евро 3	0,64	0,56
Евро 4	0,5	0,3
Евро 5	0,5	0,23

Руководствуясь расчетами и стандартами ЕВРО, можно сделать вывод что при всех замерах автомобиль соответствовал стандартам ЕВРО. Подтвердилось и то, что с увеличением пробега увеличивается и содержание выбросов. Выбранный автомобиль соответствует стандартам ЕВРО-4, а значит, Ка для всех замеров соответствует границам нормы, более подробные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчеты критерия экологической опасности автомобиля

Номер замера	Ка	
	СО	СН
1	0,46	0,23
2	0,62	0,43
3	0,84	0,63

Результаты и обсуждение

Исходя из проведенных исследований видно, что экологическая обстановка в Москве оставляет возможность для дальнейшего изучения. В частности, речь идет о территориях и районах, находящихся вблизи аэропортов. Кроме высокого уровня шума в таких районах повышается уровень загрязнения воздуха, что в свою очередь требует дополнительного анализа. В рамках исследований части эксплуатации автомобильного транспорта себя прекрасно зарекомендовали статистические методы, такие как метод кумулятивных сумм и метод наименьших квадратов (НКМ) [19, 20], но для объективной и точной оценки необходимо также четко выделить данные для исследования. В данной работе было принято решение использование данных по критерию категории опасности автомобиля и сравнения их с действующими стандартами ЕВРО, что в свою очередь имеет хорошую практическую направленность и может служить дополнением к основным исследованиям.

Выводы

Подводя итоги работы, можно сделать вывод, что предложенный метод является дополнением к статистическим методам расчетов экологической безопасности НТТС, что дает возможность для дальнейшего изучения проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникина Е.В., Ерофеева В.В. Оценка качества атмосферного воздуха урбанизированных экосистем (на примере г. Москвы) // Проблемы региональной экологии. – 2021. - №2. – С. 87-91.
2. Смутникова Е.Г., Кудряшова Ю.С., Жевачевский И.М., Алексеев Д.А., Захарова П.В., Кравцова Е.С., Жалина О.Н., Лыжников О.Г., Емельянов П.В., Сидоренко С.Н., Видяпин В.В., Комарова Е.В., Лютиков А.С. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2020 году // Доклад. - 2021. – С. 330.
3. Воронцова М.О. Разработка методики анализа экологической безопасности НТТС на основании метода кумулятивных сумм // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. - №1(68). – С. 86-91.
4. Амирханов Р.Р., Ртищев Н.А., Терентьев А.В. О ежедневном обслуживании автомобиля, как обязательным условием продления ресурса автомобиля // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – №1-1. – С. 49-51.
5. Воронцова М.О., Птицын Д.А., Акулов А.А., Подгорный А.В. Оценка негодного влияния НТТС на атмосферный воздух в городе Санкт-Петербурге // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. - №4(67). – С. 17-25.
6. Ерицян Г.С., Хлопузан Р.Г. Об интегральном показателе оценки экологической безопасности автомобиля // Вестник Национального политехнического университета Армении. Механика, машиноведение, машиностроение. – 2017. – №2. – С. 62-69.

7. Трофименко Ю.В., Чижова В.С. Обоснование мероприятий по снижению риска здоровью от загрязнения воздуха взвешенными частицами размером менее десяти микрон (PM10) на улично-дорожной сети городов // *Экология и промышленность России*. – 2019. – №7. – С. 48-51.
8. Дедков, А.Г. Территориальное планирование и функциональное переосмысление аэропортов и прилегающих к ним территорий // *Инновации и инвестиции*. – 2020. - №11. – С. 209-212.
9. Дугин, Г.С. Проблема снижения вредных выбросов на воздушном транспорте // *Вестник транспорта*. – 2011. - №5. – С. 35-37.
10. Певнев Н.Г., Залознов А.В. Анализ состояния системы нейтрализации отработавших газов двигателей современных автомобилей // *Техника и технологии строительства*. – 2016. - №2(6). – С. 6.
11. Карелина, М.Ю. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебное пособие для студентов вузов по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – 328 с.
12. Карелина М.Ю., Титов Н.В., Коломейченко А.В. и др. Импортозамещающая технология восстановления и упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин // *Строительные и дорожные машины*. – 2015. – №8. – С. 34-37.
13. Рогов, Н.С. Как улучшить экологию города // *Твердые бытовые отходы*. – 2007. - №9(15). – С. 34-35.
14. Брыков, А.А. Экология современного города на примере Москвы // *Аллея науки*. – 2017. - №13. – С. 523-532.
15. Поготовкина Н.С., Косяков С.А. Влияние численности автомобильного парка на экологию крупных городов России // *Автомобильный транспорт Дальнего Востока*. – 2014. - №1. – С. 326-328.
16. Коротков М.В. Моделирование экологии города как единой дорожно-транспортной системы // *Автомобильная промышленность*. – 2007. - №12. – С. 30-31.
17. Жданов В.Л. Разработка структуры функции количественной меры опасности городских транспортных потоков // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2009. – №4(74). – С. 70-79.
18. Азаров, В.К. Разработка комплексной методики исследований и оценка экологической безопасности автомобилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Азаров Вадим Константинович. – М., 2014. – 19 с.
19. Пронин, И.И. Исследование метода Гаусса-Зейделя (метод Зейделя, процесс Либмана, метод последовательных замещений) с использованием технологий программирования // *Актуальные научные исследования в современном мире*. – 2021. – №11-10(79). – С. 107-111.
20. Голованчиков А.Б., Минь К.Д., Шибитова Н.В. Аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов и методом наименьших относительных квадратов // *Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт*. – 2019. – №1(26). – С. 42-44.

Карелина Мария Юрьевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр., 64
Д.т.н., д.п.н., профессор, проректор по научной работе
E-mail: karelinamu@mail.ru

Воронцова Мария Олеговна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр., 64
Старший преподаватель
E-mail: vorontsova_madi@mail.ru

M.Yu. KARELINA, M.O. VORONTSOVA

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR IMPROVING
THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF VEHICLE OPERATING
AT THE AIRPORT**

***Abstract.** In this paper, a detailed analysis of the quality of atmospheric air in Moscow is carried out. The main methods of air quality control in the city are considered. The possible reasons for these results are analyzed and the main indicators that affected the quality of atmospheric air in a certain area are identified. The possibility of improving the quality of exhaust gases (EG) of vehicles operating at the airport is analyzed. The beginning of the calculation was taken to calculate the hazard category of the car and compare them with the current and relevant EURO standards. The relevance of the study is to improve the ecology of the city, which is an important factor in the health and quality of life of the population.*

***Keywords:** ecology, NTTS, urban agglomeration, exhaust gas quality, EURO*

BIBLIOGRAPHY

1. Anikina E.V., Erofeeva V.V. Otsenka kachestva atmosfornogo vozdukha urbanizirovannykh ekosistem (na primere g. Moskvy) // Problemy regional'noy ekologii. - 2021. - №2. - S. 87-91.
2. Smutnikova E.G., Kudryashova Yu.S., Zhevachevskiy I.M., Alekseev D.A., Zakharova P.V., Kravtsova E.S., Zhalina O.N., Lyzhnikov O.G., Emel'yanov P.V., Sidorenko S.N., Vidyapin V.V., Komarova E.V., Lyutikov A.S. O sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode Moskve v 2020 godu // Doklad. - 2021. - S. 330.
3. Vorontsova M.O. Razrabotka metodiki analiza ekologicheskoy bezopasnosti NTTS na osnovanii metoda kumulyativnykh summ // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2022. - №1(68). - S. 86-91.
4. Amirkhanov R.R., Rtishchev N.A., Terent'ev A.V. O ezhednevnom obsluzhivanii avtomobilya, kak obyazatel'nom uslovii prodleniya resursa avtomobilya // Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. - 2017. - №1-1. - S. 49-51.
5. Vorontsova M.O., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Podgornyy A.V. Otsenka negoitvnogo vliyaniya NTTS na atmosfernyy vozdukh v gorode Sankt-Peterburge // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2021. - №4(67). - S. 17-25.
6. Eritsyan G.S., Hlopuzyan R.G. Ob integral'nom pokazatele otsenki ekologicheskoy bezopasnosti avtomobilya // Vestnik Natsional'nogo politekhnicheskogo universiteta Armenii. Mekhanika, mashinovedenie, mashinostroenie. - 2017. - №2. - S. 62-69.
7. Trofimenko Yu.V., Chizhova V.S. Obosnovanie meropriyatiy po snizheniyu riska zdorov'yu ot zagryazneniya vozdukha vzveshennymi chastitsami razmerom menee desyati mikrometrov (RM10) na ulichno-dorozhnoy seti gorodov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. - 2019. - №7. - S. 48-51.
8. Dedkov, A.G. Territorial'noe planirovanie i funktsional'noe pereosmyslenie aeroportov i prilgayushchikh k nim territoriy // Innovatsii i investitsii. - 2020. - №11. - S. 209-212.
9. Dugin, G.S. Problema snizheniya vrednykh vybrosov na vozdushnom transporte // Vestnik transporta. - 2011. - №5. - S. 35-37.
10. Pevnev N.G., Zaloznov A.V. Analiz sostoyaniya sistemy neytralizatsii otrabotavshikh gazov dvigateley sovremennykh avtomobiley // Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva. - 2016. - №2(6). - S. 6.
11. Karelina, M.Yu. Vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota bakalavra: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov po napravleniyu podgotovki «Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov» - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N.V. Parakhina, 2016. - 328 s.
12. Karelina M.Yu., Titov N.V., Kolomeychenko A.V. i dr. Importozameshchayushchaya tekhnologiya voss-tanovleniya i uprochneniya rabochego oborudovaniya stroitel'nykh i dorozhnykh mashin // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2015. - №8. - S. 34-37.
13. Rogov, N.S. Kak uluchshit' ekologiyu goroda // Tverdye bytovye otkhody. - 2007. - №9(15). - S. 34-35.
14. Brykov, A.A. Ekologiya sovremennogo goroda na primere Moskvy // Alleya nauki. - 2017. - №13. - S. 523-532.
15. Pogotovkina N.S., Kosyakov S.A. Vliyanie chislennosti avtomobil'nogo parka na ekologiyu krupnykh gorodov Rossii // Avtomobil'nyy transport Dal'nego Vostoka. - 2014. - №1. - S. 326-328.
16. Korotkov M.V. Modelirovanie ekologii goroda kak edinoy dorozhno-transportnoy sistemy // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2007. - №12. - S. 30-31.
17. Zhdanov V.L. Razrabotka struktury funktsii kolichestvennoy mery opasnosti gorodskikh transportnykh potokov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2009. - №4(74). - S. 70-79.
18. Azarov, V.K. Razrabotka kompleksnoy metodiki issledovaniy i otsenka ekologicheskoy bezopasnosti avtomobiley: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.03 / Azarov Vadim Konstantinovich. - M., 2014. - 19 s.
19. Pronin, I.I. Issledovanie metoda Gaussa-Zeydelya (metod Zeydelya, protsess Libmana, metod posledovatel'nykh zameshcheniy) s ispol'zovaniem tekhnologiy programmirovaniya // Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. - 2021. - №11-10(79). - S. 107-111.
20. Golovanchikov A.B., Min' K.D., Shubitova N.V. Approksimatsiya eksperimental'nykh dannykh metodom naimen'shikh kvadratov i metodom naimen'shikh otноситel'nykh kvadratov // Energo- i resursoberezhenie: promyshlennost' i transport. - 2019. - №1(26). - S. 42-44.

Karelina Maria Yuryevna

Moscow Automobile and Road Construction State
Technical University

Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect
Doctor of technical science, doctor of pedagogical science
E-mail: karelinamu@mail.ru

Vorontsova Maria Olegovna

Moscow Automobile and Road Construction State
Technical University

Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect
Senior lecturer
E-mail: vorontsova_madi@mail.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-119-125

А.В. КУЛЕВ, Е.М. МИНАЕВА

ОНЛАЙН-ТЕСТИРОВАНИЕ СТУДЕНТОВ В РАМКАХ ПРОПАГАНДЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Аннотация. Работа посвящена оценке знаний по вопросам безопасности дорожного движения среди студентов Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева на основе онлайн тестирования. Цель работы - выявление наиболее критических направлений в области безопасности дорожного движения для дальнейшего раскрытия в рамках пропаганды. Онлайн тестирование проводилось на основе онлайн сервиса google-формы. Количество вопросов в тесте 41, количество респондентов 598 человек. Результаты тестирования позволили сформировать 5 укрупненных групп вопросов и выявить группу вопросов, вызывающие наибольшие проблемы у респондентов.

Ключевые слова: онлайн-тестирование, правила дорожного движения, пропаганда, безопасность дорожного движения

Введение

Согласно информационно-аналитическому обзору научного центра безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации в нашей стране в течение последних 9 лет продолжается снижение основных показателей дорожно-транспортной аварийности. В 2021 году на улицах и дорогах страны зарегистрировано 133 331 (-3,1 %) дорожно-транспортное происшествие, в котором погибли и (или) были ранены люди. В данных ДТП погибли 14 874 (-5,8 %) человека и получили ранения 167 856 (-4,2 %) (Рис. 1) [1].

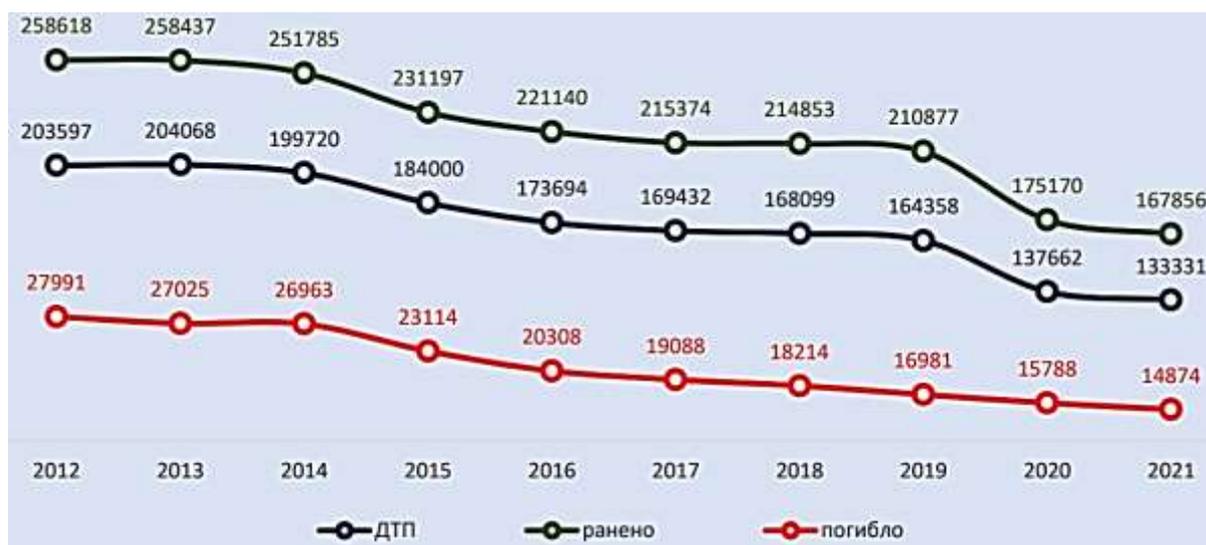


Рисунок 1 – Динамика дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации

Несмотря на позитивные изменения, уровень дорожно-транспортной аварийности в стране остается достаточно высоким – каждое одиннадцатое (9,5 %) ДТП приводит к смертельному исходу (12 653) [1].

Согласно паспорта федерального проекта «Безопасность дорожного движения» одним из направлений снижения аварийности на дорогах Российской Федерации является осуществление пропагандистско-воспитательной работы с населением в области соблюдения правил дорожного движения [2, 3].

В настоящее время пропаганда безопасности дорожного движения определена как целенаправленная деятельность, осуществляемая субъектами пропаганды по распространению знаний, касающихся вопросов обеспечения безопасности дорожного движения, разъяснению законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, регламентирующих поведение участников дорожного движения [4-10].

В виду всего выше сказанного в рамках настоящего исследования проведено онлайн-тестирование с целью определения наиболее проблемных моментов в знаниях правил дорожного движения у населения города Орла.

Материал и методы

В качестве информационной платформы для проведения онлайн-тестирования выбран интернет ресурс google-формы, который отлично зарекомендовал себя в качестве инструмента сбора данных в виде анкет и тестов [11-15]. Выбор данного ресурса обуславливается простотой использования, возможностью быстро составить вопросы тестирования, автоматизировано проверить правильность ответов, отсутствием необходимости разрабатывать собственное программное обеспечение, содержать сервер и т.д. [16-20].

Теория

Онлайн-тестирование содержит 41 вопрос из различных областей правил дорожного движения. Вопросы ориентированы на пешеходов и велосипедистов, поэтому наличие водительского удостоверения не должно дать значительного преимущества при прохождении тестирования. Доступ к тестированию осуществлялся путем передачи гиперссылки и QR-кода (рис. 2).

- 41 вопрос;
- 1 балл за каждый правильный ответ;
- Ограничение по времени 1,5 часа.

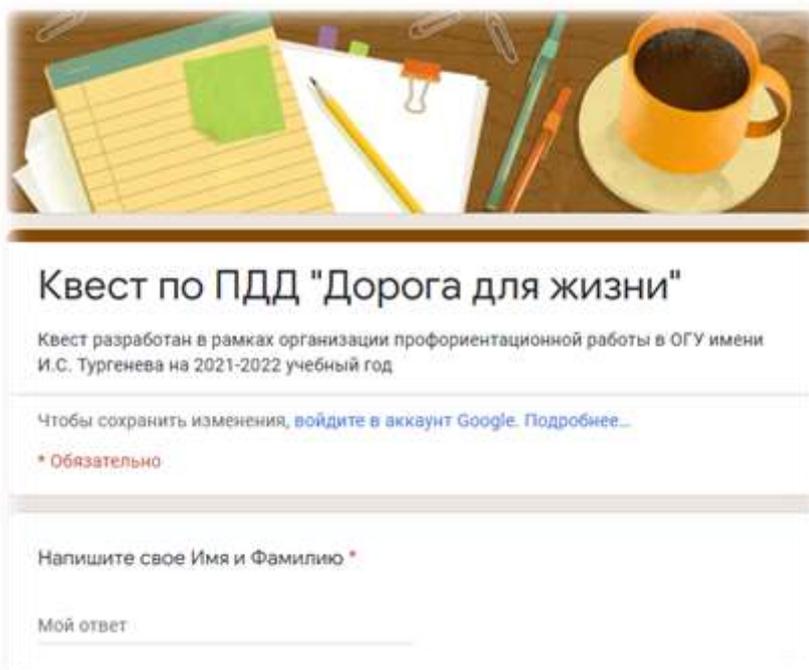


Рисунок 2 – Онлайн-тестирование по ПДД

Реализация онлайн-тестирования была осуществлена в рамках профилактического мероприятия «Квест по ПДД «Дорога для жизни», которое прошло в Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева 1 ноября 2021 года [14, 15].

Участниками онлайн-тестирования стали 598 студентов (изначально количество респондентов было более 600 человек в связи с тем, что некоторые студенты проходили тестирование несколько раз, в таком случае засчитывалась только первая попытка) 1-го курса из 18 факультетов и институтов ВУЗа (рис. 3) [5].

Выбор в качестве участников студентов 1 курса объясняется тем, что эта категория людей, как правило, не имеет водительского удостоверения, а значит, вероятно, довольно поверхностно знакома с правилами дорожного движения.

Все вопросы тестирования укрупненно разбиты на 5 категорий (рис. 4).

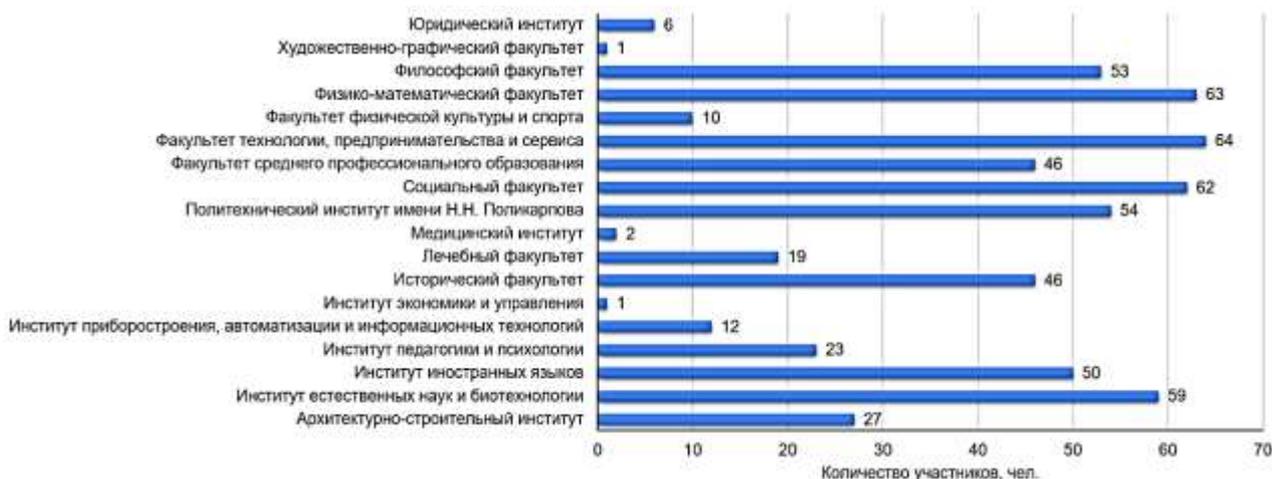


Рисунок 3 – Количество участников онлайн-анкетирования



Рисунок 4 – Распределение вопросов тестирования по категориям

Таким образом, вопросы охватывают почти все темы правил дорожного движения, которые связаны с безопасностью движения пешеходов и велосипедистов.

Результаты и обсуждение

После обработки результатов тестирования получены данные об ответах на все вопросы (рис. 5) [15]. Худший ответ был дан на вопрос № 30. Вопросы под номерами 2, 25 и 35 оказались самыми простыми, с ними справились 96 % опрошенных респондентов.

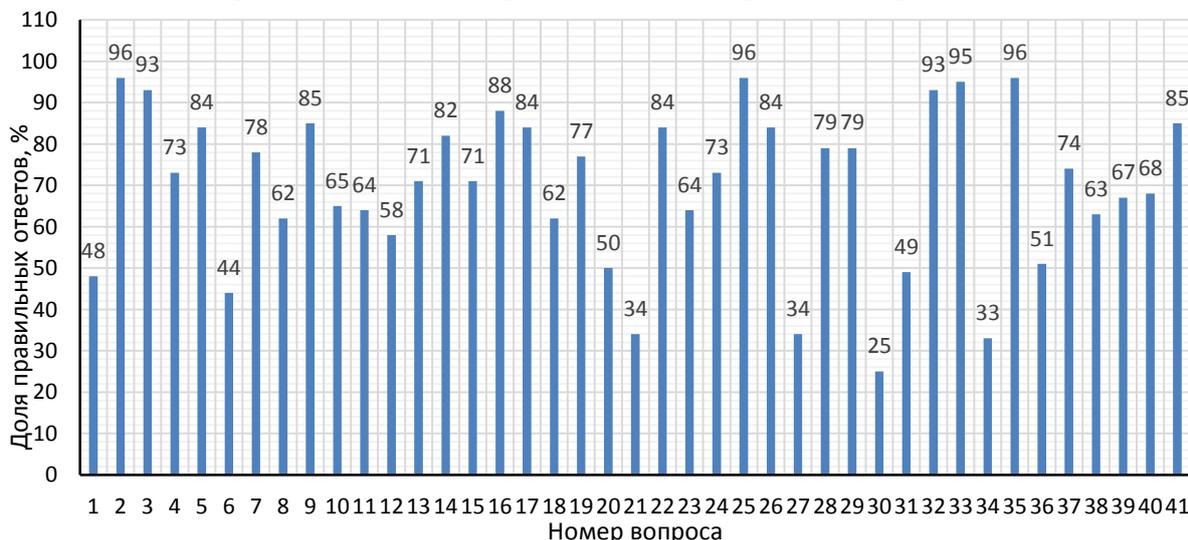


Рисунок 5 – Распределение правильных ответов по вопросам онлайн-тестирования

Среднее и медианное значение правильных ответов равно 29, что говорит, что более 70 % вопросов не вызвало у респондентов затруднений. Мода оказалась на 4 правильных ответа больше и равна 33 (по результатам ответов 45 респондентов). Распределение количества правильных ответов от количества респондентов представлено на рисунке 6.

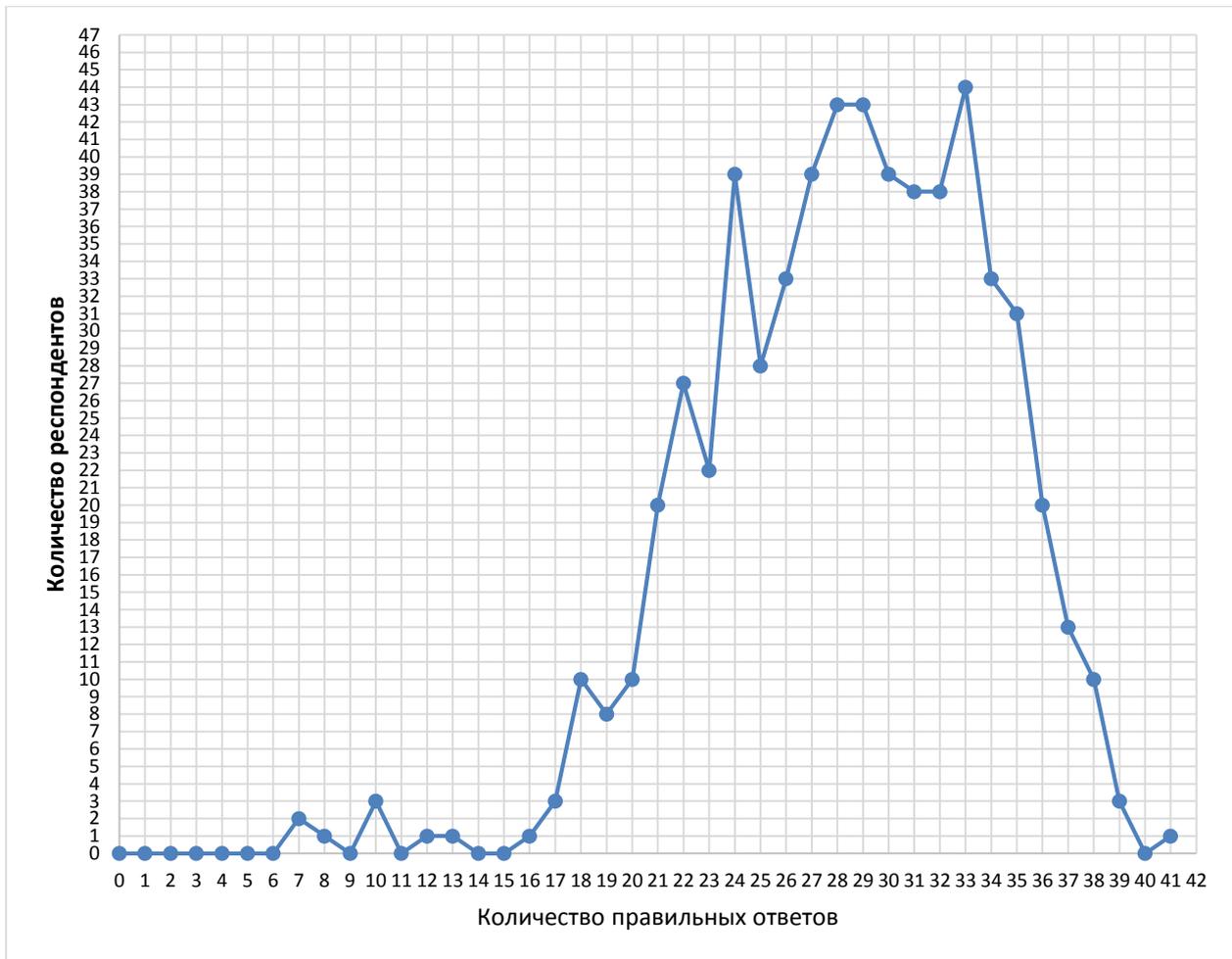


Рисунок 6 – Распределение количества правильных ответов от количества респондентов

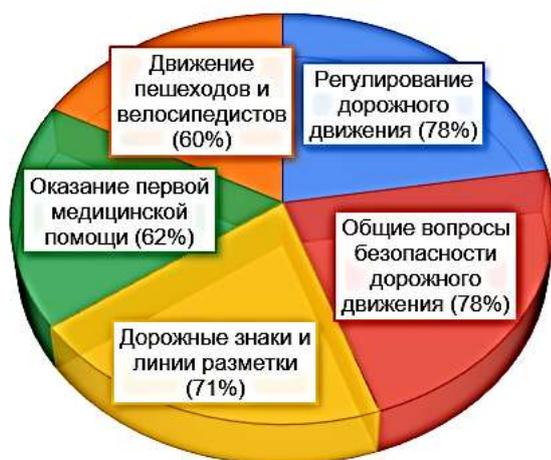


Рисунок 7 – Распределение правильных ответов по категориям вопросов

Максимальное количество правильных ответов (41) зафиксировано у одного участника тестирования. В свою очередь минимальное количество равнялось 7 правильным ответом и было зафиксировано у 2 респондентов.

Анализ результатов тестирования позволил оценить знания по укрупненным группам вопросов (рис. 7). Наихудшие результаты оказались у группы вопросов, связанных с правилами движения пешеходов и велосипедистов, доля правильных ответов здесь составила 60 %. Чуть лучше оказались результаты в категории «Оказание первой медицинской помощи» - 62 %. Категория «дорожные знаки и линии разметки» показали результат – 71 % [15].

Лучшие знания оказались в категориях «регулирование дорожного движения» и общие вопросы безопасности дорожного движения» - 78 %.

Выводы

Применение технологии онлайн-тестирования позволяет быстро определять уровень знаний правил дорожного движения у различных категорий граждан для оперативного выявления «белых пятен» и возможности восполнения необходимых знаний в рамках пропаганды дорожного движения.

Так по результатам проведенных исследований удалось выявить наиболее плачевное направление в области безопасности дорожного движения – это вопросы, связанные с правилами движения пешеходов и велосипедистов, лишь 60 % ответов тестирования оказались правильными.

В связи с этим важным направлением в области пропаганды дорожного движения является разъяснение законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, субъектов Российской Федерации в области безопасности дорожного движения для пешеходов и лиц, управляющих велосипедами и мопедами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баканов, К.С. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 6 месяцев 2021 года: Информационно-аналитический обзор – Москва: Научный центр безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2021. – 41 с.
2. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – №3(70). – С. 72-79.
3. Новиков И.А., Кравченко А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – №3(66). – С. 58-64.
4. Коряковцев Д.А., Горин Р.П. Пропаганда безопасности дорожного движения как одна из форм обеспечения транспортной безопасности // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.). - 2020. – С. 168-170.
5. Ставцева А.А., Милина М.Ю., Савельева М.С. и др. Инноватика в пропаганде безопасности дорожного движения / Под общей редакцией А.И. Вострецова // Тенденции и инновации современной науки: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. – Казахстан: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич). - 2017. – С. 81-88.
6. Лохбаум В.А. Госавтоинспекция как основной субъект деятельности по пропаганде безопасности дорожного движения // Безопасность дорожного движения. – 2021. – №1. – С. 37-40.
7. Темняков, Д.А. Особенности организации педагогического процесса по пропаганде безопасности дорожного движения // Вестник ГОУ ДПО ТО «ИПК и ППРО ТО». Тульское образовательное пространство. – 2020. – №3. – С. 29-33.
8. Кузнецова И.И. Формы проведения пропаганды безопасности дорожного движения со школьниками разных возрастов // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2021. – №1(4). – С. 255-260.
9. Патрахина Т.Н., Шламова Д.А. Пропаганда безопасности дорожного движения как механизм информационного воздействия: сущность, проблемы и направления совершенствования / Ответственный редактор: А.В. Коричко // Семнадцатая региональная студенческая научная конференция Нижневартковского государственного университета: статьи докладов. – Нижневартовск: Нижневартковский государственный университет. - 2015. – С. 97-100.
10. Новгородов Д.А. Использование сотрудниками ГИБДД сети интернет в пропаганде безопасности дорожного движения // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2020. – №1(3). – С. 325-329.
11. Новиков А.Н., Кулев А.В., Осляков С.Ю. Совершенствование пассажирских перевозок общественным транспортом на основе онлайн опросов населения // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2020. – С. 114-117.
12. Кулев М.В., Кулева Н.С., Кулев А.В., Горенкова С.Е. Разработка методики получения информации об эффективности транспортного обслуживания населения / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. - 2020. – С. 80-87.
13. Кулев А.В., Ломакин Д.О., Кулев М.В. и др. Совершенствование методов определения качественных показателей пассажирских перевозок / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2020. – С. 81-86.

14. Официальный сайт ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oreluniver.ru/media/news/show/1/12273>.

15. Минаева Е.М., Кулев А.В. Онлайн-оценка знаний ПДД как элемент пропаганды безопасности дорожного движения // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк: Липецкий государственный технический университет. - 2022. – С. 83-87.

16. Данилов А.А., Авдеев В.В. Обзор бесплатных онлайн-сервисов для создания тестов и организации тестирования // Актуальные проблемы гуманитарных, социальных и экономических наук: вопросы теории и практики: Сборник статей по материалам Третьей межрегиональной научно-практической конференции. – Великий Новгород: Северный филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства». - 2014. – С. 16-19.

17. Гулялова О.В. К вопросу организации онлайн-тестирования в образовательных организациях: алгоритм создания онлайн-теста с применением Google форм // Наука и образование: новое время. – 2020. – №6(41). – С. 25-33.

18. Мошкова Е.С. Использование Google-форм в образовательном процессе // Вестник Набережночелнинского государственного педагогического университета. – 2022. – №S2(37). – С. 105-107.

19. Бакаева О.А., Абрамова Т.А. Использование Google-форм при разработке и проведении квестов // Наука молодых - будущее России: сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных работ молодых ученых. - В 4 т. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2020. – С. 17-21.

20. Галкина Л.С. / отв. за вып. Ю.А. Аляев, С.В. Русаков Возможности форм Google для on-line тестирования // Рождественские чтения: Тезисы докладов XVI Межрегиональной научно-методической конференции по вопросам применения ИКТ в образовании. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университете. - 2012. – С. 11-13.

Кулев Андрей Владимирович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева

Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: srmostu@mail.ru

Минаева Екатерина Михайловна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева

Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Студент
E-mail: srmostu@mail.ru

A.V. KULEV, E.M. MINAEVA

**ONLINE TESTING OF STUDENTS AS PART
OF THE PROMOTION OF ROAD SAFETY**

***Abstract.** The work is devoted to the assessment of knowledge on road safety issues among students of the I.S. Turgenev Orel State University based on online testing. The purpose of the work is to identify the most critical areas in the field of road safety for further disclosure in the framework of propaganda. Online testing was conducted on the basis of the Google online service-forms. The number of questions in the test is 41, the number of respondents is 598 people. The test results allowed us to form 5 enlarged groups of questions and identify a group of questions that cause the greatest problems for respondents.*

***Keywords:** online testing, traffic rules, propaganda, road safety*

BIBLIOGRAPHY

1. Bakanov, K.S. Dorozhno-transportnaya avariynost` v Rossiyskoy Federatsii za 6 mesyatsev 2021 goda: Informatsionno-analiticheskiy obzor - Moskva: Nauchnyy tsentr bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya Ministerstva vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii, 2021. - 41 s.

2. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Otsenka urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na regional`nom urovne // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2020. - №3(70). - S. 72-79.

3. Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G., Vasil`eva V.V. Nauchno-metodologicheskii podkhod k snizheniyu avariynosti na dorogakh Rossiyskoy Federatsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2019. - №3(66). - S. 58-64.

4. Koryakovtsev D.A., Gorin R.P. Propaganda bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya kak odna iz form obespecheniya transportnoy bezopasnosti // Nauka i obrazovanie: sokhranyaya proshloe, sozdaiom budushchee: sbornik statey XXVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.). - 2020. - S. 168-170.

5. Stavtseva A.A., Milina M.Yu., Savel'eva M.S. i dr. Innovatika v propagande bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya / Pod obshchey redaktsiyey A.I. Vostretsova // Tendentsii i innovatsii sovremennoy nauki: Materialy Mezhdunarodnoy (zaочноy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Kazakhstan: Nauchno-izdatel'skiy tsentr «Mir nauki» (IP Vostretsov Aleksandr Il'ich). - 2017. - S. 81-88.
6. Lokhbaum V.A. Gosavtinspektsiya kak osnovnoy sub"ekt deyatel'nosti po propagande bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya. - 2021. - №1. - S. 37-40.
7. Temnyakov, D.A. Osobennosti organizatsii pedagogicheskogo protsessa po propagande bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Vestnik GOU DPO TO «IPK i PPRO TO». Tul'skoe obrazovatel'noe prostranstvo. - 2020. - №3. - S. 29-33.
8. Kuznetsova I.I. Formy provedeniya propagandy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya so shkol'nikami raznykh vozrastov // Upravlenie deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya. - 2021. - №1(4). - S. 255-260.
9. Patrakhina T.N., Shlamova D.A. Propaganda bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya kak mekhanizm informatsionnogo vozdeystviya: sushchnost', problemy i napravleniya sovershenstvovaniya / Otvetstvennyy redaktor: A.V. Korichko // Semnadsataya regional'naya studencheskaya nauchnaya konferentsiya Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta: stat'i dokladov. - Nizhnevartovsk: Nizhnevartovskiy gosudarstvennyy universitet. - 2015. - S. 97-100.
10. Novgorodov D.A. Ispol'zovanie sotrudnikami GIBDD seti internet v propagande bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Upravlenie deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya. - 2020. - №1(3). - S. 325-329.
11. Novikov A.N., Kulev A.V., Osl'yakov S.YU. Sovershenstvovanie passazhirkikh perevozok obshchestvennym transportom na osnove onlayn oprosov naseleniya // Progressivnye tekhnologii i protsessy: sbornik nauchnykh statey 7-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - S. 114-117.
12. Kulev M.V., Kuleva N.S., Kulev A.V., Gorenkova S.E. Razrabotka metodiki polucheniya informatsii ob effektivnosti transportnogo obsluzhivaniya naseleniya / Pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. - 2020. - S. 80-87.
13. Kulev A.V., Lomakin D.O., Kulev M.V. i dr. Sovershenstvovanie metodov opredeleniya kachestvennykh pokazateley passazhirkikh perevozok / Pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - 2020. - S. 81-86.
14. Ofitsial'nyy sayt FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva» [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://oreluniver.ru/media/news/show/1/12273>.
15. Minaeva E.M., Kulev A.V. Onlayn-otsenka znaniy PDD kak element propagandy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii uni-versitet. - 2022. - S. 83-87.
16. Danilov A.A., Avdeev V.V. Obzor besplatnykh onlayn-servisov dlya sozdaniya testov i organizatsii testirovaniya // Aktual'nye problemy gumanitarnykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh nauk: voprosy teorii i praktiki: Sbornik statey po materialam tret'ey mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Velikiy Novgorod: Severnyy filial FGBOU VPO «Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet innovatsionnykh tekhnologiy i predprinimatel'stva». - 2014. - S. 16-19.
17. Gulyalova O.V. K voprosu organizatsii onlayn-testirovaniya v obrazovatel'nykh organizatsiyakh: algoritm sozdaniya onlayn-testa s primeneniem Google form // Nauka i obrazovanie: novoe vremya. - 2020. - №6(41). - S. 25-33.
18. Moshkova E.S. Ispol'zovanie Google-form v obrazovatel'nom protsesse // Vestnik Naberezhnochel'ninskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. - 2022. - №S2(37). - S. 105-107.
19. Bakaeva O.A., Abramova T.A. Ispol'zovanie Google-form pri razrabotke i provedenii kvestov // Nauka molodykh - budushchee Rossii: sbornik nauchnykh statey 5-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh. - V 4 t. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - S. 17-21.
20. Galkina L.S. / otv. za vyp. Yu.A. Alyaev, S.V. Rusakov Vozmozhnosti form Google dlya on-line testirovaniya // Rozhdestvenskie chteniya: Tezisy dokladov HVI Mezhhregional'noy nauchno-metodicheskoy konferentsii po voprosam primeneniya IKT v obrazovanii. - Perm': Permskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universite. - 2012. - S. 11-13.

Kulev Andrei Vladimirovich

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77

Candidate of technical sciences

Email: srmostu@mail.ru

Minaeva Ekaterina Mikhailovna

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77

Student

Email: srmostu@mail.ru

Научная статья
УДК 69.05:625.7
doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-126-131

В.В. БОРОВИК, А.Ю. ТРУБИН, А.В. БОРОВИК, А.В. БОРОВИК, Д.М. ЛЕПЕХИНА

ОЦЕНКА УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

***Аннотация.** Проводится анализ действующей в РФ нормативной базы по оценке уровня содержания автомобильных дорог. Показывается некорректность действующего подхода, не учитывающего системное взаимодействие факторов оценки уровня содержания. Результаты такой оценки не позволяют с достаточной точностью планировать и организовывать работы по содержанию и ремонту дороги. Даются предложения по совершенствованию действующей нормативной базы. Основными преимуществами предлагаемой методики являются объективность оценки и возможность выделения участков дороги, требующих проведения работ по содержанию в первую очередь на основе многофакторного анализа, учитывающего взаимосвязь и взаимозависимость факторов.*

***Ключевые слова:** уровень содержания, оценка, цифровая модель, многофакторный анализ*

Введение

Оценка уровня содержания автомобильных дорог это показатель, отражающий эксплуатационное состояние конструктивных элементов автомобильной дороги, которое определяется полнотой и качеством требований ОДМ 218.11.004-2020. Выполнение работ (оказание услуг) по содержанию автомобильных дорог в весенне-летне-осенний и зимний периоды года. определяется степень соответствия нормативным требованиям фактических потребительских свойств автомобильных дорог, их основных параметров и характеристик [1-6].

В соответствии с действующими нормативными документами [3, 6], приемка результатов выполненных работ по содержанию автомобильных дорог осуществляется организациями в соответствии с условиями заключенного контракта на их выполнение путем оценки качества и уровня их содержания. Методы оценки состояния автомобильных дорог классифицируют по следующим критериям:

- оцениваемые показатели;
- полнота оцениваемых элементов или показателей;
- степень объективности оценки;
- число критериев или показателей оценки.

По оцениваемым показателям выделяют методы оценки:

- технико-эксплуатационных качеств или характеристик дороги (технических параметров и физических характеристик дороги, таких как прочность дорожной одежды, ровность, шероховатость и сцепные качества покрытий, устойчивость земляного полотна, а также инженерного оборудования и обустройства (знаков, ограждений, автобусных остановок, АЗС, мотелей и т.д.);
- транспортно-эксплуатационных показателей дороги или ее потребительских свойств (обеспеченная дорогой скорость, удобство и безопасность движения, пропускная способность, допустимая осевая нагрузка и общая масса автомобилей, эргономические, эстетические, экологические свойства дороги и т.д.);
- показателей совместной работы дороги и автомобилей или технико-экономических показателей работы автомобильного транспорта на данной дороге (средняя скорость транспортного потока, производительность автомобилей, расход топлива и износ шин, себестоимость перевозок, число ДТП и т.д).

По полноте оцениваемых элементов или показателей выделяют методы оценки [7-11]:

- отдельных элементов, параметров, характеристик или показателей (методы раздельной оценки);
- группы элементов, параметров, физических характеристик или показателей;
- комплекса, т.е. всех или большинства основных элементов, параметров, характеристик или показателей (методы комплексной оценки).

По степени объективности оценки выделяют методы оценки:

- субъективные, или визуальные (основанные на результатах визуального осмотра дороги и дорожных сооружений специалистами-экспертами. При этом различают визуальную диагностику, т.е. сбор информации о видимых параметрах и характеристиках состояния дороги и визуальную оценку состояния, т.е. сравнение этих характеристик с нормативными требованиями);

- объективные (основанные на результатах измерений параметров и характеристик дорог и дорожных сооружений, выполняемых при помощи приборов, установок и передвижных лабораторий);

- смешанные (часть параметров и характеристик оценивается по результатам визуального осмотра, а часть - по результатам объективных измерений) [7-8].

По числу критериев или показателей оценки выделяют методы оценки [9-11]:

- однокритериальные;

- многокритериальные.

Наибольший интерес представляют многофакторные методы. Целью исследования является определение значений уровня содержания автомобильной дороги на основе многофакторного анализа, в котором выявляются наиболее влияемые факторы во взаимосвязи и взаимозависимости.

Материал и методы

1. Инструментом определения значения уровня содержания автомобильных дорог предлагается цифровая модель вида:

$$P = \left(\sum_{i=1}^n F_i^{\alpha_i} / i \right) \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где P – значение рейтинга предприятия, сформированного на основе определения факторов F , влияющих на эффективность производственного процесса.

Для каждого фактора F установлен весовой показатель α , отражающий влияние соответствующего фактора на рейтинг P .

2. Из результатов производственного опыта [5, 7, 12], факторами F , наиболее влияющими на итоговый показатель рейтинга, выбраны:

2.1. Наличие и состав квалифицированных кадров.

2.2. Опыт работы.

2.3. Наличие и оснащение материально-технической базы,

2.4. Наличие службы контроля качества

2.5. Количество ДТП по НДУ.

2.6. Степень соответствия парка дорожной техники нормативам по содержанию автомобильной дороги.

2.7. Уровень взаимодействия предприятия с системой МВД в части ведения претензионной работы и обеспечения сохранности автомобильной дороги.

2.8. Уровень технического оснащения оборудованием, позволяющим реализовать передовые и перспективные технологии производства работ.

Таблица 1 - Значения фактора F и весового коэффициента α .

	Наименование фактора	Характеристика	Значение P	Значение α
1	Наличие и состав квалифицированных кадров, соответствующих паспорту специальности «Автомобильные дороги»	100-0%	1-0	1,5
2	Опыт работы в сфере содержания а/д	Свыше 6 лет 3-6 лет менее 3 лет	1 0,66 0,33	2 2 2
3	Наличие и оснащение материально-технической базы	1.Условия быта и отдыха 2.АБЗ 3.РММ	0,25 0,25 0,25	3 3 3

		4.Теплые стоянки	0,25	3
4	Наличие службы контроля качества(лаборатория)	Штатная По договору	1 0,5	2 2
5	Количество ДТП по НДУ	есть нет	0 1	2 2
6	Степень соответствия парка дорожной техники нормативам по содержанию а/д	100-0%	1-0	3
7	Уровень взаимодействия предприятия с системой МВД в части ведения претензионной работы и обеспечения сохранности а/д	0-10	0-1	2
8	Уровень технического оснащения оборудованием, позволяющим реализовать передовые и перспективные технологии производства работ	0-4	0-1	1,5

Расчет

Пример сравнительного анализа дорожного предприятия на основании расчета рейтинга:

Таблица 2 - Характеристики ДРСУ «А»

	Наименование фактора	Характеристика	Значение <i>P</i>	Значение <i>α</i>
1	Наличие и состав квалифицированных кадров, соответствующих паспорту специальности «Автомобильные дороги»	100%	1	1,5
2	Опыт работы в сфере содержания а/д	Свыше 6 лет	1	2
3	Наличие и оснащение материально-технической базы	Обеспечены 100%	1	3
4	Наличие службы контроля качества(лаборатория)	Штатная	1	2
5	Количество ДТП по НДУ	нет	1	2
6	Степень соответствия парка дорожной техники нормативам по содержанию а/д	100-0%	1	3
7	Уровень взаимодействия предприятия с системой МВД в части ведения претензионной работы и обеспечения сохранности а/д	10	1	2
8	Уровень технического оснащения оборудованием, позволяющим реализовать передовые и перспективные технологии производства работ	4	1	1,5

$$P = (1^{1,5} + 1^2 + 1^3 + 1^2 + 1^2 + 1^3 + 1^2 + 1^{1,5}) / 8 \cdot 100 \% = 100 \% .$$

Таблица 3 - Характеристики ДРСУ «В»

	Наименование фактора	Характеристика	Значение <i>P</i>	Значение <i>α</i>
1	Наличие и состав квалифицированных кадров, соответствующих паспорту специальности «Автомобильные дороги»	100%	1	1,5
2	Опыт работы в сфере содержания а/д	Свыше 6 лет	1	2
3	Наличие и оснащение материально-технической базы	1.Условия быта и отдыха 2.АБЗ 3.РММ 4.Теплые стоянки Обеспечение 75%	0,25 нет 0,25 0,25 0,75	3 3 3 3 0,317

4	Наличие службы контроля качества(лаборатория)	По договору	0,5	2 0,25
5	Количество ДТП по НДУ	нет	1	2
6	Степень соответствия парка дорожной техники нормативам по содержанию а/д	76%	0,76	3 0,334
7	Уровень взаимодействия предприятия с системой МВД в части ведения претензионной работы и обеспечения сохранности а/д	5	0,5	2 0,25
8	Уровень технического оснащения оборудованием, позволяющим реализовать передовые и перспективные технологии производства работ	2	0,5	1,5 0,25

$$P = (1^{1,5} + 1^2 + 0,317 + 0,25 + 1 + 0,334 + 0,25 + 0,25) / 8 \cdot 100 \% = 55,1 \% .$$

Результаты

Рейтинг ДРСУ «А»:

$$P = (1^{1,5} + 1^2 + 1^3 + 1^2 + 1^2 + 1^3 + 1^2 + 1^{1,5}) / 8 \cdot 100 \% = 100 \% .$$

Рейтинг ДРСУ «В»:

$$P = (1^{1,5} + 1^2 + 0,317 + 0,25 + 1 + 0,334 + 0,25 + 0,25) / 8 \cdot 100 \% = 55,1 \% .$$

Рейтинг ДРСУ «А» имеет более высокий уровень.

Выводы

На основе анализа действующей в РФ нормативной базы и результатов исследований других авторов посвященных оценке уровня содержания автомобильных дорог показаны недостатки действующих подходов. Даются предложения по совершенствованию действующей нормативной базы. В качестве примера выполнен расчет рейтинга двух дорожных предприятия на основе цифрового моделирования, который позволяет определить предприятие, способное обеспечить наиболее высокий уровень содержания автомобильной дороги. Предлагаемая методика позволяет существенно повысить уровень содержания дорог за счет прогнозирования возможностей предприятия выполнить производственное задание с качеством, обеспечивающим нормативные требования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков, М.Л. Федеральные дороги России. Транспортно-эксплуатационные качества и безопасность дорожного движения: Статистический аналитический сборник - М.: Федеральное дорожное агентство., 2008. - 125 с.
2. Васильев, А.П. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника. Т. II. - М., 2004.
3. ОДМ 218.11.004-2020. Отраслевой дорожный методический документ: Методические рекомендации по порядку проведения оценки уровня содержания автомобильных дорог общего пользования Федерального значения – Росавтодор, 2020.
4. Горский, М.Ю. Основные положения новых межгосударственных стандартов на измерение параметров покрытия // Техническое регулирование в дорожном хозяйстве: Методическое пособие. М., 2014.
5. Живописцев И.Ф. Основные положения межгосударственного стандарта ГОСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию» // Техническое регулирование в дорожном хозяйстве: Методическое пособие. - М. - 2014.
6. ТС 014/2011. Безопасность автомобильных дорог. Технический регламент Таможенного союза. - М., 2011.
7. Аржанухина С.П. и др. Совершенствование структуры отраслевой диагностики автомобильных дорог [Электронный ресурс] / Интернет-журнал «Науковедение». - 2012. - №4(13). – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/44tvn412.pdf>
8. Скоробогатченко Д.А. Прогнозирование изменения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог при планировании ремонта и содержания: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Волгоград, 2003. - 22 с.
9. Барсук М.Н. Совершенствование методов и средств оценки технического состояния автомобильных дорог по геометрическим и эксплуатационным параметрам: Дис. ... канд. техн. наук, 2013.
10. Углова Е.В. Тиратурян А.Н., Шамраев Л.Г. Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» [Электронный ресурс] / 2016. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-otsenke-transportno-ekspluatatsionnyh-pokazateley-avtomobilnyh-dorog-gosudarstvennoy-kompanii-rossiyskie>
11. Borovik V.S, Borovik V.V., Lukin V.A. Modeling in space and time of management level for road safety [Электронный ресурс] // Transportation Research Procedia. - Volume 20. – 2017. – P. 74-79. – Режим доступа: [https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352-1465\(17\)30017-0](https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352-1465(17)30017-0)

12. Временное руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог. Федеральная дорожная служба России. Минтранс РФ. - М., 2003.
13. Ганченко И.О., Ахметов Р.С. Методика педагогического контроля уровня общей и специальной физической подготовленности курсантов вузов МВД России - сотрудников специальных подразделений // Физическая культура, спорт - наука и практика. – 2012. – №3. – С. 26-30.
14. Гуменюк О.В., Доброборский Б.С. Применение таблиц Шульце для оценки поведения человека в чрезвычайных ситуациях // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». - 2014. – С. 90-93.
15. Дубровский, В.И. Лечебная физкультура и врачебный контроль - М.: Медицинское информационное агентство, 2016. - 600 с.
16. Ермолаева, С. Влияние экологических и социальных факторов на здоровье детей - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 124 с.
17. Ложкина Н.П., Ложкина О.П. Самостоятельная физическая подготовка курсантов // Молодой ученый. – 2015. – №12(92). – С. 838-841.
18. Морщанина, Д.В. Роль физических упражнений в психологической подготовке студентов учебных заведений гражданской авиации - М.: Научный вестник МГТУ ГА, 2010. - №162. - 172 с.
19. Османова З.О. Анализ факторов внешней среды влияющих на деятельность промышленных предприятий // Научный вестник: Финансы, банки, инвестиции. – 2017. - №3. - С. 71-75.
20. Осипов Д.В. Особенности специальной физической подготовки курсантов образовательных организаций МВД России // Наука 2020. - №3(39). - 2020. - С. 24-177.

Боровик Виталий Витальевич

ГКУ «Дирекция автомобильных дорог Волгоградской области»

Адрес: 400107, Россия, г. Волгоград, пр-кт Им. Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, 90

К.т.н., ведущий специалист

E-mail: borovikv@mail.ru

Трубин Андрей Юрьевич

ГКУ «Дирекция автомобильных дорог Волгоградской области»

Адрес: 400107, Россия, г. Волгоград, пр-кт Им. Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, 90

Начальник отдела

E-mail: trubinvlg@gmail.com

Боровик Анастасия Витальевна

Институт строительства и архитектуры ФГБУ ВО ВолгГТУ

Адрес: 400074, Россия, Волгоград, Академическая, 1

Студент

E-mail: borovik.a_1@mail.ru

Боровик Александра Витальевна

Институт строительства и архитектуры ФГБУ ВО ВолгГТУ

Адрес: 400074, Россия, Волгоград, Академическая, 1

Студент

E-mail: boroviksasha1@bk.ru

Лепехина Дарья Михайловна

Институт строительства и архитектуры ФГБУ ВО ВолгГТУ

Адрес: 400074, Россия, Волгоград, Академическая, 1

Студент

E-mail: lepehina66@mail.ru

V.V. BOROVIK, A.Yu.TRUBIN, A.V. BOROVIK, A.V. BOROVIK, D.M. LEPEKHINA

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF MAINTENANCE OF ROADS ON THE BASIS OF DIGITAL MODELING

***Abstract.** An analysis is made of the current regulatory framework in the Russian Federation for assessing the level of maintenance of highways. It shows the incorrectness of the current approach, which does not take into account the systemic interaction of factors for assessing the level of content. The results of such an assessment do not allow planning and organizing work on the maintenance and repair of the road with sufficient accuracy. Proposals are made to improve the current regulatory framework. The main advantages of the proposed methodology are the objectivity of the assessment and the possibility of identifying road sections that require maintenance and repair work, primarily on the basis of a multivariate analysis that takes into account the relationship and interdependence of factors.*

***Keywords:** road maintenance level, enterprise rating, digital model*

BIBLIOGRAPHY

1. Ermakov, M.L. Federal'nye dorogi Rossii. Transportno-ekspluatatsionnye kachestva i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: Statisticheskiy analiticheskiy sbornik - M.: Federal'noe dorozhnoe agentstvo., 2008. - 125 s.
2. Vasil'ev, A.P. Remont i sodержanie avtomobil'nykh dorog: Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. T. II. - M., 2004.
3. ODM 218.11.004-2020. Otrasleyvoy dorozhnyy metodicheskiy dokument: Metodicheskie rekomendatsii po poryadku provedeniya otsenki urovnya sodержaniya avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya Federal'nogo znacheniya - Rosavtodor, 2020.
4. Gorskiy, M.Yu. Osnovnye polozheniya novykh mezhgosudarstvennykh standartov na izmerenie parametrov pokrytiya // Tekhnicheskoe regulirovanie v dorozhnom khozyaystve: Metodicheskoe posobie. M., 2014.
5. Zhivopistsev I.F. Osnovnye polozheniya mezhgosudarstvennogo standarta GOST «Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu» // Tekhnicheskoe regulirovanie v dorozhnom khozyaystve: Metodicheskoe posobie. - M. - 2014.
6. TS 014/2011. Bezopasnost' avtomobil'nykh dorog. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza. - M., 2011.
7. Arzhanukhina S.P. i dr. Sovershenstvovanie struktury otraslevoy diagnostiki avtomobil'nykh dorog [Elektronnyy resurs] // Internet-zhurnal «Naukovedenie». - 2012. - №4(13). - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/44tvn412.pdf>
8. Skorobogatchenko D.A. Prognozirovanie izmeneniya transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog pri planirovanii remonta i sodержaniya: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - Volgograd, 2003. - 22 s.
9. Barsuk M.N. Sovershenstvovanie metodov i sredstv otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog po geometricheskim i ekspluatatsionnym parametram: Dis. ... kand. tekhn. nauk, 2013.
10. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Shamraev L.G. Sovremennyy podkhod k otsenke transportno-ekspluatatsionnykh pokazateley avtomobil'nykh dorog gosudarstvennoy kompanii «Rossiyskie avtomobil'nye dorogi» [Elektronnyy resurs] // 2016. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-otsenke-transportno-ekspluatatsionnyh-pokazateley-avtomobilnyh-dorog-gosudarstvennoy-kompanii-rossiyskie>
11. Borovik V.S., Borovik V.V., Lukin V.A. Modeling in space and time of management level for road safety [Elektronnyy resurs] // Transportation Research Procedia. - Volume 20. - 2017. - P. 74-79. - Rezhim dostupa: [https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352-1465\(17\)30017-0](https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352-1465(17)30017-0)
12. Vremennoe rukovodstvo po otsenke urovnya sodержaniya avtomobil'nykh dorog. Federal'naya dorozhnaya sluzhba Rossii. Mintrans RF. - M., 2003.
13. Ganchenko I.O., Akhmetov R.S. Metodika pedagogicheskogo kontrolya urovnya obshchey i spetsial'noy fizicheskoy podgotovlennosti kursantov vuzov MVD Rossii - sotrudnikov spetsial'nykh podrazdeleniy // Fizicheskaya kul'tura, sport - nauka i praktika. - 2012. - №3. - S. 26-30.
14. Gumenyuk O.V., Dobroborskiy B.S. Primenenie tablits Shul'te dlya otsenki povedeniya cheloveka v chrezvychaynykh situatsiyakh // Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh: Sbornik nauchnykh trudov VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Sankt-Peterburg: FGBOU VO «Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo». - 2014. - S. 90-93.
15. Dubrovskiy, V.I. Lechebnaya fizkul'tura i vrachebnyy kontrol' - M.: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo, 2016. - 600 c.
16. Ermolaeva, S. Vliyanie ekologicheskikh i sotsial'nykh faktorov na zdorov'e detey - M.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 124 c.
17. Lozhkina N.P., Lozhkina O.P. Samostoyatel'naya fizicheskaya podgotovka kursantov // Molodoy uchenyy. - 2015. - №12(92). - S. 838-841.
18. Morshchinina, D.V. Rol' fizicheskikh uprazhneniy v psikhologicheskoy podgotovke studentov uchebnykh zavedeniy grazhdanskoy aviatsii - M.: Nauchnyy vestnik MGTU GA, 2010. - №162. - 172 s.
19. Osmanova Z.O. Analiz faktorov vneshney sredy vliyayushchikh na deyatel'nost' promyshlennykh predpriyatiy // Nauchnyy vestnik: Finansy, banki, investitsii. - 2017. - №3. - S. 71-75.
20. Osipov D.V. Osobennosti spetsial'noy fizicheskoy podgotovki kursantov obrazovatel'nykh organizatsiy MVD Rossii // Nauka 2020. - №3(39). - 2020. - S. 24-177.

Borovik Vitaly Vitalievich

ГКУ «Directorate of Highways of the Volgograd Region»
 Adress: 400107, Russia, Volgograd
 Candidate of technical sciences
 E-mail: borovikv@mail.ru

Trubin Andrey Yurievich

ГКУ «Directorate of Highways of the Volgograd Region»
 Adress: 400107, Russia, Volgograd
 Head of department
 E-mail: trubinvlg@gmail.com

Borovik Anastasia Vitalievna

Institute of Construction and Architecture FGBU VO
 VolgGTU
 Adress: 400074, Russia, Volgograd
 Student, E-mail: borovik.a_1@mail.ru

Borovik Alexandra Vitalievna

Institute of Construction and Architecture FGBU VO
 VolgGTU
 Adress: 400074, Russia, Volgograd
 Student
 E-mail: boroviksasha1@bk.ru

Lepekhina Daria Mikhailovna

Institute of Construction and Architecture FGBU VO
 VolgGTU
 Adress: 400074, Russia, Volgograd
 Student
 E-mail: lepekhina66@mail.ru

Научная статья

УДК 621.113

doi:10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-132-138

В.В. ЕПИФАНОВ, С.И. ГУСЕВ, Е.Н. НИКИТИНА

ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

***Аннотация.** Статья посвящена прикладным проблемам внедрения инновационных беспилотных автомобилей в экономическую среду. Представлен анализ основных проблем, сдерживающих выход на эксплуатационный режим беспилотных автотранспортных средств. Предложена взаимосвязь традиционной системы ВАДС с системой функционирования беспилотного автотранспортного средства (СФБАС). Рассмотрены системы, входящие в СФБАС.*

***Ключевые слова:** беспилотный автомобиль, проблемы, система, инфраструктура, навигация*

Введение

В 2014 г. в США был утвержден первый национальный стандарт в сфере автономных АТС – SAE J3016 «Системы автоматизированного управления движением АТС. Классификация, термины и определения» (SAE J3016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to OnRoad Motor Vehicle Automated Driving Systems) [1]. Стандарт разрабатывался вновь созданным комитетом On-Road Automated Vehicle Standards Committee и содержит определения, терминологию и классификацию уровней автоматизации дорожных АТС. Рассматриваемый документ является основой для последующей разработки стандартов и определяет будущий язык общения сообщества, занимающегося вопросами автоматизированных и автономных АТС.

На сегодняшний день значительных успехов в создании и внедрении беспилотных автотранспортных средств (БАС) добились Япония, Китай, США и др. Первой за разработку полноценного беспилотного автомобиля взялась компания Google [2], и в дальнейшем активный интерес к разработке данной концепции проявили многие крупные автомобильные концерны, такие как BMW, Daimler, Toyota и Tesla и др. Например, в аэропортах многих городов мира работают или тестируются беспилотные автобусы.

Многие исследователи в мире сходятся во мнении, что рынок беспилотных автомобилей будет только расти, преодолев отметку в \$364,8 млрд. к 2035 году. Например, Китай к 2025 году планирует выпустить на дороги 20% высоко автономных автомобилей, а к 2030 году – 10 % полностью самоуправляемых. UBS заявляет, что к 2025 году 25 % продаж составят электрокары [3].

Материал и методы

В Российской Федерации в рамках плана мероприятий («дорожной карты») Национальной технологической инициативы по направлению «Автонет» (утверждена решением Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 24 июня 2016 г., протокол № 3) запланирована реализация ряда проектов, направленных на развитие инфраструктуры для автономных транспортных средств, в том числе создание полигона для комплексных испытаний автомобилей с системами помощи водителю и автономных автомобилей, создание и отработка технологий безлюдной добычи и перевозки твердых полезных ископаемых с применением роботизированной карьерной техники, а также создание на территории Российской Федерации высокоскоростных автотранспортных коридоров для автономных транспортных средств.

В РФ направление разработок систем беспилотного управления движением транспортных средств развивается менее успешно, однако значительный задел имеют ряд компаний: Яндекс, Cognitive technologies, ФГУП НАМИ, ПАО «КамАЗ», Avtorobotics и др [4].

При переходе к беспилотному автомобильному транспорту автомобилестроение сегодня сталкивается с рядом существенных экономических, технологических и политических ограничений. Выделим самые существенные.

Важным является документирование процедур внедрения и функционирования БАС. Законодательство во всех странах мира не адаптировано к использованию беспилотного транспорта. Так, компания Google смогла добиться разрешения на запуск беспилотного автомобиля лишь после того, как пролоббировала соответствующий закон в Неваде [5].

В свою очередь, разработка соответствующих законов представляется весьма непростой задачей, т. к. основной целью является обеспечение безаварийного движения в ходе взаимодействия традиционного и инновационного транспорта, и результат такого взаимодействия покажет, насколько современное общество готово к внедрению такой инновации. Важно отметить наличие временного лага между принятием закона и проявлением соответствующих результатов, по которым можно было бы судить о его эффективности.

Ещё одним важным аспектом является закономерное объединение политических и общественных сил, которые будут препятствовать потере водителями рабочих мест в результате внедрения автономного транспорта. Развитие новых технологий будет зависеть от структуры власти в стране и от того, насколько активны в ней политические силы.

Очевидно, что каждый новый беспилотный автомобиль в парке компании будет эквивалентен одному уволенному водителю. Закономерно предположить, что уволенные водители имеют некоторую силу убеждения, направленную на водителей, ещё находящихся в штате компании. Рост числа увольнений приведёт к росту недовольства водителей в компании, которые могут влиять на решения руководства посредством профсоюзной организации внутри предприятия, забастовок, невыходов на работу и других рычагов воздействия [6].

Не менее важно отметить значимость уровня жизни и степени расслоения общества в конкретном регионе, поскольку владелец беспилотного автомобиля должен быть платежеспособен, вовремя проводить техническую диагностику и соответствующий ремонт, чтобы минимизировать риск возникновения аварий.

Другой проблемой на сегодняшний день является фактическое несоответствие существующей транспортной инфраструктуры для функционирования БАС, включая состояния улично-дорожной сети, технических сооружений, ежегодное обновление и замена знаков дорожного движения, состояние светофоров и дорожной разметки, которые существенно различаются в разных странах. Это значит, что автопроизводитель должен будет адаптировать и регулярно обновлять ПО для каждого конкретного региона, что повлечёт за собой естественный рост издержек. Можно предположить, что решение этой проблемы лежит в интеграции автопроизводителей и законодательных структур. Но от мирового сообщества в целом потребуются решительный шаг навстречу инновациям, заключающийся во всеобщей унификации знаков и правил дорожного движения, которые будут легко распознаваться беспилотным транспортом.

Актуально применение системного подхода для идентификации процессов транспортной инфраструктуры и установлении взаимосвязей между ними.

Важную роль играют климатические условия. На сегодняшний день беспилотный транспорт использует систему, которая проводит сравнение между заранее запечатлённой местностью путём фотографирования и сканирующими устройствами автомобиля. В основе системы лежит технология идентификации объектов и определения расстояния, основанная на свойствах рассеивания и отражения света в различных средах. Таким образом, сложные погодные условия в виде осадков затрудняют работу датчиков и могут привести к неверной оценке ситуации автопилотом, что с высокой вероятностью повлечёт за собой аварийную ситуацию. Кроме того, важно отметить, что при движении большую часть времени автомобиль находится в зоне ограниченной дорожной разметки, которую при выпадении снега может быть не видно, и если человек за рулем автомобиля легко справится с этим неудобством,

то автопилот может не различить дороги и обочины. Эти факторы также обуславливают необходимость учитывать специфику каждого конкретного региона и вносить соответствующие поправки в работу автопилота.

Следующей проблемой, связанной с отсутствием водителя за рулём, является невозможность экстренного технического обслуживания. Подкачка шин во время движения или так называемые беспрокольные шины призваны частично решить этот вопрос, однако с заменой колеса при отсутствии водителя будут возникать существенные трудности. Исходя из этого, можно ожидать возникновения большого числа выездных автосервисов, и пока невозможно предположить какую-либо альтернативу их услугам.

Нельзя отрицать, что в ближайшем будущем технологии дозаправки автомобиля станут неизбежны, будь то традиционный транспорт или беспилотный. Рассматривая концепцию беспилотных транспортных средств, можно прийти к выводу, что возникает необходимость в разработке и создании конкретных и эффективных решений оплаты; т. к. водитель отсутствует, оплата будет производиться дистанционно, и, следовательно, для владельца важным будет вопрос соответствия уровня заправляемого топлива и счёта, выставяемого поставщиком. Кроме того, будет необходимо провести адаптацию заправочных станций к новым автомобилям.

Похожая ситуация будет возникать и при проверке документов на перевозимый груз на постах ДПС, т. к. на сегодняшний день автопилот не делает различий между просто человеком и сотрудником полиции. Подобные тонкости также потребуют дополнительного взаимодействия производителей и органов управления в каждой конкретной стране.

При отсутствии человека за рулём потребуется множество изменений в сфере обеспечения безопасности перевозимых грузов, т. к. автономный транспорт неизбежно станет мишенью для мошенников. Сегодня проблема взлома информационных систем является очень острой, и автопилотируемые ТС с высокой вероятностью будут подвергаться попыткам перехвата управления или внесения неполадок в работу ПО.

Теория / Расчет

Важно отметить, что БАС нельзя рассматривать как отдельный объект, независимый от других условий. Необходимо создавать систему функционирования БАС (СФБАС).

Традиционно специфические особенности и проблемы дорожного движения обусловлены, прежде всего, системой «водитель – автомобиль – дорога – среда движения» (ВАДС). В структуре системы можно выделить механическую подсистему АД – «автомобиль–дорога» и биомеханические подсистемы ВА – «водитель – автомобиль» и ВД – «водитель – дорога», а также подсистемы СВ, СА, СД. В данной интерпретации термин «среда» охватывает пешеходов, а также погодно-климатические факторы (метеорологическую видимость, осадки, ветер, температуру воздуха). Среда оказывает воздействие на водителя, автомобиль и дорогу в процессе их взаимодействия.

Применяя системный подход к технологии беспилотного автотранспортного средства (БАС) систему ВАДС можно преобразовать в «систему функционирования БАС (СФБАС), состоящую из подсистем «система управления БАС (СУБАС)», «система БАС (СБАС)», «инфраструктура БАС (ИБАС)», «среда БАС (СРБАС)» (рис. 1).

СУБАС – это алгоритмы функционирования беспилотных автомобилей, основанные на Байесовском методе синхронной локализации и создания карт (SLAM). Суть действия этих алгоритмов заключается в совмещении данных с карт и датчиков автомобиля. Так, SLAM и метод нахождения и отслеживания передвигающихся объектов (DATMO) были созданы и сегодня применяются компанией Google [7].

Ряд систем опирается на так называемые инфраструктурные системы [8], встроенные на самой дороге либо около неё. Однако новейшие технологии позволяют симулировать человеческое присутствие во время принятия решений о скорости и рулении благодаря наличию целого комплекса сенсоров, камер, систем спутниковой навигации и т.д.

Как правило, устанавливаются следующие датчики: система стереозрения, дальномер оптического распознавания, гиростабилизатор, система глобального позиционирования (например, Глонасс или GPS), а в некоторых случаях даже нейросети и машинное зрение.

СБАС состоит из механической и аппаратно-электронной частей.

Механическая часть включает шасси, кузов, двигатель (внутреннего сгорания, электропривод).



Рисунок 1 – Взаимосвязь систем ВАДС и СФБАС: СУБАС – система управления беспилотным транспортным средством; БАС – беспилотное транспортное средство; ИБАС – инфраструктура беспилотного транспортного средства; СРБАС – среда беспилотного транспортного средства

Аппаратная часть БА состоит из различных типов сенсоров [5]. Внутри автомобиля располагаются камеры переднего и заднего обзора, по изображению с которых происходит распознавание автомобилей, пешеходов, дорожных знаков и разметки, а также границ проезжей части. На крыше автомобиля, как правило, устанавливаются лазерные излучатели (ЛИДАРЫ), которые сканируют окружающее пространство. На основе информации об отражениях лучей составляется трёхмерная карта, с помощью которой вычисляются точные расстояния до тех или иных объектов вокруг машины. Машина также оборудована датчиками, определяющими её местоположение, скорость и направление движения. Это приёмники GPS/GLONASS, блок инерциальных измерителей и сенсоры, измеряющие одометрические данные машины, например, скорость вращения отдельных колёс.

Важным требованием, связанным с развитием технологий ИБАС, является их способность эффективно и безопасно взаимодействовать с окружающей инфраструктурой в различных дорожных ситуациях (например, взаимодействие с различными типами пользователей, неожиданными препятствиями) вне зависимости от внешних условий (например, плохих погодных условий или плохой видимости).

Необходимо развитие технологий беспроводной передачи данных для обеспечения максимально быстрого (мгновенного) обмена информацией БАС с автомобилями разной степени автономности между собой и с объектами инфраструктуры. Следует отметить, что на территории Российской Федерации отсутствуют стандарты на подобные системы связи.

Задачами своевременного и эффективного развития ИБАС в Российской Федерации являются [9]:

- обеспечение доступности и качества автотранспортных услуг для всех слоев населения в соответствии с транспортными стандартами;
- обеспечение ценовой доступности автотранспортных услуг для всех слоев населения в соответствии с социальными транспортными стандартами, в том числе за счет эффективной гибкой государственной тарифной политики;
- существенное снижение аварийности, рисков и угроз безопасности на автомобильном транспорте;
- значительное уменьшение вредного воздействия транспорта на окружающую среду;

- снижение потерь, связанных с транспортными заторами в городах и на подходах к ним;
- уменьшение уровня энергоемкости автомобильного и городского электрического транспорта.

Несмотря на то, что автономный подход предполагает машинное обучение по преодолению недостатков существующей инфраструктуры, определенные пробелы в инфраструктуре создают серьезные препятствия для применения такой технологии. Целесообразно применение механизмов государственно-частного партнерства или приватизация государственных участков или объектов дорожной инфраструктуры, которые потребуют модернизации, в том числе оснащения необходимым оборудованием сервиса безопасности (автомобиль - инфраструктура) и адаптации дорожного полотна, разметки, знаков и парковочных мест для эксплуатации транспортных средств различного уровня автономности.

Вслед за закреплением обязанности оснащать на территории Европейского союза все транспортные средства современными системами помощи водителю, такими, как АЕBS (правила Европейского союза 347/2012, 2015/562) и LDW (правило Европейского союза 351/2012), ужесточение требований по безопасности закономерно потребует обеспечения возможности взаимодействия со светофорами, дорожными знаками, другими участниками движения для получения новой и дополнительной информации.

Приоритетное значение имеет создание «умной» инфраструктуры (или «разумного» города) на основе телематических и интеллектуальных транспортных систем [10, 11].

Результаты

Основными направлениями стимулирования развития инфраструктуры для беспилотного транспорта и «разумного» города являются:

- создание интеллектуальных транспортных систем для мониторинга и управления функционированием автомобильного и городского электрического;
- разработка модели информационного взаимодействия транспортных средств, объектов инфраструктуры и пользователей автомобильного и городского электрического транспорта;
- разработка требований к государственным информационным системам, а также к информационным системам, входящим в состав объектов концессионных соглашений, при функционировании которых предполагается использование навигационной информации, обеспечивающих использование составных частей государственной автоматизированной информационной системы «ЭРА-ГЛОНАСС» в создаваемых информационных системах;
- разработка типовых моделей и выработка требований (рекомендаций) к оснащению транспортных средств и инфраструктуры информационно-телекоммуникационными средствами автомобильного и городского электрического транспорта для различных территорий, принятие соответствующих нормативных (рекомендательных) документов, в том числе по порядку и срокам оснащения;
- разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем, в том числе обслуживающих интермодальные перевозки, с использованием глобальной навигационной системы ГЛОНАСС и современных диспетчерских и логистических технологий.

Выводы

Вероятно, даже самые развитые системы управления трафиком переживут глобальную модернизацию после того, как беспилотники вытеснят с дорог традиционные автомобили, и мы увидим новый мир без светофоров, дорожных камер и «лежащих полицейских». Однако в ближайшее время полный переход на беспилотные автомобили маловероятен. А вот рост числа «разумных» городов - это вполне реальная перспектива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шадрин С.С. Методология создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2017. – 34 с.

2. Антонов А. Как это работает: беспилотный автомобиль Google [Электронный ресурс] / Роботоша. – Режим доступа: <http://robotosha.ru/robotics/how-it-worksdriverless-car-google.html>
3. Гусев С.И., Епифанов В.В. Система функционирования беспилотного автотранспортного средства // – Вестник УлГТУ. – №4. – 2019. – С. 43-46.
4. Робототехника Инженерно-технические кадры инновационной России [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://russianrobotics.ru/>
5. Власти Невады легализовали автомобили, управляемые компьютером [Электронный ресурс] // РИА Новости. – Режим доступа: <https://ria.ru/science/20110627/393955727.html>
6. Минделл, Д. Восстание машин отменяется! Мифы о роботизации - М.: Альпина нонфикшн, 2016. – 310 с.
7. Комаров, В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика – М.: НТБ «Энергия», 2012. – 158 с.
8. ГОСТ Р 56294-2014 Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем.
9. Соколов В.Г. Удаленный контроль параметров движения автомобиля [Электронный ресурс] / Автомобиль. Дорога. Инфраструктура: электронный научный журнал. - 2017. - №2(12). – Режим доступа: http://www.adi-madi.ru/madi/article/view/421/pdf_282.
10. Омельченко И.Н., Александров А.А., Бром А.Е., Белова О.В. Основные направления развития логистики XXI века: ресурсосбережение, энергетика и экология [Электронный ресурс] / Гуманитарный вестник. - 2013. - №10(12). – Режим доступа: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/118.html>
11. Соколов В.Г. Удаленный контроль параметров движения автомобиля [Электронный ресурс] / Автомобиль. Дорога. Инфраструктура: электронный научный журнал. - 2017. - №2(12). – Режим доступа: http://www.adi-madi.ru/madi/article/view/421/pdf_282
12. Булатов, С.В. Анализ современного состояния и проблем пассажирского автомобильного транспорта // Наука и техника транспорта. – 2017. – №1. – С. 29-32.
13. Бондаренко Е.В., Дрючин Д.А., Булатов С.В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №2. – С. 71-78.
14. Бойко Н.Е., Калинина Е.А. Повышение эффективности функционирования автотранспортного предприятия на базе системного подхода к управлению службой ремонта // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. Т. 2. – 2019. – №1. – С. 49-59.
15. Шилковский В.Н., Гольштейн Г.Ю. Методические основы обоснования мощностей объекта технического сервиса // Resources and technology. – 2020. – Т. 17. – №4. – С. 95-106.
16. Пестриков С.А., Шумков А.Г. Методика оценки эффективности организации технического обслуживания и ремонта на примере транспортного подразделения филиала ОАО «МРСК Урала» - «Пермэнерго» // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. - 2019. - №1. - С 233-244.
17. Зуева О.Н., Вдовин С.С. Рациональное размещение предприятий сервисного обслуживания автотранспортных средств - основа гармоничного развития логистической инфраструктуры крупнейшего города // Journal of new economy. - 2011. - №6(38). - С. 127-135.

Епифанов Вячеслав Викторович

Ульяновский государственный технический университет
Адрес: 432700, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32
Д.т.н., профессор кафедры «Автомобили»
E-mail: v.epifanov73@mail.ru.

Гусев Сергей Иванович

Ульяновский государственный технический университет
Адрес: 432700, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32
Аспирант
E-mail: sergey-gusev1996@yandex.ru.

Никитина Елена Николаевна

Ульяновский государственный технический университет
Адрес: 432700, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32
Аспирант
E-mail: elena_nikitina@mail.ru

V.V. EPIFANOV, S.I. GUSEV, E.N. NIKITINA

PROBLEMS OF FUNCTIONING OF UNMANNED VEHICLES

Abstract. The article is devoted to the applied problems of introducing innovative self-driving cars into the economic environment. The analysis of the main problems hindering the entry into operation of unmanned vehicles is presented. The relationship between the traditional VADS system and the system of functioning of an unmanned vehicle (SFBAS) is proposed. The systems included in the SFBAS are considered.

Keywords: self-driving car, problems, system, infrastructure, navigation

BIBLIOGRAPHY

1. Shadrin S.S. Metodologiya sozdaniya sistem upravleniya dvizheniem avtonomnykh kolesnykh transportnykh sredstv, integrirovannykh v intellektual'nyy transportnyy sredu: Avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. - M., 2017. - 34 s.
2. Antonov A. Kak eto rabotaet: bespilotnyy avtomobil` Google [Elektronnyy resurs] / Robotosha. - Rezhim dostupa: <http://robotosha.ru/robotics/how-it-worksdriverless-car-google.html>
3. Gusev S.I., Epifanov V.V. Sistema funktsionirovaniya bespilotnogo avtotransportnogo sredstva // - Vestnik UIGTU. - №4. - 2019. - S. 43-46.
4. Robototekhnika Inzhenerno-tehnicheskie kadry innovatsionnoy Rossii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://russianrobotics.ru/>
5. Vlasti Nevady legalizovali avtomobili, upravlyaemye komp'yuterom [Elektronnyy resurs] // RIA Novosti. - Rezhim dostupa: <https://ria.ru/science/20110627/393955727.html>
6. Mindell, D. Vosstanie mashin otmenyaetsya! Mify o robotizatsii - M.: Al`pina nonfikshn, 2016. - 310 s.
7. Komarov, V.V. Arkhitektura i standartizatsiya telematicheskikh i intellektual'nykh transportnykh sistem. Zarubezhnyy opyt i otechestvennaya praktika - M.: NTB «Energiya», 2012. - 158 s.
8. GOST R 56294-2014 Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh sistem.
9. Sokolov V.G. Udalennyy kontrol` parametrov dvizheniya avtomobilya [Elektronnyy resurs] / Avtomobil`. Doroga. Infrastruktura: elektronnyy nauchnyy zhurnal. - 2017. - №2(12). - Rezhim dostupa: http://www.adimadi.ru/madi/article/view/421/pdf_282.
10. Omel'chenko I.N., Aleksandrov A.A., Brom A.E., Belova O.V. Osnovnye napravleniya razvitiya logistiki HHI veka: resursosberezhenie, energetika i ekologiya [Elektronnyy resurs] / Gumanitarnyy vestnik. - 2013. - №10(12). - Rezhim dsotupa: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/118.html>
11. Sokolov V.G. Udalennyy kontrol` parametrov dvizheniya avtomobilya [Elektronnyy resurs] / Avtomobil`. Doroga. Infrastruktura: elektronnyy nauchnyy zhurnal. - 2017. - №2(12). - Rezhim dostupa: http://www.adimadi.ru/madi/article/view/421/pdf_282
12. Bulatov, S.V. Analiz sovremennogo sostoyaniya i problem passazhirskogo avtomobil'nogo transporta // Nauka i tekhnika transporta. - 2017. - №1. - S. 29-32.
13. Bondarenko E.V., Dryuchin D.A., Bulatov S.V. Otsenka tselesoobraznosti organizatsii vkhodnogo kontrolya kachestva zapasnykh chastey v usloviyakh avtotransportnogo predpriyatiya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - №2. - S. 71-78.
14. Boyko N.E., Kalinina E.A. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya avtotransportnogo predpriyatiya na baze sistemnogo podkhoda k upravleniyu sluzhboy remonta // Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva. T. 2. - 2019. - №1. - S. 49-59.
15. Shilovskiy V.N., Gol'shteyn G.Yu. Metodicheskie osnovy obosnovaniya moshchnostey ob"ekta tekhnicheskogo servisa // Resources and technology. - 2020. - T. 17. - №4. - S. 95-106.
16. Pestrikov S.A., Shumkov A.G. Metodika otsenki effektivnosti organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na primere transportnogo podrazdeleniya filiala OAO «MRSK Urala» - «Permenergo» // Vestnik PNIPU. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki. - 2019. - №1. - S 233-244.
17. Zueva O.N., Vdovin S.S. Ratsional'noe razmeshchenie predpriyatiy servisnogo obsluzhivaniya avtotransportnykh sredstv - osnova garmonichnogo razvitiya logisticheskoy infrastruktury krupneyshego goroda // Journal of new economy. - 2011. - №6(38). - S. 127-135.

Epifanov Vyacheslav Viktorovich

Ulyanovsk State Technical University
Adress: 432700, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets str.
Doctor of technical scienc
E-mail: v.epifanov73@mail.ru

Nikitina Elena Nikolaevna

Ulyanovsk State Technical University
Adress: 432700, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets str.
Postgraduate student
E-mail: elena_nikitina@mail.ru

Gusev Sergey Ivanovich

Ulyanovsk State Technical University
Adress: 432700, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets str.
Postgraduate student
E-mail: sergey-gusev1996@yandex.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями
к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70%), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать не менее 20-ти источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
Учреждение или организация
Адрес
Ученая степень, ученое звание, должность
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77
Тел.+7 905 856 6556
www.oreluniver.ru.
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 08.12.2022 г.
Дата выхода в свет 23.12.2022 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 8,8
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 209

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95