

ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies
VOLUME 14, NUMBER 3, 2024



International Journal of Advanced Studies

Том 14, № 3
2024

Vol. 14, No. 3
2024

Transport and Information Technologies
IJAS:T&IT

Главный редактор

А.В. Остроух д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Российская Федерация)

Editor-in-Chief

Andrey V. Ostroukh Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department 'Automated Control Systems' (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation)

Шеф-редактор - Максимов Я.А.

Выпускающие редакторы - Доценко Д.В., Максимова Н.А.

Корректор - Зливко С.Д.

Компьютерная верстка, дизайн - Орлов Р.В.

Технический редактор, администратор сайта - Бяков Ю.В.

Ответственный секретарь - Коробцева К.А.

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies
IJAS:T&IT

Специализированный научно-технический рецензируемый журнал
Peer-reviewed specialized science and technology journal

Периодичность. 4 номера в год / Periodicity. 4 issues per year

Том 14, № 3, 2024 / Vol. 14, No 3, 2024

<p>Учредитель и издатель: ООО Научно-инновационный центр</p> <p>Журнал основан в 2011 году Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 63681 от 10.11.2015</p> <p>Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (Категория К2)</p> <p>Индексирование и реферирование: РИНЦ Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE ЭБС IPRbooks ЭБС Znanium ЭБС Лань</p> <p>Адрес редакции, издателя и для корреспонденции: Россия, 660127, Красноярский край, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192 E-mail: ijas@ijournal-as.com http://ijournal-as.com/ +7 (995) 080-90-42</p>	<p>Founder and publisher: Science and Innovation Center Publishing House</p> <p>Founded 2011 The edition is registered by the Federal Service of Intercommunication and Mass Media Control Mass media registration certificate EL № FS 77 - 63681, issued November 10, 2015.</p> <p>International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications issued in the Russian Federation, which should publish main scientific results of doctor's and candidate's theses (Category C2)</p> <p>Indexing and Abstracting: RSCI Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE IPRbooks Znanium Lan'</p> <p>Editorial Board Office: 9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation E-mail: ijas@ijournal-as.com http://ijournal-as.com/ +7 (995) 080-90-42</p>
--	---

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2024

Editorial Board Members

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Tatiana V. Avdeenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Leading Researcher (Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation).

Vitaly N. Vasilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Technology (Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation).

Alexey V. Voropay, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms and Machines (Kharkiv National Automobile & Highway University, Kharkov, Ukraine).

Vladimir A. Dresvyannikov, Doctor of Economics, Assistant Professor, Professor of the Department of Management and Economic Security (Penza State University, Penza, Russian Federation).

Elena V. Erokhina, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Production Organization and Management (Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation).

Sultan V. Zhankaziev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Traffic Organization and Safety, Intelligent Transport Systems (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation).

Nikolay S. Zakharov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Technological Machines Service (Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation).

Sergey V. Kosyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software for Computer Systems (Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation).

Andrey V. Kochetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Technological Machines (Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation).

Mikhail N. Krasnyanskiy, Doctor of Technical Sciences, Rector (Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation).

Aleksey L. Manakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Technology of Transport Engineering and Machine Operation", Rector (Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation).

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Management of Operational Work" (Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport, St. Petersburg, Russian Federation).

Boris Yu. Serbinovskiy, Doctor of Economics, Professor of the Department of Systems Analysis and Management of the Faculty of High Technologies (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation).

Ilya A. Khodashinsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Systems in Management and Design (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation).

Vyacheslav P. Shuvalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Discrete Communications and Metrology (Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, Russian Federation).

Nikolai N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Transport (Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation).

Члены редакционной коллегии

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Авдеенко Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АСУ, вед. науч. сотрудник НОЦ ИИТБ (Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация).

Василенко Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор, декан Технологического факультета (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация).

Воропай Алексей Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Деталей машин и теории механизмов и машин (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина).

Дресвянников Владимир Александрович, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Менеджмент и экономическая безопасность» (Пензенский государственный университет, Пенза, Российская Федерация).

Ерохина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры организации и управления производством (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация).

Жанказиев Султан Владимирович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой "Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы" (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация).

Захаров Николай Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин (Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация).

Косяков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем (ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", Иваново, Российская Федерация).

Кочетков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры автомобиля и технологические машины (ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация).

Краснянский Михаил Николаевич, доктор технических наук, ректор (Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация).

Манакон Алексей Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», ректор (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»), г. Новосибирск, Российская Федерация).

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой» (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Сербиновский Борис Юрьевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления факультета высоких технологий (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация).

Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация).

Шувалов Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии (Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация).

Якунин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта (Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация).

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-245

УДК 531.8



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский

*Цель исследования - понять стабильность автомобильных систем путем изучения параметрических колебаний. Функцию Матье используют для вычисления собственных значений системы, которые имеют решающее значение для определения поведения системы с течением времени. Результаты исследования выявляют зону резонанса системы и предоставляют алгоритм вычисления собственных значений функций Матье. Результаты этого исследования могут быть применены при анализе различных транспортных систем для оценки их устойчивости. Эти знания могут быть использованы для повышения комфорта и эксплуатационных характеристик транспортных средств за счет минимизации воздействия параметрических колебаний. В исследовании делается **вывод** о том, что анализ параметрических колебаний в автомобильных системах может дать ценную информацию о стабильности системы. Для более глубокого анализа исследование предполагает, что численное интегрирование следует использовать, когда глубина модуляции невелика. Такой подход позволит получить более точное представление о поведении системы.*

Ключевые слова: параметрическое колебание; автомобильная система; уравнение Матье; резонанс

Для цитирования. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование параметрических колебательных движений в автомобильной системе // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 3. С. 7-22. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-245

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

INVESTIGATION OF PARAMETRIC OSCILLATORY MOVEMENTS IN THE AUTOMOTIVE SYSTEM

T.V. Avetisyan, Y.E. Lvovich, A.P. Preobrazhensky

*The **aim** of the study is to understand the stability of automotive systems by studying parametric oscillations. The Mathieu function is used to calculate the eigenvalues of the system, which are crucial for determining the behavior of the system over time. The **results** of the study reveal the resonance zone of the system and provide an algorithm for calculating the eigenvalues of Mathieu functions. The results of this study can be applied to the analysis of various transport systems to assess their stability. This knowledge can be used to improve the comfort and performance of vehicles by minimizing the impact of parametric fluctuations. The study **concludes** that the analysis of parametric fluctuations in automotive systems can provide valuable information about the stability of the system. For a deeper analysis, the study suggests that numerical integration should be used when the modulation depth is low. This approach will allow you to get a more accurate understanding of the management of the system.*

Keywords: *parametric oscillation; automotive system; Mathieu equation; resonance*

For citation. *Avetisyan T.V., Lvovich Y.E., Preobrazhensky A.P. Investigation of Parametric Oscillatory Movements in the Automotive System. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 7-22. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-245*

Введение

В автомобильной системе можно колебательную систему, представить в виде совокупности определенного числа упруго связанных масс. Конкретное ее представление определяется конструктивными особенностями автомобилей.

Вибрации в двигателях достаточно часто обусловлены проявлением такого явления, как пропуски зажигания внутри одного или нескольких цилиндров. Если для одного или нескольких цилиндров не наблюдается процесс возгорания топливной смеси, тогда это будет негативным образом сказываться на мощности в целом двигателя. Как результат, возникает вибрирование (или «колебание») автомобиля в ходе его ускорения. Вследствие пропусков зажигания будут провоцироваться вибрации. Одной из возможных задач при этом может быть выяснение того, что было причиной в пропусках зажигания.

Достаточно распространенной среди причин исследователи отмечают обедненную смесь, внутри которой довольно мало топлива и, при этом, много воздуха. Как самая частая причина в нарушении подачи топлива указывается засорение в топливных фильтрах, неисправности внутри топливных насосов или регуляторов, кроме этого, есть загрязнение или выход из строя топливных форсунок.

Различные колебания и вибрации кузова будут наблюдаться в ходе движения автомобиля. С точки зрения того, как они будут воздействовать на организм людей, могут быть разные варианты. Есть колебания до 900...1100 колебаний в минуту, что соответствует низкой частоте. Они будут восприниматься людьми в виде отдельных циклов изменений нагрузок или положений. Вибрации соответствуют колебаниям при более высоких частотах. Они будут восприниматься слитно.

Диапазон, который соответствует от 80 до 150 колебаний в минуту, будет соответствовать частотам колебаний кузова на амортизаторах. Диапазон, который соответствует от 360 до 900 колебаний в минуту будет соответствовать колебаниям осей между амортизаторами и землей. Диапазон, который соответствует от 1000 до 4200 колебаний в минуту будет соответствовать частотам колебаний элементов двигателя, трансмиссии и кузова.

Комфортабельность автомобилей должна быть повышена. Для этого необходимо обеспечить, чтобы амплитуда колебаний была

уменьшена. В ряде случаев удается достичь, чтобы амплитуды колебаний были меньше, чем 35...40 мм. При этом колебания головы за счет амортизационной способности человеческого организма полным образом будут устранены. Большие амплитуды ведут к проявлению колебаний головы. С точки зрения физиологии это обуславливает неприятные ощущения и быструю усталость.

Среди значимых факторов, которые будут оказывать влияние на организм человека, можно отметить частоту колебаний. Исследователями было подтверждено, что при числе колебаний, которое будет достигать менее 50 колебаний в минуту ведет к тому, что «морская болезнь» достаточно часто проявляется у пассажиров. Могут ощущаться резкие толчки. Они проявляются, когда будет превышение 130 колебаний в минуту. В зависимости от того, какие частоты колебаний, на людей разные параметры в колебательных процессах при колебаниях могут оказывать свое воздействие. Есть зависимость их энергетические затрат и нервных нагрузок.

Ощущения, как показывает анализ, в основном пропорциональны ускорениям в ходе колебаний. Низкочастотный диапазон колебаний автомобильной системы относится к нескольким колебаниям в минуту. Вертикальные ускорения рассматриваются в виде достаточного распространенного измерителя в автомобильной технике. Их определяют по характерным точкам колебательных автомобильных систем.

Целью данной работы является рассмотрение параметрических колебаний в автомобильной системе.

Описание параметрического резонанса

Дадим описание параметрического резонанса на примере линейной автомобильной системы. Используется следующее дифференциальное уравнение

$$\ddot{x} + \omega_0^2(1 - \mu \cos \Omega t)x = 0. \quad (1)$$

В нем ω_0 является частотой собственных колебаний.

Уравнение (1) – это уравнение Матье. Решение уравнения Матье записывается в следующем виде

$$x = c_1\chi(t)\exp(\lambda t) + c_2\chi(-t)\exp(-\lambda t) \quad (2)$$

Здесь $\chi(t)$ являются ограниченными функциями. В выражении λ – это характеристический показатель. При рассмотрении его вещественной части можно говорить о поведении решения с точки зрения возрастания или убывания.

Специальные функции– функции Матье позволяют описать (2) при произвольном μ .

Известно, что уравнение Матье (1) может иметь такие периодические решения,

$$\begin{aligned} {}_c C_{2m+p}(z, q) &= \sum_n A_{2n+p}^{2m+p} \cos(2n + p)z, \\ {}_s C_{2m+p}(z, q) &= \sum_n A_{2n+p}^{2m+p} \sin(2n + p)z, \quad (p = 0, 1), \end{aligned} \quad (3)$$

которые называются функциями Матье [1, 2].

В ходе исследований были созданы алгоритм и машинная программа, позволяющая проводить расчет функций Матье и их нулей.

Представим, что в уравнение (1) можно осуществить подстановку любого из рядов (3). Также приравняем нулю коэффициенты при $\cos(2nz)$, $\cos((2n + 1)z)$, $\sin(2nz)$, $\sin((2n + 1)z)$ с учетом $n = 0, 1, 2, \dots$. В таких случаях приходим к рекуррентным соотношениям [3]:

$$aA_0 - qA_2 = 0;$$

$$(a - 4)A_2 - q(A_4 + 2A_0) = 0; \quad (4)$$

$$(a - 4r^2)A_{2r} - q(A_{2r+2} + A_{2r-2}) = 0;$$

$$(a - 1 - q)A_1 - qA_3 = 0;$$

$$[a - (2r + 1)^2]A_{2r+1} - q(A_{2r+3} + A_{2r-1}) = 0; \quad (5)$$

$$(a - 1 + q)B_1 - qB_3 = 0;$$

$$[a - (2r + 1)^2]B_{2r+1} - q(B_{2r+3} + B_{2r-1}) = 0; \quad (6)$$

$$(a - 4)B_2 - qB_4 = 0;$$

$$(a - 4r^2)B_{2r} - q(B_{2r+2} + B_{2r-2}) = 0 \quad (7)$$

Для определения коэффициентов разложения $A_{2r}, A_{2r+1}, B_{2r}, B_{2r+1}$ в (3.23) используются условия нормировки [3]

$$\begin{aligned} 2[A_0]^2 + \sum_{r=1}^{\infty} [A_{2r}]^2 &= 1, \\ \sum_{r=0}^{\infty} [A_{2r+1}]^2 &= 1, \\ \sum_{r=0}^{\infty} [B_{2r+1}]^2 &= 1, \\ \sum_{r=0}^{\infty} [B_{2r+2}]^2 &= 1. \end{aligned} \quad (8)$$

Собственные значения

Собственные значения, при которых уравнение (1) имеет решения ${}_c C_{2m}(z, q)$, обычно обозначаются $a_{2m}(q)$. Для расчета собственных значений $a_{2m}(q)$ [4, 5] удобно воспользоваться трансцендентными уравнениями, соответствующими ветвям $p_{2m} = p_{2m}(q)$ кривой $p = p(q)$

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{-2q^2}{4 - a_0 - \frac{q^2}{16 - a_0 - \frac{q^2}{36 - a_0 - \dots - \frac{q^2}{4k^2 - a_0 - \dots}}}} \\ a_2 &= 4 + \frac{2q^2}{a_2 - \frac{q^2}{16 - a_2 - \frac{q^2}{36 - a_2 - \frac{q^2}{64 - a_2 - \dots - \frac{q^2}{4k^2 - a_2 - \dots}}}} \\ a_{2m} &= (2m)^2 + \frac{q^2}{a_{2m} - (2m - 2)^2 - \frac{q^2}{a_{2m} - (2m - 4)^2 - \dots - \frac{q^2}{a_{2m} - 4 - \frac{2q^2}{a_{2m}}}} \end{aligned}$$

$$\frac{q^2}{(2m+2)^2 - a_{2m} - \frac{q^2}{(2m+4)^2 - a_{2m} - \dots - \frac{q^2}{(2m+2k)^2 - a_{2m} - \dots}} \quad (9)$$

Выше рассматривалась функция Матье с четным индексом ${}_c C_{2m}(z, q)$. По аналогии можно найти условия существования решений вида ${}_c C_{2m+1}(z, q)$, ${}_s C_{2m+1}(z, q)$, ${}_s C_{2m+2}(z, q)$ и собственные значения $a_{2m+1}(q)$, $b_{2m+2}(q)$, $b_{2m+1}(q)$, Трансцендентные уравнения, которые относятся к собственным значениям уравнения Матье a_{2m+1} , b_{2m+2} , b_{2m+1} имеют следующий вид [6].

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 1 + q - \frac{q^2}{9 - a_1 - \frac{q^2}{25 - a_1 - \frac{q^2}{49 - a_1 - \dots - \frac{q^2}{(2k+1)^2 - a_1 - \dots}}}}; \\
 a_{2m+1} &= (2m+1)^2 + \frac{q^2}{a_{2m+1} - (2m-1)^2 - \frac{q^2}{a_{2m+1} - (2m-3)^2 - \dots - \frac{q^2}{a_{2m+1} - 1 - q}}}; \\
 &= \frac{q^2}{(2m+3)^2 - a_{2m+1} - \frac{q^2}{(2m+5)^2 - a_{2m+1} - \dots - \frac{q^2}{(2m+2k+1)^2 - a_{2m+1} - \dots}} \quad (10) \\
 b_2 &= 4 - \frac{q^2}{16 - b_2 - \frac{q^2}{36 - b_2 - \frac{q^2}{64 - b_2 - \dots - \frac{q^2}{(2k+2)^2 - b_2 - \dots}}}};
 \end{aligned}$$

$$b_{2m+2} = (2m+2)^2 + \frac{q^2}{b_{2m+2} - (2n)^2 - \frac{q^2}{b_{2m} - (2m-2)^2 - \dots - \frac{q^2}{b_{2m+2} - 4}} - \frac{q^2}{(2m+4)^2 - b_{2m+2} - \frac{q^2}{(2m+6)^2 - b_{2m+2} - \dots - \frac{q^2}{(2m+2k+2)^2 - b_{2m+2} - \dots}} \quad (11)$$

$$b_1 = 1 - q - \frac{q^2}{9 - b_1 - \frac{q^2}{25 - b_1 - \frac{q^2}{49 - b_1 - \dots - \frac{q^2}{(2k+1)^2 - b_1 - \dots}}}};$$

$$b_{2m+1} = (2m+1)^2 + \frac{q^2}{b_{2m+1} - (2m-1)^2 - \frac{q^2}{b_{2m+1} - (2m-3)^2 - \dots - \frac{q^2}{b_{2m+1} - 1 + q}} - \frac{q^2}{(2m+3)^2 - b_{2m+1} - \frac{q^2}{(2m+5)^2 - b_{2m+1} - \dots - \frac{q^2}{(2m+2k+1)^2 - b_{2m+1} - \dots}} \quad (12)$$

При малых значениях параметра q ($q < 1$) для расчета функций Матье используются их разложения по этому параметру [7].

$${}_c C_0(z, q) = 2^{-1/2} \left[1 - \frac{q}{2} \cos(2z) + q^2 \left(\frac{\cos(4z)}{32} - \frac{1}{16} \right) - q^3 \left(\frac{\cos(6z)}{1152} - \frac{11 \cos(2z)}{128} \right) + \dots \right],$$

$${}_c C_1(z, q) = \cos(z) - \frac{q}{8} \cos(3z) + q^2 \left(\frac{\cos(5z)}{192} - \frac{\cos(3z)}{64} - \frac{\cos(z)}{128} \right) - q^3 \left(\frac{\cos(7z)}{9216} - \frac{\cos(5z)}{1152} - \frac{\cos(3z)}{3072} + \frac{\cos(z)}{512} \right) + \dots$$

$${}_c C_2(z, q) = \cos(2z) - q \left(\frac{\cos(4z)}{12} - \frac{1}{4} \right) + q^2 \left(\frac{\cos(6z)}{384} - \frac{19 \cos(2z)}{288} \right) + \dots, \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
{}_s C_1(z, q) &= \sin(z) - \frac{q}{8} \sin(3z) + q^2 \left(\frac{\sin(5z)}{192} + \frac{\sin(3z)}{64} - \frac{\sin(z)}{128} \right) - \\
&\quad - q^3 \left(\frac{\sin(7z)}{9216} + \frac{\sin(5z)}{1152} - \frac{\sin(3z)}{3072} - \frac{\sin(z)}{512} \right) + \dots \\
{}_c C_r(z, q) \Big\} &= \cos(rz - p\pi/2) - q \left\{ \frac{\cos[(r+2)z - p\pi/2]}{4(r+1)} - \frac{\cos[(r-2)z - p\pi/2]}{4(r-1)} \right\} + \\
{}_s C_r(z, q) \Big\} &+ q^2 \left\{ \frac{\cos[(r+4)z - p\pi/2]}{32(r+1)(r+2)} + \frac{\cos[(r-4)z - p\pi/2]}{32(r-1)(r-2)} - \frac{\cos[rz - p\pi/2]}{32} \left[\frac{2(r^2+1)}{(r^2-1)^2} \right] \right\} + \dots,
\end{aligned}$$

где $p = 0$ для ${}_c C_r(z, q)$, $p = 1$ для ${}_s C_r(z, q)$ ($r > 3$).

Решение уравнения

Задача (1) может быть решена на основе простых функций, в предположении, что $\mu \ll 1$. В случае, когда $\mu=0$ решение представляется в таком виде

$$x(t) = x_0(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi). \quad (14)$$

В этой связи можно предполагать, что при $\mu \neq 0$ и достаточно малом, решение будет не сильным образом отличающимся от известного. Вычисление поправок можно проводить на основе рекуррентного подхода [8]. Последующие приближения базируются на предыдущих. Предлагается применять теорию возмущений. Решение (1) представляется в таком виде

$$x(t) = x_0(t) + \mu x^{(1)}(t) + \mu^2 x^{(2)}(t) + \dots + \mu^n x^{(n)}(t). \quad (15)$$

Требуется обеспечить асимптотическую сходимость этого ряда. Решение, представляемое в виде (15), имеет смысл, если поправки $x^{(i)}$ для нулевого приближения x_0 не будут нарастать с течением времени. Осуществим подстановку (15) в (1), проведем группировку членов, которые соответствуют одинаковым степеням μ . Тогда приходим к уравнению (16).

$$\begin{aligned}
&\ddot{x}_0 + \omega_0^2 x + \mu [\ddot{x}^{(1)}(t) + \omega_0^2 x^{(1)}(t) - x_0 \omega_0^2 \cos \Omega t] + \\
&\quad + \mu^2 [\ddot{x}^{(2)}(t) + \omega_0^2 x^{(2)}(t) - x^{(1)}(t) \omega_0^2 \cos \Omega t] + \dots \\
&\quad \dots + \mu^n [\ddot{x}^{(n)}(t) + \omega_0^2 x^{(n)}(t) - x^{(n-1)}(t) \omega_0^2 \cos \Omega t] \equiv 0 \quad (16)
\end{aligned}$$

Видно, что выражения внутри скобок разные. Они не могут скомпенсировать друг друга. В таком случае должно быть равенство нулю любой из скобок. После записи всех выражений будет рекуррентная система уравнений. При ее решении можно определить i -е приближение. Видно, из (16), что уравнение относится к гармоническому осциллятору. На этот осциллятор будет воздействовать внешняя сила, как набор гармоник. Рассматривается выражение, на основе которого можно определить поправку первого приближения $x^{(1)}$

$$\ddot{x}^{(1)}(t) + \omega_0^2 x^{(1)}(t) = \omega_0^2 A \cos(\omega_0 t + \varphi) \cos \Omega t, \quad (17)$$

то есть

$$\ddot{x}^{(1)}(t) + \omega_0^2 x^{(1)}(t) = \frac{\omega_0^2 A}{2} \{ \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi] + \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi] \}. \quad (18)$$

Для частот $(\omega_0 - \Omega)$ и $(\omega_0 + \Omega)$ есть две гармонических составляющих, соответствующих вынуждающей силе. Требуется, чтобы такие гармоники не резонировали с колебаниями на частоте ω_0 . При этом нет роста со временем поправки $x^{(1)}(t)$. Тогда $|\omega_0 - \Omega| \neq \omega_0$ и $\Omega \neq 2\omega_0$. Будет наблюдаться секулярный рост во времени поправки $x^{(1)}(t)$, когда наблюдается резонанс. Поэтому решение типа $x(t) = x_0(t) + \mu x^{(1)}(t)$ следует рассматривать для времен порядка нескольких периодов. Будем рассматривать не как постоянные величины Амплитуду и фазу в главной части решения. Они считаются медленно меняющимися функций времени. Тогда будет зависимость $A = A(\mu t)$, $\varphi = \varphi(\mu t)$.

Проведем рассмотрение резонансного случая $\Omega = 2\omega_0 + \mu\delta$, здесь $\mu\delta = \delta'$ является малой расстройкой. В таком случае (1) будет принимать вид

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \mu \omega_0^2 \cos[(2\omega_0 + \delta')t] x. \quad (19)$$

Решение для него такое

$$x(t) = A(\mu t) \cos[(\omega_0 + \delta'/2)t] + B(\mu t) \sin[(\omega_0 + \delta'/2)t] + \mu x^{(1)}(t). \quad (20)$$

При этом $A(\mu t)$ и $B(\mu t)$ являются функциями времени. Они будут медленно меняться по сравнению с функциями $\cos(\dots)$ и $\sin(\dots)$. Определять такие функции будем из того условия, что не будет роста в слагаемом $x^{(1)}(t)$. Сделаем подстановку (20) в (19)

и обеспечим равенство коэффициентов μ , которые относятся к первой степени. При этом, исходя из того, что $\dot{A} \sim \mu A$ и $\dot{B} \sim \mu B$, мы придем к уравнению по $x^{(1)}(t)$

$$\ddot{x}^{(1)} + \omega_0^2 x^{(1)} = \omega_0 [2\dot{A} + \delta' B - \frac{\mu \omega_0}{2} B] \sin[(\omega_0 + \delta'/2)t] + \omega_0 [-2\dot{B} + \delta' A + \frac{\mu \omega_0}{2} A] \cos[(\omega_0 + \delta'/2)t]. \tag{21}$$

Потребуем, чтобы было отсутствие в правой части резонансных слагаемых. С этой целью используем такие равенства

$$\dot{A} = -\frac{\mu}{2} (\delta - \frac{\omega_0}{2}) B, \dot{B} = -\frac{\mu}{2} (\delta + \frac{\omega_0}{2}) A. \tag{22}$$

В результате преобразований мы получаем уравнения для медленно меняющихся амплитуд. Решение подобной системы уравнений мы будем искать в виде $A, B \sim \exp(\lambda t)$. В ходе рассмотрения формируем характеристическое уравнение для того, чтобы найти λ

$$\lambda^2 = -\frac{\mu^2}{4} (\delta^2 - \frac{\omega_0^2}{4}). \tag{23}$$

Если расстройка достаточно мала, тогда можно увидеть, что

$$-\frac{\omega_0}{2} < \delta < \frac{\omega_0}{2}. \tag{24}$$

При этом будет происходить нарастание амплитуд. Внутри автомобильной системы будет происходить реализация параметрической неустойчивости. В неравенстве (24) мы стремимся к определению зоны основного резонанса. Основываясь на преобразованиях на основе уравнения границы в ней определяются соответствующим образом

$$\frac{\mu}{4} = \pm (\frac{2\omega_0}{\Omega} - 1). \tag{25}$$

Здесь мы учитывали, что

$$\frac{\omega_0}{\Omega} = \frac{\omega_0}{2\omega_0 + \mu\delta} \approx \frac{1}{2} (1 - \frac{\mu\delta}{2\omega_0}). \tag{26}$$

Это выражение с учетом (24) записывается как $\frac{\omega_0}{\Omega} \approx \frac{1}{2} (1 \pm \frac{\mu}{4})$. На рис. 1 дана иллюстрация границ зоны неустойчивости, которая связана с основным резонансом.



Рис. 1. Иллюстрация границ зоны неустойчивости

При аналогичном подходе в параметрическом резонансе при $\Omega = \omega_0 + \mu d$ мы можем определить границы области второй зоны. Приходим к выражению

$$-\frac{5\mu\omega_0}{24} < \delta < \frac{\mu\omega_0}{24}. \quad (27)$$

Из него вытекает, что спектральная величина второй зоны, связанной с параметрической неустойчивостью, будет заметным образом меньше по сравнению с первой зоной ($d \sim \mu$).

В случае, когда на практике наблюдается большая глубина модуляции μ , тогда правая часть уравнения $\ddot{x} + \omega_0^2 x = \mu x \omega_0^2 \cos \Omega t$ не будет являться малой. При поиске решения нельзя использовать асимптотический метод решения. В таких случаях необходимо использовать численное интегрирование [9].

В тех случаях, когда глубина модуляции не считается малой, тогда уравнение Матье с точки зрения общности результатов мы можем представить в виде

$$\ddot{x} + (a - 2q \cos 2\tau)x = 0. \quad (28)$$

При этом a и q рассматриваются в виде определенных постоянных (которые не обязательно являются положительными), $\tau = \omega_0 t$ – это безразмерное время. На рис. 2 дана иллюстрация результатов интегрирования уравнения Матье (28), когда используются разные комбинации a и q .

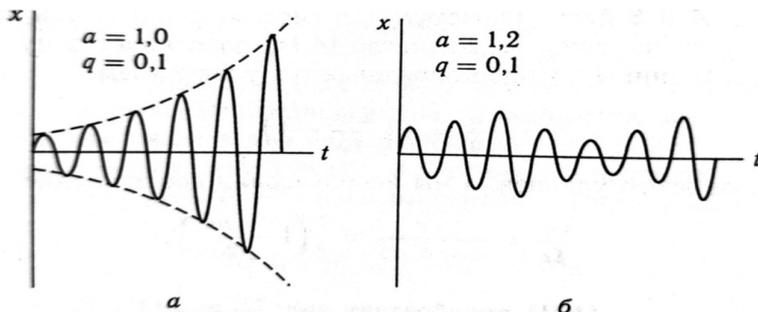


Рис. 2. Иллюстрация результатов интегрирования уравнения Маттье

При том, что одинаков параметр системы q , колебания характеризуются разным видом вследствие различия в параметре a . Для первого случая колебания являются возрастающими, система будет неустойчивой. Для второго случая колебания рассматриваются как ограниченные, тогда система будет устойчивой.

Заключение

В работе проведен анализ параметрических колебаний в автомобильной системе. Проведено решение уравнения Маттье. Показана зона резонанса. Приведен алгоритм расчета собственных значений функций Маттье. Полученные результаты могут быть использованы при анализе различных транспортных систем с точки зрения их устойчивости.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Нурутдинов Р.Р., Шайхутдинов Р.Я., Зарипов Д.С., Гареева Г.А. Разработка приложения для контроля качества деталей на брак // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 1. С. 77-89. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-77-89>
2. Терентьев А.В., Евтюков С.С., Пировов Я.Е. Аналитическая модель организации грузовых перевозок в сложной транспортной системе

- мегаполиса // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13. № 1. С. 24-41. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-24-41>
3. Покровская О.Д., Мороз Ю.А., Меликов М.И. Трансформация рынка транспортных услуг в России в условиях международных санкций // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13. № 1. С. 197-211. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-197-211>
 4. Мельников А.Р., Мельникова И.П., Мельникова М.А. О переходе от простой к комплексной модели организации экспедиторских и логистических услуг // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13. № 1-2. С. 36-42.
 5. Львович Я.Е., Питолин А.В., Сапожников Г.П. Многометодный подход к моделированию сложных систем на основе анализа мониторинговой информации // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019. Т. 7. № 2 (25). С. 301-310.
 6. Козлова Д.Н., Преображенский А.П., Шунулина В.В. Исследование колебаний в двухмассовой механической системе // *Вестник воронежского института высоких технологий*. 2023. №3(46). С. 8-9.
 7. Козлова Д.Н., Преображенский А.П., Шунулина В.В. Исследование гармонического осциллятора под действием неперiodической силы // *Вестник воронежского ин-та выс-х техн-й*. 2023. №2(45). С. 6-9.
 8. Шунулина В.В., Козлова Д.Н., Преображенский А.П. Исследование колебаний маятника // *Вестник воронежского института высоких технологий*. 2023. №1(44). С. 19-21.
 9. Козлова Д.Н., Преображенский А.П., Шунулина В.В. Исследование колебаний физического маятника // *Вестник воронежского института высоких технологий*. 2022. №3(42). С. 24-27.

References

1. Nurutdinov R.R., Shaykhutdinov R.Ya., Zaripov D.S., Gareeva G.A. Development of an application for quality control of parts for rejects. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 77-89. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-77-89>
2. Terentyev A.V., Evtuykov S.S., Pirogov Y.E. Analytical model of freight transportation organization in a complex transport system of a mega-

- polis. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 24-41. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-24-41>
3. Pokrovskaya O.D., Moroz Y.A., Melikov M.I. Transformation of the transportation services market in Russia under international sanctions. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 197-211. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-197-211>
 4. Melnikov A.R., Melnikova I.P., Melnikova M.A. On the transition from simple to complex model of forwarding and logistics services organization. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1-2, pp. 36-42.
 5. Lvovich Ya.E., Pitolin A.V., Sapozhnikov G.P. Multi-method approach to modeling complex systems based on the analysis of monitoring information. *Modeling, optimization and information technologies*, 2019, vol. 7, no. 2 (25), pp. 301-310.
 6. Kozlova D.N., Preobrazhenskiy A.P., Shunulina V.V. Investigation of vibrations in a two-mass mechanical system. *Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 3(46), pp. 8-9.
 7. Kozlova D.N., Preobrazhenskiy A.P., Shunulina V.V. Investigation of the harmonic oscillator under the action of a non-periodic force. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 2(45), pp. 6-9.
 8. Shunulina V.V., Kozlova D.N., Preobrazhenskiy A.P. Investigation of the pendulum oscillations. *Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 1(44), pp. 19-21.
 9. Kozlova D.N., Preobrazhenskiy A.P., Shunulina V.V. Investigation of the physical pendulum oscillations. *Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 3(42), pp. 24-27.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель

Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация «Колледж Воронежского института высоких технологий»

ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
vtatyana_avetisyan@mail.ru

Львович Яков Евсеевич, доктор технических наук, профессор
*Автономная некоммерческая образовательная организация
высшего образования «Воронежский институт высоких тех-
нологий»*
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
office@yandex.ru

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук,
профессор
*Автономная некоммерческая образовательная организация
высшего образования «Воронежский институт высоких тех-
нологий»*
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
Komkovvvt@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana V. Avetisyan, Teacher

*College of the Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
vtatyana_avetisyan@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>*

Yakov Y. Lvovich, Doctor of Technical Sciences, Professor

*Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
office@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-3763>*

Andrey P. Preobrazhenskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor

*Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
Komkovvvt@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>*

Поступила 13.02.2024

После рецензирования 20.03.2024

Принята 05.04.2024

Received 13.02.2024

Revised 20.03.2024

Accepted 05.04.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-302

УДК 331.57



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

К ВОПРОСУ О НАЗНАЧЕНИИ ЯВОК ЛОКОМОТИВНЫМ БРИГАДАМ

*С.П. Вакуленко, А.В. Колин,
А.М. Насыбуллин, Л.Р. Айсина*

В железнодорожной отрасли фиксируется дефицит работников, задействованных в поездной и маневровой работе, особенно в грузовых перевозках. Среди причин ухода из профессии «машинист» и «помощник машиниста» часто озвучиваются развитие и прогрессирующие профессиональные заболевания, а также неудовлетворительные условия соблюдения режима труда и отдыха в отельных депо.

Цель. Настоящая статья рассматривает потенциальную оптимизацию существующей системы назначения явок локомотивных бригад, задействованных в грузовом движении для упорядочивания режима труда и отдыха и возможности планирования обеспеченности трудовыми ресурсами с более глубоким горизонтом. Необходимо изучить существующий функционал программного обеспечения, заблаговременно информирующего работников локомотивных бригад, задействованных в грузовом движении и предложить потенциальные решения по увеличению глубины прогнозирования и качества формирования очередности вызова.

Метод и методология работы. В статье использована совокупность методов анализа, синтеза, дедукции и индукции.

Результаты. Авторами предлагается повышение качества прогнозирования поездообразования и выдачи локомотивов под поезда на станциях, формирующих грузовые поезда, в увязке с компетенциями различных локомотивных бригад при назначении явок с целью улучшения условий труда.

Область применения результатов. Настоящая статья может представлять практический интерес для дирекций тяги, организации движения и технического департамента ОАО «РЖД», а также организаций, представляющих интересы работников локомотивного хозяйства в части совершенствования и улучшения условий труда (локомотивные профсоюзы, Роспрофжел). Отдельные положения могут быть использованы в качестве дополнительных настроек для работы действующих программных продуктов, выполняющих функцию подбора работников локомотивных бригад для назначения на конкретный локомотив и поезд.

Ключевые слова: локомотивная бригада; режим труда; режим отдыха; явка локомотивной бригады; планирование; прогнозирование

Для цитирования. Вакуленко С.П., Колин А.В., Насыбуллин А.М., Айсина Л.Р. К вопросу о назначении явок локомотивным бригадам // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 3. С. 23-42. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-302

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

ABOUT OF THE ASSIGNING APPEARANCES TO LOCOMOTIVE CREWS

**S.P. Vakulenko, A.V. Kolin,
A.M. Nasybullin, L.R. Aysina**

There is a shortage of workers involved in train and shunting work, especially in freight transportation in the railway industry. Occupational diseases, Unsatisfactory working and rest regime in some depots are the reasons for leaving the profession of “train driver” and “assistant of train driver”.

Purpose. *The paper discusses the potential optimization of the current system for assigning turnouts to freight train crews. This optimization could improve the planning of labor resource availability with a longer-term perspective. It is necessary to study the existing function-*

ality of the software that informs employees of locomotive crews which involved in freight traffic in advance and propose potential solutions to increase the depth of forecasting and the quality of the formation of the call sequence.

Methodology. In this paper methods of analysis, synthesis, induction and deduction were used.

Results. The authors propose improving the quality of forecasting for the formation and dispatch of trains and locomotives at freight train-forming stations, in conjunction with the competence of various locomotive crews for assigning operations, in order to enhance working conditions.

Practical implications. This study may be of practical interest to the traction directorates, traffic management and the technical department of JSC Russian Railways, as well as organizations representing the interests of locomotive workers in terms of improving working conditions (locomotive trade unions, Rosprofzhel). Certain aspects of the article could be used as supplementary settings for existing software products which assist in selecting employees for locomotive teams and assigning them to specific locomotives and trains.

Keywords: locomotive crew; work regime; rest regime; appearances to locomotive crews; planning; prediction

For citation. Vakulenko S.P., Kolin A.V., Nasybullin A.M., Aysina L.R. About of the Assigning Appearances to Locomotive Crews. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 23-42. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-302

Введение

Как показал предварительный анализ, проведённый в инициативном порядке, в локомотивных депо ОАО «РЖД», обслуживающих грузовое движение, используется вызывной принцип явки локомотивных бригад грузовых локомотивов на рабочие смены. Это означает, что после рабочей смены локомотивной бригаде предоставляется (в зависимости от предыдущей наработки в течение

предшествующего периода нарастающим итогом) 16, 24, 48, 72 ч (и т.п.) гарантированного отдыха, по истечении которого наступает «контрольное время». С момента его наступления члены локомотивной бригады находятся в режиме активного ожидания вызова дежурным по депо (нарядчиком депо). Это время не включается в рабочее, может составлять значительную часть от общего времени отдыха, но при этом не является полноценным отдыхом, так как члены локомотивной бригады не могут его использовать по своему усмотрению (например, находиться в месте, от которого продолжительность поездки до локомотивного депо превышает установленное; осуществлять действия, не совместимые с готовностью немедленно совершить явку на рабочую смену в локомотивное депо).

Такое положение дел ухудшает условия труда и престиж профессии локомотивных бригад, снижает их производительность, способствует развитию психоневрологических и сопутствующих им заболеваний. Медицинские исследования, изучающие причины ухудшения здоровья или внезапной смерти среди работников локомотивных бригад отмечают высокий риск развития сердечно-сосудистых заболеваний (в 80,6% случаях внезапных смертей именно сердечно-сосудистые заболевания являлись основной причиной) [1]. Вероятность смертей из-за сердечно-сосудистых заболеваний увеличивает высокий уровень психоэмоционального стресса работников [2]. К причинам стресса традиционно относятся высокая ответственность за сохранность жизни и здоровья перевозимых пассажиров, сохранность грузов, а также регулярно возникающие внештатные ситуации. Однако также довольно часто к стрессовому состоянию приводит «плавающий» сменный график, ночные смены, вынужденное превышение продолжительности смены из-за поездной обстановки на железнодорожной линии или на станции. Некоторые авторы, например, Ю. А. Меркулов [3] и С. А. Бондарев [4] рассматривают именно режим работы как основную причину высокой сердечно-сосудистой заболеваемости среди работников локомотивных бригад.

В то же время, в компании ОАО «РЖД» наблюдается острый дефицит и высокая «текучка» кадров среди работников локомотивных бригад. Помимо жалоб на размеры оплаты труда, бывшие сотрудники отмечают в качестве причин ухода неудовлетворительные условия соблюдения режима труда и отдыха в отдельных депо [5].

Стечение обстоятельств приводит к тому, что в профессии остается мало опытных наставников. В условиях необходимости работы при ненормированных рабочих сменах работники локомотивных бригад все чаще выбирают семью и переходят в другие места приложения труда. Оставшиеся работники несут большие риски причинения серьезного вреда здоровью.

Поэтому необходимо комплексное решение проблемы, в том числе усиленный контроль за условиями и режимом труда и отдыха на местах.

Тем не менее, стоит отметить положительный опыт взаимодействия Дирекции тяги с работниками, заключающийся в разработке мобильного приложения «Личный кабинет машиниста Дирекции тяги» (ЛКМ) [6]. Специализированные мобильные приложения для работников уже накопили достаточный опыт эксплуатации в работе водителей такси, грузчиков и водителей общественного транспорта [7], поэтому создание аналога для локомотивных бригад, учитывающего специфику работы, стало логичным этапом внедрения цифровых технологий в управление транспортными процессами. Создание приложения ЛКМ является отражением положительного тренда в желании улучшить коммуникацию с сотрудниками. Внедрение функций, ранее применявшихся в сервисах обслуживания, например, в сервисе «каршеринга», находят отражения в повышении лояльности работников к работодателю.

Так при приёме автомобиля в сервисе «каршеринга» пользователь осуществляет фотофиксацию и в формате диалога через приложение на электронном устройстве указывает о наличии или отсутствии технических неисправностей и эстетическом состоянии транспортного средства. Аналогичная схема приёмки локо-

мотива предложена разработчиками ЛКМ. Интерфейс ЛКМ представлен на рисунке 1.

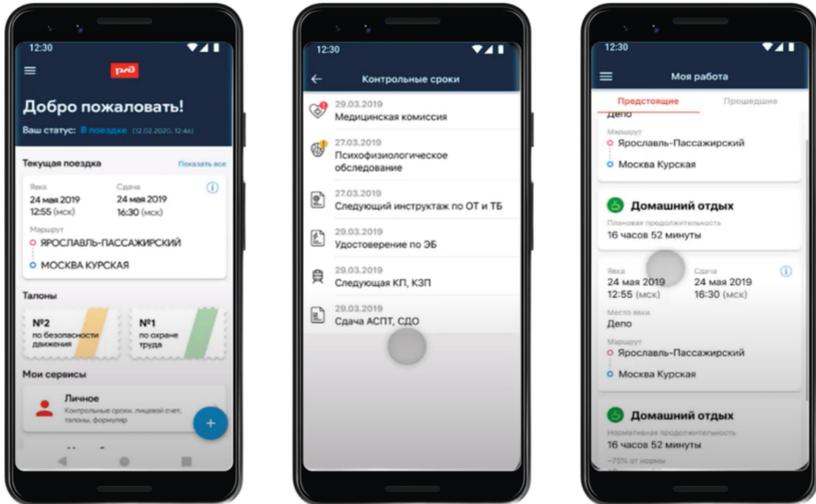


Рис. 1. Визуализация мобильного приложения ЛКМ [визуализация интерфейса получена из демонстрационного видеоматериала, размещенного в открытом доступе Евгением Рудых]

Добавление в функционал приложения ЛКМ возможности отслеживания предстоящих явок, а также вариативность в приме или отклонении заявки требует повышения точности прогнозирования назначения явок, особенно для бригад, задействованных в грузовом движении.

Решением проблемы прогнозирования явок локомотивных бригад может стать создание алгоритма, который бы позволил создавать статичное расписание явок локомотивных бригад грузовых поездов.

Материалы и методы

Несмотря на наличие программного обеспечения в Интеллектуальной системе управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ), осуществляющего прогнозирование поездобра-

зования за 39 ч до начала каждой «железнодорожных» суток (с актуализацией за 6 ч, 4 ч, 2 ч) в настоящее время планирование времени отправления каждого грузового поезда продолжает производиться силами диспетчерского аппарата станции в момент, когда уже совершено его формирование, то есть примерно за 1 – 4 ч до момента отправления.

В решении задач по упорядочиванию режима труда и отдыха локомотивных бригад может быть использовано два подхода:

1) Создание жесткого расписания явок локомотивных бригад для большинства ниток графика грузовых поездов

При этом алгоритм формирования расписания явок локомотивных бригад строится на основе теории вероятности, что позволит установить нитки с высокой, средней и низкой вероятностью обеспечения их грузовыми поездами (в зависимости от многих факторов: размеры движения грузовых поездов, сгущённость ниток грузовых поездов в графике движения, параметры накопления на сортировочной станции, обеспеченность локомотивами и др.). В свою очередь, это позволит выделить «ядро» (на уровне до 80% от общего количества) ниток графика грузовых поездов, которые гарантированно практически ежедневно обеспечиваются поездами, и нитки (временные периоды в графике движения), для которых требуются оперативные вызовы локомотивных бригад.

2) Использование ассистирующего программного обеспечения подбора локомотивных бригад для ниток графика, не входящих в «ядро», предусматривающих сохранение принципа оперативного вызова локомотивных бригад на явку

В этом случае алгоритм построения расписания явок локомотивных бригад формируется на принципах прогнозирования поездообразования на сортировочных станциях (в соответствии с тем, какие грузовые поезда и с вагонами каких назначений следуют к этим сортировочным станциям) и перемещения поездов по участкам, а также прогнозирования выдачи локомотивов под поезда. Важным условием для данного алгоритма является пре-

вышение горизонта планирования поездообразования (и выдачи под поезда локомотивов) над продолжительностью межсменного отдыха локомотивных бригад. Причём речь идёт о самообучающемся алгоритме, который бы позволял уточнять прогнозы по мере сокращения их горизонта. В таком случае доля явок локомотивных бригад, совершаемых по заблаговременно выдаваемому расписанию, может быть доведена до значения, близкого к 100%.

Вместе с тем, необходимо отметить, что перечисленные процессы уже частично реализованы в подсистемах ИСУЖТ [8].

Алгоритмы подбора локомотива для конкретного состава представлены в работе С. В. Иванова [9]. Повышение достоверности в прогнозах поездной работы и поездообразования рассматривается в трудах О. А. Терещенко [10] и А.В. Сурина [11], а в решении вопросов планирования поездной работы предлагается использовать аппарат теории вероятности и нечетких множеств [10].

Дополнительные предложения по оптимизации работы комплекса ИСУЖТ

Исследованию вопроса планирования явки локомотивных бригад или увязке назначения локомотивных бригад на составы посвящены труды А.К. Такмазьяна [12], Ю.А. Машталера [13], В. Ю. Пермикина [14], Е. Н. Светлаковой [15], реализация алгоритмов автоматической подвязки локомотивных бригад на явку отражается в специализированном программном обеспечении [16]. Разработкой и внедрением автоматизированной системы управления железнодорожной станции занимается компания «ТрансСофтТелематика». В целом интеграция цифровых продуктов в качестве ассистентов работникам железнодорожного транспорта является одним из приоритетных направлений развития отрасли и отмечается в трудах С. А. Виноградова [17], С. В. Лобанова [18], В. Г. Сидоренко [19] и других ученых.

Настоящая статья является потенциальным дополнением предлагаемых А. К. Такмазьяном [12] и Ю.А. Машталером [13] решений и направлена на уточнение отдельных параметров с це-

лью улучшения условий труда локомотивных бригад грузовых поездов. Представленные в [13] критерии планирования, согласно которым принимается решение о вызове локомотивных бригад, могут быть дополнены для включения в иерархию отбора.

Пусть имеется полигон обращения локомотивов и локомотивных бригад $[P]$, где технические станции обозначаются p_1, p_2, \dots, p_{max} , где p_1 – железнодорожная станция, на которой располагается депо.

Есть определенный парк поездных локомотивов L , обслуживающих грузовые поезда, где каждый локомотив обозначается l_1, l_2, \dots, l_{max} . У каждого локомотива существует набор характеристик, который выражается в виде набора бинарных переменных, отражающих соответствие определенному критерию.

В депо работает определенное количество машинистов M и помощников машинистов PM , имеющих право допуска к управлению грузовыми поездами. У машинистов $[M]$ и помощников $[PM]$ есть набор постоянных и временных характеристик, которые так же отображаются значениями переменных.

Исходная информация может представляться в виде матриц, где столбцы соответствуют каждому из сотрудников локомотивных бригад или локомотиву в парке (таблица 1), а строки – набору их характеристик. Подбор сотрудников локомотивной бригады может осуществляться путем перебора значений переменных, отражающих показатель каждой их характеристик и поиска максимального соответствия заявленным критериям (таблица 2).

Таблица 1.

Набор характеристик поездного локомотива p_i

№ п/п	Наименование характеристики
1	Поездной локомотив является тепловозом?
2	Поездной локомотив является электровозом?
...	Опционально далее могут указываться особенности конкретного локомотива, влияющие на категории допуска машиниста

Таблица 2.

**Набор характеристик машиниста $m_i \in [M]$ и помощника
машиниста $pm_i \in [PM]$**

№ п/п	Наименование характеристики
Характеристики, применимые к каждому члену локомотивной бригады	
1	Работник может быть включен в таблицу учета рабочего времени? (не включаются работники, находящиеся в отпуске, на больничном, на обучении и т.п.)
2	Ежегодный медосмотр пройден?
3	На текущие сутки у работника есть незавершенные или не пройденные тестирования в системе СДО?
4	В ближайшие 7 календарных дней срок действия ежегодного медосмотра завершится?
5	Категория последней смены (опционально может быть выбран любой удобный кодификатор, отражающий характер смены (дневной или ночной), а также очередность относительно предпоследней смены (например: вторая ночная и т.п.)
6	Продолжительность отдыха после окончания последней смены
7	Работник обкатан на участке $p_1 - p_{1+i}$?
8	Стаж работы, полных лет (не бинарная переменная)
9	Группа психотипа работника (не бинарная переменная)
10	Продолжительность нахождения в пути от места постоянного проживания до депо, ч (не бинарная переменная)
Характеристики машинистов	
11	У машиниста имеется допуск к управлению локомотивом l_i ?
12	Есть ли допуск к работе «в одно лицо»?
13	Есть ли допуск к работе на сдвоенных поездах?
14	Есть ли допуск к работе на тяжеловесных поездах?

Результаты и их обсуждение

Работа алгоритма может включать в себя последовательное выполнение нескольких блоков операций. При выполнении первого блока определяется потенциальное наиболее вероятное время, на которое может быть назначена явка локомотивной бригаде. Во втором блоке подбирается подходящая локомотивная бригада.

В случаях, когда предлагаемая к вызову локомотивная бригада не укомплектована (по причине, например, болезни одного из члена локомотивной бригады) машинист и помощник подбираются раздельно.

Если цикл завершается без формирования подходящей пары работников $(m_i; pm_i)$, из которых формируется локомотивная бригада, алгоритм может выполнить дополнительный блок, направленный на подбор подходящего машиниста, имеющего допуск к работе в одно лицо в случае оборудования локомотива устройствами контроля бдительности машиниста.

Наряду с более точным планированием явок локомотивных бригад и улучшением качества их межрейсового отдыха просматриваются и другие эффекты:

- рационализация использования ресурсов сортировочных станций;
- возможность приведения рабочего парка локомотивов в соответствие с количеством явок локомотивных бригад и, как следствие, повышение их производительности;
- ликвидация или кардинальное сокращение простоев сформированных поездов в ожидании локомотивных бригад и локомотивов;
- сокращение резервных пробегов локомотивов и локомотивных бригад (вкл. следование локомотивных бригад «пассажирами»).

Выводы

Повышение качества прогнозирования даты и времени вызова локомотивных бригад на явку должно стремиться к достижению таких результатов, при которых установление времени явки на следующую рабочую смену может быть известно к моменту сдачи текущей смены бригады. При достижении таких результатов, следующим этапом оптимизации алгоритмов должна стать увеличенная глубина и точность планирования, позволяющие формировать расписание явок локомотивным бригадам на определённый календарный период (неделя, месяц или квартал).

Добавление расширенного перечня характеристик машинистов и помощников машинистов в алгоритмы позволит более ка-

чественно формировать локомотивные бригады при назначении их на конкретные поезда.

Конфликт интересов. В представленной публикации отсутствует заимствованный материал без ссылок на автора и (или) источник заимствования, нет результатов научных работ, выполненных авторами публикации лично и (или) в соавторстве, без соответствующих ссылок. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Список литературы

1. Жидкова Е.А. Результаты анализа причин внезапной смерти среди работников локомотивных бригад / Е. А. Жидкова, Н. Б. Найговзина, М. Р. Калинин, Е.М. Гутор, К. Г. Гуревич // Кардиология. 2019. Т. 59, № 6. С. 42-47. <https://doi.org/10.18087/cardio.2019.6.2552>
2. Осипова И.В. Влияние стресса на рабочем месте на поведенческие факторы риска у мужчин трудоспособного возраста / И. В. Осипова, О. Н. Антропова, Н. В. Пырикова, А. Г. Зальцман // Профилактическая медицина. 2011. Т. 14, № 4. С. 19-23.
3. Меркулов Ю. А. Работа с ночными сменами как фактор дисрегуляции вегетативной нервной системы у машинистов локомотивов / Ю. А. Меркулов, А. А. Пятков, Д. М. Меркулова // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2013. Т. 57, № 1. С. 75-80.
4. Бондарев С. А. Кардиальная патология у машинистов железнодорожного транспорта / С. А. Бондарев, В. С. Василенко // Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2011. Т. 26, № 2-1. С. 116-121.
5. Войцеховская О. 5 причин уволиться из РЖД // Интернет-портал о железнодорожном транспорте, логистике и перевозках Vgudok. <https://vgudok.com/rassledovaniya/5-prichin-uvolitsya-iz-rzhd-mashinisty-gorkovskoy-zheleznoy-dorogi-rasskazali>
6. Официальное приложение «Личный кабинет машиниста» (ЛКМ) ОАО «РЖД» / Официальный сайт приложения. <https://mashinist.rzd.ru/>

7. Приложение для информирования водителей КТУП «Гомельоблпассажи́ртранс» / Официальный сайт коммунального транспортногo унитарного предприятия «Гомельоблпассажи́ртранс». <https://gopt.by/prilozhenie-dlya-informirovaniya-voditelej/>
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618713 Российская Федерация. «ИСУЖТ. Технологическая подсистема «Управление тяговым хозяйством» комплексной задачи «Содержание локомотивных бригад для обеспечения перевозочного процесса» в части автоматизации процессов планирования и назначения локомотивных бригад грузового движения на явки для ПТК ИСУЖТ регионального уровня на Восточном полигоне» (ИСУЖТ УТХ ЛБ ВП 2016)»: № 2022617869: заявл. 29.04.2022; опубл. 13.05.2022; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги».
9. Иванов С. В. Оптимизационная стохастическая модель назначения локомотивов для перевозки грузовых составов / С. В. Иванов, А. И. Кибзун, А. В. Осокин // Автоматика и телемеханика. 2016. № 11. С. 80-95.
10. Терещенко О. А. Моделирование процессов накопления вагонов для решения задач оперативного планирования в условиях неопределенности исходной информации // Наука та прогрес транспорту. 2017. № 3(69). С. 45-55. <https://doi.org/10.15802/stp2017/104593>
11. Сурин А. В. Автоматизация расчета оперативного сменно-суточного плана поездообразования и поездной работы железной дороги при сквозной технологии планирования // Инновационный транспорт. 2015. № 2(16). С. 49-52.
12. Такмазьян А. К. Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо с помощью метода аукционов / А.К. Такмазьян, Н.Г. Рябых, В. А. Матвиенко, В. И. Шешкин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015): Труды четвертой научно-технической конференции с международным участием,

- Москва, 18 ноября 2015 года. Москва: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2015. С. 42-45.
13. Машталер Ю.А. Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо / Ю. А. Машталер, В. А. Матвиенко, В. П. Алтунин, А. К. Такмазьян // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2014): Труды третьей научно-технической конференции с международным участием, Москва, 18 ноября 2014 года. Москва: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2014. С. 39-42.
 14. Пермикин В. Ю. Увязка локомотивных бригад и составов на станции на основе оптимизационных задач / В. Ю. Пермикин, А. В. Сурин, И. А. Ковалев // Инновационный транспорт. 2018. № 2(28). С. 48-52. <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2018-2-48-52>
 15. Светлакова Е. Н. Совершенствование организации работы локомотивных бригад (на примере участка Петровский Завод - Карымская Забайкальской железной дороги) / Е. Н. Светлакова, А. В. Светлакова // Вестник Уральского госуд. университета путей сообщения. 2021. № 2(50). С. 75-84. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2021-2-75-84>
 16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685239 Российская Федерация. Единая корпоративная автоматизированная система управления локомотивным хозяйством (ЕК АСУТ). Подсистема автоматизированной подвязки локомотивных бригад на явку и их оповещение с помощью речевых сервисов (ЕК АСУТ. Речевые сервисы): № 2022685418: заявл. 22.12.2022; опубл. 22.12.2022; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги».
 17. Виноградов С. А. Цифровые технологии повышения энергетической эффективности железнодорожных перевозок / С. А. Вино-

- градов, К. М. Попов // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 42-45.
18. Лобанов С. В. Применение цифрового имитационного моделирования для анализа энергоёмкости графика движения поездов / С. В. Лобанов, В. Ю. Кирякин // Железная дорога: путь в будущее: Сборник материалов I Международной научной конференции аспирантов и молодых ученых, Москва, 28–29 апреля 2022 года. Москва: Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 2022. С. 228-234.
19. Сидоренко В.Г. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафронов, М. А. Туманов // Автоматика на транспорте. 2023. Т. 9, № 1. С. 33-48. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48>

References

1. Zhidkova E.A., Naigovzina N.B., Kalinin M.R., Gutor E.M., Gurevich K.G. The Analysis of the Causes of Sudden Deaths Among Workers of Locomotive Crews. *Kardiologiya*, 2019, no. 59(6), pp.42-47. <https://doi.org/10.18087/cardio.2019.6.2552>
2. Osipova I.V., Antropova O.N., Pyrikova N.V., Zal'tsman A.G. Impact of on-site stress on behavioral risk factors in able-bodied men. *Russian Journal of Preventive Medicine*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 19-23.
3. Merkulov Y.A., Pyatkov A.A., Merkulova D.M. Work with night shift as a factor dysregulation of autonomic nervous system of locomotive drivers. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya Terapiya* [Pathological physiology and experimental therapy], 2013, vol. 57, no. 1, pp. 75-80.
4. Bondarev S.A., Vasilenko V.S. Cardial disorders in railway train drivers. *Siberian Medical Journal (Tomsk)*, 2011, vol. 26, no. 2-1, pp. 116-121.
5. Vojcexovskaya O. 5 reasons to quit Russian Railways. *Vgudok*. URL: <https://vgudok.com/rassledovaniya/5-prichin-uvolitsya-iz-rzhd-mashinisty-gorkovskoy-zheleznoy-dorogi-rasskazali>

6. Official application “Personal Cabinet of the Machinist” (LCM) of JSC “Russian Railways”. URL: <https://mashinist.rzd.ru/>
7. The official mobile app KTUP «Gomeloblpassazhirtrans». URL: <https://gopt.by/prilozhenie-dlya-informirovaniya-voditelej/>
8. Certificate of state registration of computer program No. 2022618713 Russian Federation. “ISUZHT. Technological subsystem “Traction management” of the complex task “Maintenance of locomotive crews to ensure the transportation process” in terms of automation of the processes of planning and assignment of locomotive crews of freight traffic to turnouts for PTC ISUZHT of the regional level at the Eastern polygon” (ISUZHT UTH LB VP 2016).” no. 2022617869: applied. 29.04.2022; publ. 13.05.2022; applicant Open Joint Stock Company “Russian Railways”.
9. Ivanov S.V., Kibzun A.I., Osokin A.V. Stochastic optimization model of locomotive assignment to freight trains. *Automation and Remote Control*, 2016, vol. 77, no. 11, pp. 1944-1956.
10. Tereshchenko O.A. Simulation of cars accumulation process for solving tasks of operational planning in conditions of initial information uncertainty. *Ekspluatatsiya ta remont zasobiv transport*, 2017, no. 3(69), pp. 45-55. <https://doi.org/10.15802/stp2017/104593>
11. Surin A.V. Automation of calculation of the operational shift-daily plan of train formation and train operation of the railroad at the end-to-end planning technology. *Innovative transport*, 2015, no. 2(16), pp.49-52.
12. Takmazyan A. K. Multi-agent solution of the problem about the daily planning of locomotive crews assignment to the depot using the auction method / A.K. Takmazyan, N.G. Ryabykh, V.A. Matvienko, V.I. Steshkin. *Intelligent control systems on the railway transport. Computer and Mathematical Modeling (ISUZHT-2015): Proceedings of the fourth scientific and technical conference with international participation, Moscow, November 18, 2015*. Moscow: Joint Stock Company “Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication on Railway Transport”, 2015, pp. 42-45.
13. Mashtaler Yu.A. Multi-agent solution of the problem about the daily planning of locomotive crews assignment for turnout in the depot / Yu.A.

- Mashtaler, V.A. Matvienko, V.P. Altunin, A.K. Takmazyan. *Intelligent control systems on the railway transport. Computer and mathematical modeling (ISUZhT-2014): Proceedings of the third scientific and technical conference with international participation, Moscow, November 18, 2014*. Moscow: Joint Stock Company “Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication on Railway Transport”, 2014, pp. 39-42.
14. Permikin V.Yu., Surin A.V., Kovalev I.A. The coordination of locomotive crews of trains at the station on the basis of optimization. *Innovative transport*, 2018, no. 2(28), pp. 48-52. <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2018-2-48-52>
 15. Svetlakova E.N., Svetlakova A.V. Improvement of organization of work of locomotive crews (using the example of the Petrovsky Plant - Karymskaya section of the Trans-Baikal railway). *Bulletin of Ural State University of Railway Transport*, 2021, no. 2(50), pp. 75-84. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2021-2-75-84>
 16. Certificate of state registration of computer program No. 2022685239 Russian Federation. Unified Corporate Automated System for Locomotive Management (EC ASUT). Subsystem of automated binding of locomotive crews for turnout and their notification by means of speech services (EC ASUT. Speech services): No. 2022685418: filed. 22.12.2022; publ. 22.12.2022; applicant Open Joint Stock Company “Russian Railways”.
 17. Vinogradov S. A., Popov K. M. Digital technologies for improving the energy efficiency of railway transportation. *Rail Transport*, 2019, no. 7, pp. 42-45.
 18. Lobanov S.V., Kiryakin V.Y. Application of digital simulation modeling for the analysis of train schedule power capacity. *Railroad: the way to the future: Collection of materials of the I International Scientific Conference of graduate students and young scientists, Moscow, April 28-29, 2022*. Moscow: Research Institute of Railway Transport, 2022, pp. 228-234.
 19. Sidorenko V.G., Kopylova E.V., Safronov A.I., Tumanov M.A. Experience and perspectives of transportation process control automation for

rapid-transit transport of urban agglomerations. *Transport automation research*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 33-48. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Вакуленко Сергей Петрович, заведующий кафедрой «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы», кандидат технических наук, профессор
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»
ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Российская Федерация
post-iuit@bk.ru

Коллин Алексей Валентинович, начальник научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования»
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»
ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Российская Федерация
alex5959@yandex.ru

Насыбуллин Айрат Марсович, заместитель начальника научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования»
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»
ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Российская Федерация
nasybullin.airat@mail.ru

Айсина Лилия Ринатовна, старший преподаватель кафедры
«Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные
системы»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»

ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Российская Федерация

l.r.aysina@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey P. Vakulenko, Head of the Department “Transport business Management and intelligent systems”, Ph. D., Professor

Russian University of Transport

9 build. 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

post-iuit@bk.ru

SPIN-code: 1039-5188

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6471-8690>

Aleksey V. Kolin, Head of the Scientific and Educational Center “Independent Integrated Transport Research”

Russian University of Transport

9 build. 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

alex5959@yandex.ru

SPIN-code: 1039-5188

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8206-1656>

Airat M. Nasybullin, Deputy Head of the Scientific and Educational Center “Independent Integrated Transport Research”

Russian University of Transport

9 build. 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

nasybullin.airat@mail.ru

SPIN-code: 1082-9336

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1814-4059>

Liliya R. Aysina, Senior Teacher of the Department “Transport Business Management and Intelligent Systems”

Russian University of Transport

9 build. 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

l.r.aysina@mail.ru

SPIN-code: 3177-5980

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9458-6441>

Поступила 09.07.2024

После рецензирования 01.08.2024

Принята 05.08.2024

Received 09.07.2024

Revised 01.08.2024

Accepted 05.08.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-303

УДК 338.47



Научная статья | Логистические транспортные системы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ В ДОСТАВКЕ МЕТАЛЛОПРОКАТА И ПРОБЛЕМЫ С НАВИГАЦИЕЙ

А.И. Изотов

В статье представлен комплексный анализ использования беспилотных автомобильных транспортных средств в логистических процессах с особым акцентом на транспортировку металлопроката. Рассмотрены ключевые аспекты интеграции и эксплуатации БАТС, включая их экономическую эффективность, безопасность и экологическую устойчивость. Обсуждаются актуальные проблемы и разработанные решения, связанные с безопасностью транспортировки металлопроката, включая методы крепления грузов и учет сил инерции. Подробно рассмотрены современные технологии навигации и системы обеспечения безопасности, такие как LiDAR и радары, применяемые в беспилотных автомобилях. Также представлены данные о российских компаниях, ведущих разработку и внедрение БАТС, таких как Evocargo, КамАЗ, СберАвтоТех и Starline, их достижения и перспективы развития в данной области.

Цель – исследовать текущее состояние и перспективы использования беспилотных транспортных средств в логистике, особенно для перевозки металлопроката.

Методы. Анализ нормативных документов и стандартов, изучение практического опыта и кейсов, сравнительный анализ навигационных технологий, теоретический анализ и обобщение.

Результаты. Для успешной интеграции беспилотных транспортных средств в доставку металлопроката рекомендуется

запуск пилотных проектов на ключевых маршрутах, развитие инфраструктуры зарядных и заправочных станций, создание нормативной базы и сотрудничество с отраслевыми партнерами.

Область применения. *Результаты полезны для субъектов, занимающихся логистикой и транспортировкой металлопроката. Интеграция беспилотных транспортных средств может повысить эффективность и безопасность доставки, снизить выбросы CO₂, что важно для устойчивого развития и снижения затрат.*

Ключевые слова: *беспилотная транспортная техника; доставка металлопроката; проблемы с навигацией; логистика*

Для цитирования. *Изотов А.И. Использование беспилотной транспортной техники в доставке металлопроката и проблемы с навигацией // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 3. С. 43-61. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-303*

Original article | Logistic Transport Systems

USE OF UNMANNED TRANSPORTATION VEHICLES IN DELIVERY OF ROLLED METAL PRODUCTS AND NAVIGATION PROBLEMS

A.I. Izotov

The article offers a comprehensive analysis of unmanned automotive vehicles in logistics, focusing particularly on the transportation of rolled steel products. It discusses key aspects of integrating and operating UAVs, highlighting their economic efficiency, safety, and environmental sustainability. Current safety issues in transporting rolled steel, including cargo securing methods and inertial force considerations, are thoroughly examined. Detailed insights into modern navigation technologies and safety systems

like LiDAR and radars applied in unmanned vehicles are provided. Additionally, the article presents data on leading Russian companies in UAV development and implementation, such as Evocargo, KamAZ, SberAutoTech, and Starline, detailing their achievements and prospects in this field.

Purpose. An investigation into the present status and future prospects of employing unmanned vehicles in logistics, with a specific focus on transporting rolled steel products.

Methodology. Conducting an analysis of regulatory documents and standards, examining practical experience and case studies, performing a comparative analysis of navigation technologies, and engaging in theoretical analysis and synthesis.

Results. For successful integration of unmanned vehicles into the delivery of rolled steel products, it is recommended to launch pilot projects on key routes, develop infrastructure for charging and refueling stations, establish regulatory frameworks, and collaborate with industry partners.

Practical implications. The results are advantageous for entities engaged in the logistics and transportation of rolled steel products. Integrating unmanned vehicles can enhance delivery efficiency and safety, as well as reduce CO₂ emissions, which are critical for sustainable development and cost reduction.

Keywords: unmanned transportation equipment; delivery of rolled metal products; navigation problems; logistics

For citation. Izotov A.I. Use of Unmanned Transportation Vehicles in Delivery of Rolled Metal Products and Navigation Problems. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 43-61. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-303

В 2021 году стало известно о создании проекта «Беспилотные логистические коридоры». Этот проект представляет собой одну из инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, утвержденных правительством страны.

Главной целью проекта является практическая интеграция технологий беспилотного транспорта для усиления коммерческого сектора. В рамках его реализации планируется модернизация дорожной инфраструктуры в соответствии с требованиями для беспилотного транспорта. Первый этап подготовки автомобильных дорог и запуска беспилотных грузовиков по трассе М-11 «Нева» был осуществлен в июне 2023 года. К 2030 году предполагается освоение порядка 20 тыс. километров дорог в России, а также международных транспортных маршрутов беспилотным автотранспортом [8; 17; 22].

В условиях активного внедрения беспилотного автотранспорта в логистические процессы возникает необходимость рассмотрения вопросов транспортировки металлопроката в переменных условиях. Также важно оценить текущий уровень развития современных навигационных систем, способных обеспечить безопасное передвижение грузовых автотранспортных средств в условиях сложного дорожного движения и различных погодных условий.

Беспилотное транспортное средство (БТС) – это транспортное средство, функционирующее без вмешательства человека, то есть в беспилотном режиме, для перемещения товаров и грузов. Данное понятие включает высоко- и полностью автоматизированные транспортные средства, которые могут управляться дистанционно с помощью команд внешнего оператора [13, с. 127-129].

Использование БТС в логистике направлено на повышение экономической эффективности, улучшение скорости доставки, сокращение аварийности, а также на снижение экономических и социально-общественных издержек, связанных с дорожно-транспортными происшествиями. Общая классификация БТС, представлена на рисунке 1.

Под беспилотным автомобильным транспортным средством (БАТС) понимается транспортное средство, которое может дви-

гаться по дорогам общего пользования без вмешательства человека, используя технологии искусственного интеллекта, навигации и связи для оценки дорожной обстановки и взаимодействия с другими транспортными средствами и дорожной инфраструктурой [3, с. 1043]. В таблице 1 представлен отечественный опыт использования БАТС в логистике.



Рис. 1. Классификация БТС.

Составлено автором на основе источников [1, 2, 4]

Таблица 1.

Современный уровень интеграции БАТС в российской логистике

Компания	Характеристика использования БАТС в логистике
Evocargo	Первое официальное представление грузовика EVO-1 состоялось в 2020 году, когда данный автомобиль прошел испытания на участке умной дороги ЦКАД. Модель EVO-1 оснащена комбинированной системой питания, позволяющей функционировать как от электрического аккумулятора, так и от водородных топливных элементов. Полный заряд батареи обеспечивает пробег до 250 километров, тогда как заправка водородом позволяет увеличить этот показатель до 650-750 километров. Для полноценной эксплуатации грузовиков необходимо создание сети заправочных станций вдоль маршрутов. Грузовики Evocargo движутся со скоростью до 20 км/ч, при этом их грузоподъемность составляет 2 тонны. По утверждению экспертов компании, использование автономных грузовиков способно сократить расходы на транспортировку на 45%, а также снизить выбросы CO ₂ . В настоящее время сервис Evocargo функционирует на промышленных объектах таких компаний, как Татнефть, Газпром нефть, Сибур, Wildberries, Почта России, Марвел-Логистика, сеть магазинов SPAR и Русклимат [23, 24, 27].
КамАЗ	В июне 2023 года на трассе М-11 «Нева», соединяющей Москву и Санкт-Петербург, были запущены первые три беспилотных грузовика КамАЗ. В июле того же года количество беспилотных грузовиков увеличилось в два раза. Согласно официальной информации, пять машин выполняют перевозку коммерческих грузов, в то время как на шестой машине проводится технологическая отработка с целью повышения качества беспилотных грузоперевозок. По данным на ноябрь 2023 года, беспилотные грузовики КамАЗ перевезли более 10 тыс. тонн грузов и преодолели более 560 тыс. километров. Главным стратегическим партнером КамАЗ по беспилотным перевозкам выступает сеть розничных магазинов «Магнит» [10, 11, 14].
СберАвтоТех	В конце июня 2023 года компании СберАвтоТех и Globaltruck осуществили запуск беспилотных грузовых автомобилей на трассе М-11 «Нева». Для мониторинга корректности работы автотранспорта в кабине предусмотрено присутствие водителя-испытателя. В линейке беспилотных автомобильных транспортных средств (БАТС) СберАвтоТех представлены как грузовые и легковые автомобили, так и флипы для полностью автономного вождения, в которых отсутствует кабина водителя. Все перечисленные машины проходят три этапа тестирования: в симуляторе, имитирующем различные дорожные ситуации, на полигоне, где отрабатываются различные опасные обстоятельства, и в городской среде в условиях интенсивного движения [19, 20].
Starline	В июне 2023 года было проведено тестирование еще одного российского грузового автомобиля, разработанного производителем Starline. Беспилотный тягач проследовал по маршруту Санкт-Петербург — Москва, преодолев расстояние в 684 километра. В ходе тестирования автомобиль двигался со средней скоростью 65 км/ч [9].

Анализ представленных данных по использованию БАТС различными российскими компаниями свидетельствует о значительных успехах в интеграции автономных технологий в логистический сектор и, в частности, в коммерческие перевозки. К основным преимуществам использования беспилотных автомобильных транспортных средств (БАТС) относятся:

-значительное сокращение сроков доставки грузов, достигаемое в 2,5 раза по сравнению с традиционными автомобилями. Это обусловлено отсутствием необходимости делать перерывы, которые обязательны по законодательству для водителей после 8 часов непрерывного вождения. В отличие от водителей, беспилотные автомобили способны осуществлять постоянное движение на протяжении 21-22 часов [12];

- обеспечение безопасности на дорогах реализуется за счет исключения неблагоприятного человеческого фактора, поскольку машина, в отличие от человека, не испытывает усталость и сонливость во время длительной поездки, не отвлекается на различные факторы, такие как разговоры по телефону, рекламные щиты или красивый пейзаж, и не нарушает правила дорожного движения. Также БАТС обладают радаром, лидарами и камерами, которые помогают им анализировать дорожное движение в режиме реального времени и прогнозировать аварийные ситуации. В случае совершения чрезвычайных происшествий на дорогах машина осведомлена, какие действия необходимо предпринять для минимизации последствий автокатастрофы [20; 22];

- БАТС помогает сократить выбросы CO₂ посредством использования энергосберегающих технологий, а также за счет оптимизации маршрутов, уменьшая время, проводимое в пути, и, как следствие, расход топлива [22; 23];

- экономическая эффективность от интеграции БАТС в целом достигается путем снижения аварийности на дорогах, отсутствия необходимости длительных остановок и экономии топлива.

Развитие БАТС в России имеет благоприятные перспективы. В обозримом будущем ожидается добавление новых маршрутов беспилотных грузоперевозок на трассах М-12 «Восток», соединяющей Москву и Казань, и М-4 «Дон», соединяющей Москву с южными регионами России [16; 21; 25]. На сегодняшний день ключевыми направлениями прогресса в области БАТС являются удешевление оборудования, разработка законодательства для беспилотного транспорта и создание нормативной базы [18].

Согласно ГОСТ 26653-2015, металлопрокат (рельсы, прутки, профильный прокат, трубы диаметром до 350 мм и др.) должен предъявляться к перевозке в пакетах [6]. ГОСТ 7566-2018 указывает, что металлопродукция может быть транспортирована всеми видами транспорта в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на данном виде транспорта, и нормативными документами на погрузку и крепление грузов. При транспортировке металлопродукции необходимо учитывать требования по допустимой удельной нагрузке на настил грузового помещения транспортного средства [7].

Общие правила для транспортировки металлопроката автотранспортом можно сформулировать следующим образом:

1. Размещение и крепление груза. Груз необходимо равномерно распределить в кузове автомобиля, избегая сосредоточения массы в одной области. Перевозка должна осуществляться в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

2. Учет сил инерции. Во время движения груз испытывает силу инерции, что следует учитывать при транспортировке. В зависимости от условий движения грузового автотранспорта силы инерции могут варьироваться от 20% до 80% от веса груза, учитывая неровности дороги, резкое торможение, ускорение и повороты.

3. Учет марок автотранспорта. Расположение крепежных колец внутри кузова может варьироваться в зависимости от производителя, что затрудняет разработку унифицированного крепления. Поэтому необходимо подбирать крепежные средства индивидуально, исходя из конструктивных особенностей кузова автотранспорта.

4. Методы крепления металлопроката на автотранспорте: блокировка груза - необходимо учитывать прочность бортов кузова; крепление растяжками - растяжки должны быть достаточно прочными, чтобы выдерживать нагрузку при движении; прижатие к полу - груз должен быть прочно прикреплен к полу крепежными ремнями, чтобы исключить его смещение; комбинированный способ предусматривает использование ремней в сочетании с ковриками против скольжения.

5. Использование ложементов. Применение специализированных ложементов, которые препятствуют смещению металлопроката [5, с. 89; 90].

Обеспечение безопасности транспортировки металлопроката автотранспортом представляет собой сложную инженерную задачу из-за необходимости равномерного распределения и надежного крепления груза, учета сил инерции в различных условиях движения, а также адаптации крепежных средств к конструктивным особенностям различных моделей транспортных средств. Соблюдение этих правил требует тщательного подхода и использования специализированных методов и средств крепления, чтобы предотвратить смещение и повреждение груза.

К средствам, помогающим беспилотному автотранспорту осуществлять навигацию, относятся, технические решения представленные в таблице 2.

Рассмотрение актуальных научно-практических исследований по изучению навигации беспилотных транспортных средств помогают более глубокому пониманию проблем, с которыми могут столкнуться БАТС в реальных условиях.

Эксперимент по изучению навигации автономного транспортного средства был направлен на улучшение алгоритмов навигации через параллельное обучение нейронных сетей. Он включал три исследования: на CPU с OpenMP, на одном GPU и на двух GPU. В первом случае точность составила 96%, но обучение заняло больше времени по сравнению с GPU. Во втором случае использование CUDA на одном GPU значительно увеличило скорость прогнозирования. В

третьем случае применение PyTorch DDP на двух GPU ещё больше сократило время выполнения прогнозов. Эксперимент выявил следующие недостатки системы навигации: OpenMP на CPU улучшает скорость обучения, но уступает GPU; PyTorch DDP для параллельного обучения на нескольких GPU требует сложной настройки и синхронизации; эффективность зависит от конфигурации оборудования; нейронные сети испытывают трудности с точным прогнозированием при изменении освещения и погодных условий [27].

Таблица 2.

Средства навигации беспилотного автомобиля

№	Аппаратное средство	Характеристика
1.	LiDAR (Light Detection and Ranging)	При поддержке лазерных импульсов система помогает автомобилю создавать 3D-карту окружающей среды, что позволяет идентифицировать препятствия на пути и своевременно их обходить. Система обладает высокой стоимостью и технической сложностью, но отличается высокой точностью генерируемых результатов.
2.	Радар	Технология распознавания объектов посредством радара основана на использовании радиоволн для измерения скорости и расстояния до объектов. Радар способен работать при любых погодных условиях, однако точность обнаружения ниже по сравнению с LiDAR.
3.	Камеры	С помощью камер система получает информацию в виде фото и видео обработка которой посредством машинного обучения и искусственного интеллекта в режиме реального времени позволяет распознавать участников дорожного движения и дорожные знаки.
4.	Ультразвуковые датчики	Используют звуковые волны для измерения расстояния до ближайших объектов. Эффективны на малых расстояниях и при низких скоростях.
5.	GPS (Глобальная система позиционирования)	Точно определяют место расположение автомобиля с помощью спутниковой связи, что позволяет автомобилю осуществлять маневры в дорожном пространстве.

Составлено автором на основе источника [15, с. 173, 174].

Эксперимент по навигации автономного транспортного средства включал ключевые компоненты: камера для захвата данных о дороге, OpenCV для идентификации полос и вычисления отклонения, IR сенсоры для измерения расстояния до объектов, а также специализированная платформа для обработки данных и управления движением. Результаты показали высокую точность обнаружения полос, зависящую от частоты кадров. Интеграция OpenCV и Python позволила эффективно обрабатывать визуальные данные в реальном времени. Недостатки включают ограниченную производительность при низкой частоте кадров и высокой скорости движения, зависимость от визуальных данных, необходимость доработки для работы в условиях интенсивного движения, изменяющихся погодных условий и сложных дорожных сценариев, а также ограниченную масштабируемость системы [26].

Третий проанализированный эксперимент по изучению навигации автономного транспортного средства был проведен с использованием системы INS/TZV/NHC (Inertial Navigation System/ Total Zero Velocity/Non-Holonomic Constraint). К главным недостаткам системы относятся чувствительность к вибрациям, из-за которой она может неверно трактовать колебания неподвижного транспортного средства как движение. Медленная коррекция ошибок гироскопа по сравнению с акселерометром может со временем привести к ухудшению точности системы навигации [29].

Перспективы развития навигационных систем для автономных транспортных средств включают оптимизацию параллельного обучения нейронных сетей и усовершенствование алгоритмов синхронизации. Повышение устойчивости к изменениям освещения и погодных условий также является ключевой задачей. Важно совершенствовать обработку визуальных данных для обеспечения эффективной работы в сложных дорожных условиях. Решение проблемы чувствительности к вибрациям и ускорение коррекции ошибок гироскопа могут существенно повысить точность и надежность навигационных систем.

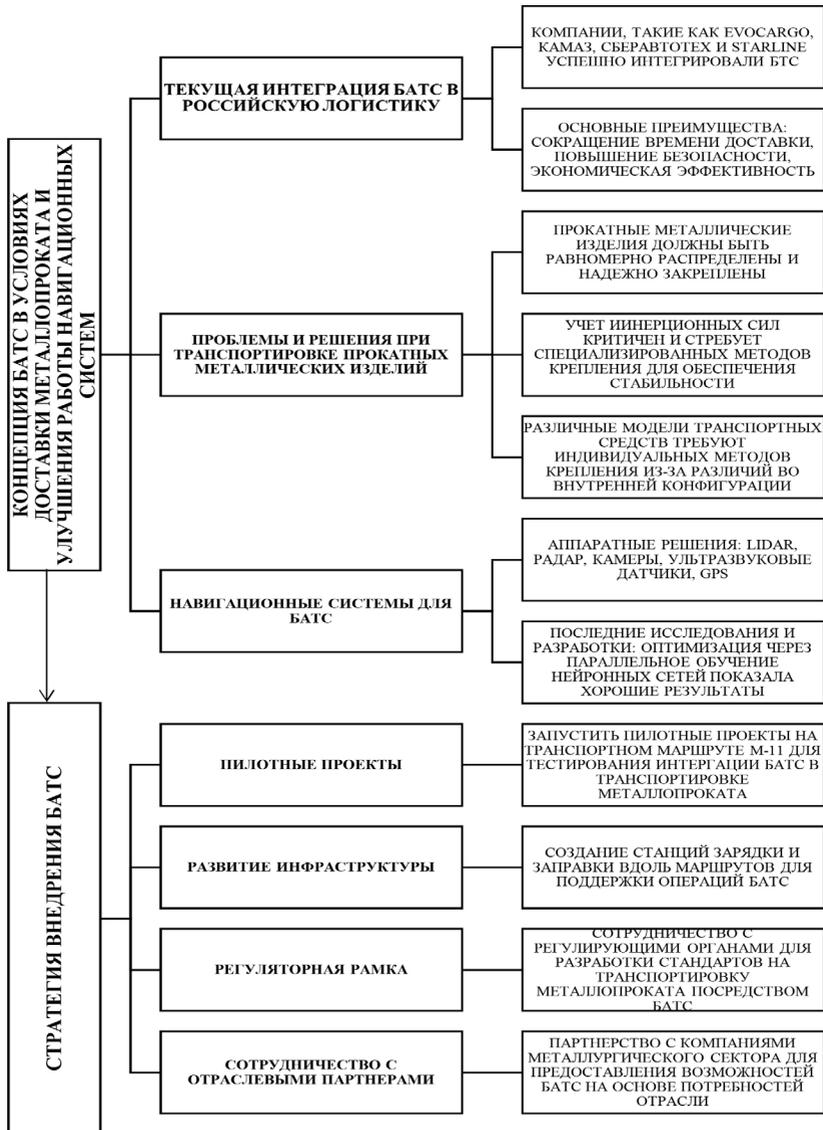


Рис. 2. Концепции применения БАТС для повышения эффективности перевозки и доставки металлопроката в условиях улучшения работы навигационных систем

Для разработки концепции применения БАТС с целью повышения эффективности транспортировки и доставки прокатных металлических изделий необходимо рассмотреть следующие ключевые аспекты на основе данных, полученных в ходе настоящего исследования, представленные на рисунке 2. В контексте исследования интеграции беспилотных автомобильных транспортных средств (БАТС) в российскую логистику, компании Evocargo, КамАЗ, СберАвтоТех и Starline демонстрируют значительные достижения и потенциал. Использование БАТС позволяет значительно сократить сроки доставки грузов, обеспечить безопасность на дорогах, снизить выбросы CO₂ и достичь экономической эффективности. Развитие навигационных систем, таких как LiDAR, радары, камеры, ультразвуковые датчики и GPS, играет ключевую роль в повышении точности и надежности автономных транспортных решений.

Список литературы

1. Акопов А. С. Улучшение маневренности беспилотных транспортных средств при различных конфигурациях дорожной сети / А. С. Акопов, Л. А. Бекларян // Искусственные общества. 2021. Т. 16, № 3. С. 1-21.
2. Ананенко А. О. Основные направления совершенствования правового регулирования использования беспилотных транспортных средств // Транспортное право и безопасность. 2020. № 2(34). С. 76-83.
3. Быков Н. В. Моделирование кластерного движения беспилотных транспортных средств в гетерогенном транспортном потоке // Компьютерные исследования и моделирование. 2022. Т. 14, №5. С. 1041–1058.
4. Вассуф Я. Развитие беспилотных транспортных средств: проблемы экономики, управления, математического моделирования / Я. Вассуф, А. И. Орлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 191. С. 115-137.

5. Ворожун И. А. Обеспечение безопасной перевозки металлопродукта на автомобильном транспорте // Проблемы безопасности на транспорте. 2017. С. 89-90.
6. ГОСТ 26653-2015 Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие требования // Интернет и Право [сайт]: internet-law.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Vsxuz> (дата обращения: 13.07.2024)
7. ГОСТ 7566-2018 Металлопродукция. Правила приемки, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение // Интернет и Право [сайт]: internet-law.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3VsynD> (дата обращения: 13.07.2024)
8. Дан старт движению беспилотных грузовиков по трассе М-11 «Нева» // Министерство транспорта Российской Федерации [сайт]: mintrans.gov.ru. 2021. URL: <https://clck.ru/3Vshao> (дата обращения: 13.07.2024)
9. Для беспилотной дружбы нет преград: беспилотный тягач Starline выехал из Москвы в Петербург, преодолев 684 км в беспилотном режиме // Starline - Беспилотный автомобиль [сайт]: smartcar.starline.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Br4sm> (дата обращения: 13.07.2024)
10. КамАЗ запустил по трассе М-11 еще три беспилотных грузовика // РИА Новости [сайт]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3VqkoP> (дата обращения: 13.07.2024)
11. Камазовские беспилотники перевезли между Москвой и Питером свыше 10 тыс. тонн груза // Вести КАМАЗа [сайт]: vestikamaza.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Vqmqzv> (дата обращения: 13.07.2024)
12. Конструктор «КамАЗа» рассказал о преимуществах беспилотных автомобилей // РИА Новости [сайт]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Vr4yM> (дата обращения: 13.07.2024)
13. Кочои С. М. Уголовно-правовые риски использования беспилотных транспортных средств // Актуальные проблемы российского права. 2021. Т. 16, № 7(128). С. 125-135.
14. «Магнит» и «Камаз» запустили грузоперевозки беспилотным транспортом по трассе М-11 // Искусственный интеллект Российской Федерации [сайт]: ai.gov.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3VqzNq> (дата обращения: 11.07.2024)

15. Мержанов А. А. аппаратные средства беспилотного автомобиля / А. А. Мержанов, А. С. Руднев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 1-2(88). С. 172-175.
16. Минтранс проработает расширение сети беспилотных грузоперевозок // РИА Новости [сайт]: ria.ru. 2024. URL: <https://clck.ru/3BstLW> (дата обращения: 13.07.2024)
17. Минтранс России приступил к реализации проекта беспилотных грузоперевозок по трассе М-11 «Нева» // Министерство транспорта Российской Федерации [сайт]: mintrans.gov.ru. 2021. URL: <https://clck.ru/3BshWv> (дата обращения: 13.07.2024)
18. На ПМЭФ определили перспективы развития проекта «Беспилотные логистические коридоры» // Министерство транспорта Российской Федерации [сайт]: mintrans.gov.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BstyU> (дата обращения: 13.07.2024)
19. По М-11 запустили грузовые беспилотные перевозки // РИА Новости [сайт]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Bqw7g> (дата обращения: 13.07.2024)
20. СберАвтоТех // SberAutoTech [сайт]: sberautotech.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Bqu7k> (дата обращения: 13.07.2024)
21. Сеть платных дорог России. Трасса М-12 «Восток» // Автодор [сайт]: avtodor-tr.ru. 2024. URL: <https://clck.ru/3BstcA> (дата обр.: 13.07.2024)
22. Робофуры в деле: в России создаются беспилотные логистические коридоры // Национальные проекты России [сайт]: национальные-проекты.рф. 2021. URL: <https://clck.ru/3BshNA> (дата обр.: 13.07.2024)
23. Российский беспилотник с возможностью заправки водородом проехал по ЦКАД // РИА Новости [сайт]: ria.ru. 2020. URL: <https://clck.ru/3BqWMk> (дата обращения: 13.07.2024)
24. «Татнефть» начнет использовать беспилотные легкие грузовики Evocargo // Интерфакс [сайт]: interfax.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BqXMA> (дата обращения: 13.07.2024)
25. Трассу М-12 технически оборудуют для движения по ней беспилотников // РИА Новости [сайт]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BstUP> (дата обращения: 13.07.2024)

26. Dubey Y. An Artificial Intelligence Based Autonomous Road Lane Detection and Navigation System for Vehicles / Y. Dubey, Y. Tarte, N. Talatule [и др.] // Preprints.org. 2024. <https://doi.org/10.20944/preprints202406.0350.v1>
27. Evocargo // Evocargo [сайт]: evocargo.com. 2024. URL: <https://clck.ru/3VqYHX> (дата обращения: 11.07.2024)
28. Mochurad L. Parallel and distributed computing technologies for autonomous vehicle navigation / L. Mochurad, M. Mamchur // Radio Electronics Computer Science Control. 2023. No 3. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-11>
29. Yu P. An Improved Autonomous Inertial-Based Integrated Navigation Scheme Based on Vehicle Motion Recognition / P. Yu, W. Wei, J. Li [и др.] // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 104806-104816. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3318548>

References

1. Akopov A. S. Improvement of maneuverability of unmanned vehicles at different configurations of the road network / A. S. Akopov, L. A. Beklarian. *Artificial Societies*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 1-21.
2. Ananenko A. O. Main directions of improving the legal regulation of the use of unmanned vehicles. *Transport Law and Safety*, 2020, no. 2(34), pp. 76-83.
3. Bykov N. V. Modeling of cluster motion of unmanned vehicles in heterogeneous traffic flow. *Computer Research and Modeling*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 1041-1058.
4. Wassouf Ya. Development of unmanned vehicles: problems of economics, management, mathematical modeling / J. Wassouf, A. I. Orlov. *Polythematical network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2023, no. 191, pp. 115-137.
5. Vorozhun I. A. Ensuring safe transportation of rolled metal products on road transport. *Problems of safety in transport*, 2017, pp. 89-90.
6. GOST 26653-2015 Preparation of general cargo for transportation. General requirements. *Internet and Law* [website]: internet-law.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Bsxyz> (accessed 13.07.2024)

7. GOST 7566-2018 Metal products. Rules of acceptance, marking, packaging, transportation and storage. *Internet and Law* [website]: internet-law.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BsynD> (accessed 13.07.2024)
8. The start of the movement of unmanned trucks on the highway M-11 “Neva”. *Ministry of Transport of the Russian Federation* [website]: mintrans.gov.ru. 2021. URL: <https://clck.ru/3Bshao> (accessed 13.07.2024)
9. There are no barriers for unmanned friendship: an unmanned Starline tractor-trailer left Moscow for St. Petersburg, having covered 684 km in unmanned mode. *Starline - Unmanned Car* [website]: smartcar.starline.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Br4sm> (accessed 13.07.2024)
10. KamAZ launched three more unmanned trucks along the M-11 highway. *RIA Novosti* [website]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BqkoP> (accessed 13.07.2024)
11. Kamaz drones transported over 10 thousand tons of cargo between Moscow and St. Petersburg. *Vesti KAMAZ* [website]: vestikamaza.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Bqmvz> (accessed 13.07.2024)
12. KAMAZ designer told about the advantages of unmanned vehicles. *RIA Novosti* [website]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Br4yM> (accessed 13.07.2024)
13. Kochoi S. M. Criminal-legal risks of using unmanned vehicles. *Actual problems of Russian law*, 2021, vol. 16, no. 7(128), pp. 125-135.
14. “Magnit” and ‘Kamaz’ launched cargo transportation by unmanned vehicles along the highway M-11. *Artificial Intelligence of the Russian Federation* [site]: ai.gov.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BqzNq> (accessed 11.07.2024)
15. Merzhanov A. A. Hardware of an unmanned car / A. A. Merzhanov, A. S. Rudnev. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2024, no. 1-2(88), pp. 172-175.
16. Ministry of Transport will work out the expansion of the network of unmanned trucking. *RIA Novosti* [website]: ria.ru. 2024. URL: <https://clck.ru/3BstLW> (accessed 13.07.2024).
17. Ministry of Transport of Russia has launched the project of unmanned cargo transportation along the M-11 highway “Neva”. *Ministry of*

- Transport of the Russian Federation* [website]: mintrans.gov.ru. 2021. URL: <https://clck.ru/3BshWv> (accessed 13.07.2024).
18. At SPIEF the prospects for the development of the project “Unmanned logistics corridors”. *Ministry of Transport of the Russian Federation* [website]: mintrans.gov.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BstyU> (accessed 13.07.2024)
 19. Cargo unmanned transportation was launched along M-11. *RIA Novosti* [website]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Bqw7g> (accessed 13.07.2024)
 20. SberAutoTech. *SberAutoTech* [website]: sberautotech.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3Bqy7k> (accessed 13.07.2024)
 21. Network of toll roads in Russia. Highway M-12 “Vostok”. *Avtodor* [website]: avtodor-tr.ru. 2024. URL: <https://clck.ru/3BstcA> (accessed 13.07.2024)
 22. Robofurs in action: unmanned logistics corridors are being created in Russia. *National Projects of Russia* [website]: национальныепроекты.рф. 2021. URL: <https://clck.ru/3BshNA> (accessed 13.07.2024)
 23. Russian drone with the possibility of hydrogen refueling drove along the Central Ring Road. *RIA Novosti* [website]: ria.ru. 2020. URL: <https://clck.ru/3BqWMk> (accessed 13.07.2024)
 24. “Tatneft” will start using unmanned light trucks Evocargo. *Interfax* [website]: interfax.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BqXMA> (accessed 13.07.2024)
 25. M-12 highway will be technically equipped for drone traffic. *RIA Novosti* [website]: ria.ru. 2023. URL: <https://clck.ru/3BstUP> (accessed 13.07.2024)
 26. Dubey Y. An Artificial Intelligence Based Autonomous Road Lane Detection and Navigation System for Vehicles / Y. Dubey, Y. Tarte, N. Talatule [et al.]. *Preprints.org*. 2024. <https://doi.org/10.20944/preprints202406.0350.v1>
 27. Evocargo. *Evocargo* [website]: evocargo.com. 2024. URL: <https://clck.ru/3BqYHX> (accessed 11.07.2024)
 28. Mochurad L. Parallel and distributed computing technologies for autonomous vehicle navigation / L. Mochurad, M. Mamchur. *Ra-*

dio Electronics Computer Science Control, 2023, no 3. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-11>

29. Yu P. An Improved Autonomous Inertial-Based Integrated Navigation Scheme Based on Vehicle Motion Recognition / P. Yu, W. Wei, J. Li [et al.]. *IEEE Access*, 2023, vol. 11, pp. 104806-104816. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3318548>

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Изотов Антон Игоревич, специалист по логистике

*ООО «УВМ-Сталь, филиал в г. Санкт-Петербург
пр. Измайловский , 2Л, г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация
478717@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Anton I. Izotov, Logistics Specialist

*UVM-Steel LLC, branch in Saint Petersburg
2L, Izmailovsky Ave., St. Petersburg, Russian Federation
478717@mail.ru
SPIN-code: 7829-6966
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1745-3192>
ResearcherID: KTK-5571-2024*

Поступила 15.08.2024

После рецензирования 10.09.2024

Принята 20.09.2024

Received 15.08.2024

Revised 10.09.2024

Accepted 20.09.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-304

УДК 621.396.6.07.019.3



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

П.В. Калашиников

В ходе выполненного исследования рассматриваются аспекты функционирования информационных систем в случае неопределенности, описываемой данными интервального типа, а также изучаются основные виды ошибок, возникающих при их функционировании.

Цель исследования состоит в поиске эффективных подходов к обеспечению надежной работы информационных систем при условии наличия неопределенности в значениях параметров, задаваемых данными интервального типа.

Материалы и методы. В данной статье приведен подход к решению задачи управления надежностью сложной информационной системы при наличии фактора неопределенности в значениях параметров, которые могут быть описаны с использованием данных интервального типа и соответствующего математического аппарата работы с ними.

Научная новизна описанного подхода заключается в возможности наиболее точно учитывать фактор погрешностей, имеющих место при работе информационной системы в условиях неопределенности и определять оптимальные варианты коррекции значений ее параметров, не допуская выхода за допустимые интервалы их изменений.

Заключение. Предлагаемый в статье подход предполагается применять при решении задачи обеспечения надежной работы информационной системы в случае наличия неопределенности, кото-

рую можно описать с помощью аппарата интервальных данных. Разработанный метод позволяет найти оптимальное управляющее воздействие на параметры системы в данный момент времени, при котором вероятность возникновения сбоевых отказов будет сведена к минимуму.

Ключевые слова: данные интервального типа; сбоевые ошибки; сложная информационная система; задача управления надежностью

Для цитирования. Калашников П.В. К проблеме управления надежностью информационной системы в условиях интервальной неопределенности // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 3. С. 62-76. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-304

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

ON THE PROBLEM OF CONTROL THE RELIABILITY OF AN INFORMATION SYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY

P.V. Kalashnikov

In the course of the study, aspects of the power supply of information systems are considered in the case of uncertainty described by interval-type data, and the main types of errors that arise during their operation are studied.

The aim of the study is to find effective approaches to ensuring reliable operation of information systems subject to the presence of uncertainty in the values of parameters specified by interval data.

Materials and methods. This article presents an approach to solving the problem of control the reliability of a complex information system in the presence of an uncertainty factor in the values of parameters that can be described using interval type data and the corresponding mathematical methods for working with them.

The scientific novelty of the described approach lies in the ability to most accurately take into account the error factor that occurs when an information system operates under conditions of uncertainty and determine the optimal options for correcting the values of its parameters, without allowing their changes to go beyond the permissible intervals.

Conclusion. *The approach proposed in the article is supposed to be used when solving the problem of ensuring reliable operation of an information system in the presence of uncertainty, which can be described using the apparatus of interval data. The developed method makes it possible to find the optimal control effect on the system parameters at a given time, at which the probability of failures will be minimized.*

Keywords: *interval type data; failure errors; complex information system; reliability management problem*

For citation. *Kalashnikov P.V. On the Problem of Control the Reliability of an Information System under Conditions of Interval Uncertainty. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 62-76. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-304*

Введение

Информационные системы представляют собой важный компонент современных технологических процессов, проходящих в различных областях народного хозяйства и охватывающих множество аспектов жизни современного общества. Надежное функционирование информационных систем является мощным фундаментом для внедрения передовых технологий в различных областях науки и техники. Возникающие риски, связанные с наличием сбоев и функциональных отказов при работе информационных систем, представляют собой серьезную угрозу для тех отраслей экономики, где эти системы применяются. В работах [1-7] раскрыты основные аспекты описанной выше проблематики.

Однако попытки применить классическую теорию структурной надежности в контексте информационных систем сталкиваются с следующими проблемами:

- 1) Сложность деления информационной системы на подсистемы, обусловленная их взаимной коррелированностью и невозможность представить такую систему как простую сумму компонентов, из которых она состоит.
- 2) В современных информационных системах процессы принятия решений протекают очень быстро, что требует применение специальных средств массового обслуживания запросов, построенных на основе механизма дискретных функций.
- 3) Отличительными особенностями информационных систем являются наличие сбоевых ошибок в работе аппаратных средств, наличие ошибок в используемом программном обеспечении, а также необходимость учета факторов риска информационной безопасности.

Цель исследования состоит в разработке эффективных методов управления надежностью работы информационных систем в случае наличия неопределенности в значениях параметров, описываемой данными интервального типа.

Задачами проводимого исследования являются: построение математической модели, позволяющей описать общий механизм функционирования информационной системы в условиях интервальной неопределенности, возникновения функциональных отказов, а также анализ основных типов ошибок.

В работах [8-14] описаны основные подходы к решению задачи обеспечения эффективной надежной работы информационной системы. При этом фактор учета возможных погрешностей в значениях параметров рассматриваемого класса систем не описывается.

При анализе функциональной надежности информационной системы учитывают такие факторы, как сбоевые ошибки, ошибки человека оператора, ошибки в программном обеспечении, ошибки в исходных данных. Рассмотрим основные типы ошибок, возникающих при функционировании информационных систем.

Классификация ошибок, возникающих при функционировании информационных систем

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на функционирование информационных систем являются сбоевые ошибки. Выделяют два типа данного класса ошибок: защищенные и незащищенные сбои.

Под защищенным сбоем понимаются ошибки, которые могут быть своевременно обнаружены и устранены за счет механизма структурной избыточности самой информационной системы. К возникновению функциональных отказов, имеющих серьезные последствия для работы информационной системы, такого типа сбои, как правило, не приводят.

Незащищенные сбои в свою очередь могут вызывать серьезные функциональные нарушения в работе информационной системы или отдельных ее компонентов. Одной из основных причин таких сбоев могут выступать импульсные помехи.

Другим важным классом ошибок, имеющих место при функционировании информационных систем являются ошибки при разработке программного обеспечения. К основным типам ошибок при разработке программного обеспечения относят: ошибки описания, ошибки целей, а также программные ошибки, связанные с некорректным выполнением отдельных операций. Данные ошибки могут проявлять себя только на определенных наборах данных, а на других нет, оставаясь незамеченными долгое время.

Модификация программ с целью устранения выявленных ошибок приводит к появлению новых программ, которые также могут содержать ошибки, возникшие при устранении ранее выявленных.

Контроль и своевременное устранение ошибок является важной задачей при создании программного обеспечения, дающей в свою очередь возможность для повышения надежности работы информационной системы в целом.

Наряду с ошибками в программном обеспечении при оценке надежности информационной системы необходимо уделять внимание ошибкам человека-оператора.

Оператор информационной системы выполняет, как правило, сложную высокоинтеллектуальную работу, требующую существенной концентрации внимания и психоэмоциональных нагрузок. Неверные действия оператора могут приводить к возникновению существенных нештатных инцидентов и даже полному останову системы. Современные информационные системы проектируются достаточно часто с учетом фактора ошибок человека-оператора, однако избежать нештатных ситуаций и отказов это позволяет не всегда.

К числу важных факторов, существенно влияющих на надежную работу информационной системы следует также отнести безошибочность данных, с которыми работает система. Под безошибочностью данных понимается нахождение их значений в пределах допустимых интервалов изменения, не вызывающих функциональные отказы и сбои в работе системы. К основным причинам выхода значений данных из допустимых интервалов можно отнести сбойные ошибки, ошибки человека-оператора, а также ошибки, допущенные при разработке программного обеспечения.

При передаче пакетов данных могут возникать ошибки, связанные с тем, что число отправленных пакетов превышает число полученных (ошибка ввода сообщения), количество полученных пакетов меньше количества отправленных (ошибка потери сообщения). В случае совпадения количества отправленных и полученных пакетов данных могут иметь место ошибки, обусловленные задержкой сообщений, искажением их содержания, а также оправкой сообщения от лица не являющегося подлинным отправителем (ошибка имитации сообщения).

При анализе надежности информационной системы особое внимание следует уделять отказам по общей причине. Данный

тип отказов связан, как правило, с нарушением работоспособности нескольких узлов системы, вызванных наличием систематических ошибок. Данный тип отказов может существенным образом негативно сказаться на работе отдельных компонентов информационной системы или всего объекта в целом.

Важным фактором, который необходимо учитывать при анализе надежности информационной системы являются функциональные отказы, возникающие по причине атак злоумышленников. Под атакой понимается действия злоумышленника, направленные на перевод под свой контроль отдельных компонентов или всей системы в целом. В ходе реализации этих используются имеющиеся место аппаратные и программные уязвимости, позволяющие третьим лицам проникать в систему не имея при этом соответствующих прав доступа. Целями проведения подобного сорта атак могут выступать хищение данных, а также попытки перевести систему под свой контроль и заблокировать ее работу.

Разработка мер, направленных на повышение информационной безопасности является одним из основных факторов, позволяющих минимизировать количество функциональных отказов и ущерб причиняемый системе в целом в результате реализации атак злоумышленников.

Задача управления надежностью работы реальной информационной системы требует учета фактора неопределенности в возможных значениях ее параметров. Как правило, такие значения удобно описывать данными интервального типа и применять соответствующий математический аппарат.

Моделирование процесса управления надежностью информационной системы в случае неопределенности, описываемой данными интервального типа

Обработка значений параметров сложных систем в условиях неопределенности, когда известны лишь допустимые границы их изменения представляет собой важную ветвь современной мате-

матической науки, находящей свое выражение в таком ее разделе как статистика интервальных данных. Основные подходы к анализу данных в условиях интервальной неопределенности представлены в работах [15-17].

В общем случае под интервалом вещественной оси понимается множество $M = \{x \in R: \underline{a} \leq x \leq \bar{a}\}$, где \underline{a} – левый, \bar{a} – правый концы интервала $[\underline{a}, \bar{a}]$ соответственно.

Анализ и обработка данных на основе интервального подхода позволяет получать решение тех задач, для которых применение аппарата классической теории вероятностей не возможно, либо дает некорректные результаты.

Рассмотрим задачу управления надежностью информационной системой на основе обработки и анализа данных интервального типа.

Предположим, что в информационную систему выполняется k функциональных задач.

Задача № i , где $i = \overline{1, k}$ характеризуется множеством параметров P_i .

Множество P_i состоит из следующих подмножеств, описывающих основные компоненты информационной системы:

Z_i – множество параметров, описывающих характеристики аппаратных средств информационной системы, относящихся к задаче № i ;

Q_i – множество параметров, описывающих характеристики программных средств информационной системы, относящихся к задаче № i ;

D_i – множество параметров, описывающих характеристики оператора информационной системы, относящихся к задаче № i ;

N_i – множество параметров, описывающих характеристики каналов связи, информационной системы, относящихся к задаче № i ;

Компоненты каждого из множеств Z_i, Q_i, D_i, N_i обозначим строчными буквами z_i, q_i, d_i, n_i соответственно.

Множество $Z_i = \{Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{iR_i}\}$, где R_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих техническое состояние аппаратных средств для задачи номер i .

Множество $Q_i = \{q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{iE_i}\}$, где E_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих состояние программных средств для задачи номер i .

Множество $D_i = \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iF_i}\}$, где F_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих состояние оператора для задачи номер i .

Множество $N_i = \{n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{iT_i}\}$, где T_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих состояние каналов связи для задачи номер i .

Каждый компонент описанных выше множеств принимает значения в границах своей области работоспособности, заданной интервалами следующего вида $z_{ij} \in [z_{ij}, \overline{z_{ij}}]$, $j=1, R_i$, $d_{ij} \in [d_{ij}, \overline{d_{ij}}]$, $q_{ij} \in [q_{ij}, \overline{q_{ij}}]$, $j=1, F_i$, $n_{ij} \in [n_{ij}, \overline{n_{ij}}]$, $j=1, T_i$, всюду, если не оговорено противное $i=1, k$.

Состояние информационной системы S в момент времени t задается в виде

$$V(t) = (Z_i(t), Q_i(t), D_i(t), N_i(t)). \quad (1)$$

Обозначим через Y множество всех допустимых траекторий, вдоль которых может меняться состояние рассматриваемой информационной системы.

В случае если значение всех параметров системы находится в пределах их допустимых интервалов изменения, то процесс смены состояний системы протекает по траектории $y \in Y$.

На состояние информационной системы существенное влияние оказывают также и факторы внешней среды.

Обозначим в виде интервального вектора $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ множество факторов, оказывающих влияние на рассматриваемую информационную систему S . Каждый компонент b_j рассматриваемого вектора b принимает значение на интервале $[b_j, \overline{b_j}]$, соответствующем допустимым отклонениям значений.

Процесс функционирования системы S в момент времени t можно описать в виде интервалозначной функции безошибочности $F(V, b, t)$.

При проведении оценки надежности работы информационной системы множества ее состояний можно разделить на два подмножества, соответствующих случаю стабильной работы и возникновения сбоевых ошибок соответственно.

Когда речь идет о стабильной работе системы, то при анализе надежности, как правило, выделяют состояния, соответствующие полностью корректно выполненным операциям, а также защищенным сбоям, не вызывающих серьезных функциональных отказов.

Обозначим через V_d – подмножество множества состояний системы, где есть защищенные сбои, не влияющие существенным образом на работоспособность системы.

Множество V_d в свою очередь можно представить в виде ряда упорядоченных подмножеств следующего вида

$$V_{d1} \supset V_{d2} \supset \dots \supset V_{dn} \quad (2)$$

Наличие частичного отказа в работе информационной системы соответствует переходу системы в момент времени t из состояния V_{dk} в состояние V_{dj} , где $V_{dk} \subset V_{dj}$ и при этом значение функции безошибочности удовлетворяет соотношению

$$F(V_{dj}, b, t) < F(V_{dk}, b, t) \quad (3)$$

Случай полного останова информационной системы соответствует переходу системы в состояние, характеризующиеся наличием неустранимых сбоевых ошибок, приводящих к выходу значений параметров за пределы допустимой области безошибочности.

Описанный в данном разделе подход позволяет учитывать фактор неопределенности, имеющий место быть при функционировании реальных информационных систем, а также определять для заданного момента времени t в какое из состояний перейдет система в следующий момент времени и какие корректирующие воздействия на параметры системы необходимо произвести, чтобы не допустить их выхода за пределы допустимой области безошибочности.

Обсуждение и заключение

В ходе проведенного исследования рассмотрены основные аспекты проблематики управления надежностью информационных систем в случае неопределенности значений параметров в виде данных интервального типа. Показаны основные проблемные ситуации, связанные с применением классической теории структурной надежности в контексте информационных систем.

Разработанная в ходе проведенного исследования модель позволяет осуществлять учет фактор погрешности в значениях параметров системы в ходе процесса обеспечения ее стабильного функционирования и в случае необходимости применять корректирующие воздействия, сводящие к минимуму ущерб, возникающий при реализации рискованных событий в форме функциональных отказов.

Список литературы

1. Острейковский В. А. Теория техногенного риска: математические методы и модели: монография; Сургут. гос. ун-т ХМАО-Югр. Сургут: КЦ СурГУ, 2015. 320 с.
2. Острейковский В. А. Количественная оценка риска в теории техногенной безопасности сложных динамических систем // Итоги науки. Т.1. Избранные труды международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. М.: РАН, 2013. Гл. 2. С. 12–31.
3. Муравьев И. И. Модели оценки фактора времени в теории техногенного риска динамических систем / И. И. Муравьев, В. А. Острейковский, Е. Н. Шевченко // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 24–27.
4. Королев В.Ю. Математические основы теории риска: учебное пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 544 с.
5. Острейковский В.А. О некоторых классах моделей риска в теории техногенной безопасности // Надежность и качество. Труды Международного Симпозиума: в 2 т. / под ред. Н.К.Юркова. Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. 1 т. С. 46-49.

6. Калашников П.В. Математическая модель управления рисками, возникающими при функционировании сложных технических систем ответственного назначения в условиях неопределенности информации о значениях параметров и фазовом состоянии // International Journal of Advanced Studies, 2022. Т. 12, № 3. С. 22-39. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39>.
7. Калашников П.В. Применение сценарного подхода к анализу и управлению рисками при функционировании сложных динамических систем в условиях интервальной неопределенности // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 3. С. 224-236. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236>
8. Наумов Ю. Е. Помехоустойчивость устройств на интегральных логических схемах / Ю. Е. Наумов, Н. А. Аваев, М. А. Бедрековский. М.: Советское радио, 1975. 216 с.
9. Коваленко О. В. Вероятностный анализ безопасности сложных систем человек-машина / О. В. Коваленко, С.В. Петрик. Сарово: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. 114 с.
10. Wang Y., Shi W. Budget-Driven Scheduling Algorithms for Batches of MapReduce Jobs in Heterogeneous Clouds // IEEE Transactions on Cloud Computing. 2014. Vol. 2, № 3. P. 306–319. <https://doi.org/10.1109/TCC.2014.2316812>
11. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques / P. Berkhin J. Kogan, C. Nicholas, M. Teboulle // Grouping Multidimensional Data: Recent Advances in Clustering. Berlin: Springer, 2006. P. 25-71. https://doi.org/10.1007/3-540-28349-8_2
12. Hoehle H. Three decades of research on consumer adoption and utilization of electronic banking channels: A literature analysis / H. Hoehle, E. Scornavacca, S. Huff // Decision Support Systems. 2012. Vol. 54, № 1. P. 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.04.010>
13. Hutchinson D., Warren M. Security for internet banking: A framework // Logistics Information Management. 2003. Vol. 16, № 1. P. 64–73. <https://doi.org/10.1108/09576050310453750>

14. Jain A. K. Data Clustering: A Review / A. K Jain, M. N. Murty, P. J. Flynn // ACM Computing Surveys. 1999. Vol. 31, N 3. P. 264-323. <https://doi.org/10.1145/331499.331504>
15. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: XYZ, 2018. 623 с.
16. Добровец Б.С. Интервальная математика. Красноярск: Издательский центр Красноярского государственного университета, 2004. 219 с.

References

1. Ostreikovskiy V. A. *Theory of technogenic risk: mathematical methods and models*: monograph. Surgut: KC Surgu, 2015, 320 p.
2. Ostreikovskiy V. A. Quantitative risk assessment in the theory of technogenic safety of complex dynamic systems. *Results of Science. Vol. 1. Selected Works of the International Symposium on Fundamental and Applied Problems of Science*. Moscow: RAS, 2013, part 2, pp. 12-31.
3. Muravyev I. I. Time factor estimation models in the theory of technogenic risk of dynamic systems / I. I. Muravyev, V. A. Ostreikovskiy, E. N. Shevchenko. *Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*, 2015, vol. 1, pp. 24-27.
4. Korolev V.Yu. *Mathematical bases of risk theory*: textbook. M.: FIZMATLIT, 2007, 544 p.
5. Ostreikovskiy V.A. About some classes of risk models in the theory of technogenic safety. *Reliability and quality. Proceedings of the International Symposium*: in 2 vol. / edited by N.K. Yurkov. Penza: PSU Publ., 2013. 1 vol., pp. 46-49.
6. Kalashnikov P.V. Mathematical model of risk management arising in the operation of complex technical systems of responsible purpose in conditions of uncertainty of information about the values of parameters and phase state. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 22-39. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39>.

7. Kalashnikov P.V. Application of scenario approach to the analysis and risk management in the functioning of complex dynamic systems under interval uncertainty. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 224-236. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236>
8. Naumov Yu. E. *Interference immunity of devices on integrated logic circuits* / Yu. E. Naumov, N. A. Avaev, M. A. Bedrekovsky. Moscow: Soviet Radio, 1975, 216 p.
9. Kovalenko O. B. *Probabilistic safety analysis of complex man-machine systems* / O.V. Kovalenko, S.V. Petrik. Sarovo: RFNC-VNIIEF, 2010, 114 p.
10. Wang Y., Shi W. Budget-Driven Scheduling Algorithms for Batches of MapReduce Jobs in Heterogeneous Clouds. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2014, vol. 2, no. 3, pp. 306-319. <https://doi.org/10.1109/TCC.2014.2316812>
11. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques / P. Berkhin J. Kogan, C. Nicholas, M. Teboulle. *Crouping Multidimensional Data: Recent Advances n Clustering*. Berlin: Springer, 2006, pp. 25-71. https://doi.org/10.1007/3-540-28349-8_2
12. Hoehle H. Three decades of research on consumer adoption and utilization of electronic banking channels: A literature analysis / H. Hoehle, E. Scornavacca, S. Huff. *Decision Support Systems*, 2012, vol. 54, no. 1, pp. 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.04.010>
13. Hutchinson D., Warren M. Security for internet banking: A framework. *Logistics Information Management*, 2003, vol. 16, no. 1, pp. 64-73. <https://doi.org/10.1108/09576050310453750>
14. Jain A. K. Data Clustering: A Review / A. K Jain, M. N. Murty, P. J. Flynn. *ACM Computing Surveys*, 1999, vol. 31, no. 3, pp. 264-323. <https://doi.org/10.1145/331499.331504>
15. Sharyi S.P. *Finite-dimensional interval analysis*. Novosibirsk: XYZ, 2018, 623 p.
16. Dobrovets B.S. *Interval mathematics*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University Publ., 2004, 219 p.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Калашников Павел Викторович, младший научный сотрудник
Федеральное государственное учреждение науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН); Владивостокский государственный университет
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация; ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, 690014, Российская Федерация
kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Pavel V. Kalashnikov, Junior Researcher
Institute for Automation and Control processes, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; Vladivostok State University
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation; 41, Gogol Str., Vladivostok, 690014, Russian Federation
kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

Поступила 14.08.2024

После рецензирования 01.09.2024

Принята 09.09.2024

Received 14.08.2024

Revised 01.09.2024

Accepted 09.09.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-309
УДК 621.001.4



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ОБЪЕКТАМ И ВИДАМ РАБОТ С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В.И. Карагодин

При планировании работы наземных транспортных и транспортно-технологических средств недостаточно учитывается их техническое состояние. Это может привести к незапланированному выходу машин из строя и невыполнению запланированных работ оставшимися машинами.

Предлагаемые методы распределения машин по объектам и видам работ основаны на теории старения машин, но в отличие от потенциала работоспособности машин, который отражает техническое состояние среднестатистической машины, ориентированы на конкретную машину, вероятность отказа которой определяется с помощью методов технического диагностирования.

Приведены результаты исследования зависимости вероятности отказа автомобиля от величины межконтрольного периода, закономерностей изменения вероятности отказа в течение межконтрольного периода и с увеличением пробега автомобиля. Предложены математическая модель и методика распределения машин по объектам и видам работ с учетом их технического состояния.

Цель – повышение эффективности использования наземных транспортных и транспортно-технологических средств.

Метод и методология проведения работы. Теория старения машин, математическое моделирование, статистические методы анализа.

Результаты. Получены и обоснованы новые зависимости вероятности отказа автомобиля от величины межконтрольного периода, закономерности изменения вероятности отказа в течение межконтрольного периода и с увеличением пробега автомобиля.

Область применения результатов: эксплуатация наземных транспортных и транспортно-технологических средств.

Ключевые слова: транспортные средства; транспортно-технологические средства; техническое состояние; потенциал работоспособности; диагностический параметр; вероятность отказа; виды работ; распределение машин

Для цитирования. Карагодин В.И. Распределение наземных транспортных и транспортно-технологических средств по объемам и видам работ с учетом их технического состояния // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 3. С. 77-99. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-309

Original article | Operation of Road Transport

DISTRIBUTION OF LAND TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MEANS BY OBJECTS AND TYPES OF WORK, TAKING INTO ACCOUNT THEIR TECHNICAL CONDITION

V.I. Karagodin

When planning the operation of land transport and transport technology facilities, their technical condition is not sufficiently taken into account. This can lead to unplanned failure of the machines and failure of the planned work by the remaining machines.

The proposed methods of distributing machines by objects and types of work are based on the theory of aging of machines, but unlike the performance potential of machines, which reflects the technical condition of an average machine, they are focused on a specific machine,

the probability of failure of which is determined using technical diagnostic methods.

The results of the study of the dependence of the probability of failure of the car on the value of the inter-control period, the patterns of change in the probability of failure during the inter-control period and with an increase in the mileage of the car are presented.

The goal is to increase the efficiency of the use of ground transportation and transportation technology facilities.

Method and methodology. *The theory of aging of machines, mathematical modeling, statistical methods of analysis.*

Results. *New dependences of the probability of a car failure on the value of the inter-control period, the regularity of the change in the probability of failure during the inter-control period and with an increase in the mileage of the car are obtained and justified.*

The field of application of the results *is the operation of ground transportation and transportation technology facilities.*

Keywords: *transport means; transport-technological means; technical condition; working capacity; diagnostic parameter; probability of failure; types of work; distribution of tires*

For citation. *Karagodin V.I. Distribution of Land Transport and Transport-Technological Means by Objects and Types of Work, Taking into Account their Technical Condition. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 77-99. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-309*

Введение

При удовлетворении потребности различных предприятий в транспортных и транспортно-технологических средствах, как правило, выделяются те машины, которые свободны от других работ или освобождаются к моменту возникновения потребности в них. Степень важности предстоящих работ, ответственности за полноту и сроки выполнения задания при этом не учитывается. А машины находятся в разном техническом состоянии, вероятности

их безотказной работы и соблюдения сроков работ разные. Это требует более гибкого подхода к распределению машин по объектам и видам работ с учетом их технического состояния.

Потенциал работоспособности машин и закономерности его изменения

План (план-график) ТО и ремонта машин должен предусматривать равномерный выход машин в ремонт, что позволяет поддерживать на стабильном уровне производительность парка машин. Однако это осложняется зависимостью периодичности выхода машин в ремонт от их технического состояния. Изучению происходящих при этом процессов посвящена теория старения машин, разработанная А.И. Селивановым [11] и получившая дальнейшее развитие в трудах А.М. Шейнина [12] и Л.В. Дехтеринского [1-3].

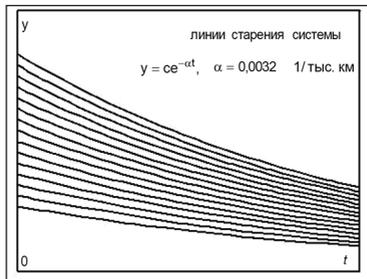


Рис. 1. Семейство линий старения

Л.В. Дехтеринский предлагает рассматривать состояние автомобиля (системы) как результат одновременно протекающих процессов его старения и восстановления [3]. Оценивать состояние автомобиля предусмотрено обобщенным параметром – характеристикой уровня его работоспособности [2]. В качестве такой характеристики рассматривается случайная функция времени $\Pi(t)$, которая получила название потенциала работоспособности системы. При этом под временем t понимается не календарное

время, а наработка в тыс. км. При таком подходе ремонтным воздействиям соответствуют моменты, а не промежутки времени, так как любой простой не сопровождается ростом наработки.

Чистый процесс старения рассматривается как движение точки вдоль некоторой линии старения (рис. 1).

Если на участке $0 < t < t^*$ рассматриваемая система не подвергается ремонтным воздействиям, то потенциал работоспособности системы представляется в виде

$$\Pi(t) = \Pi_0 F(t), \quad 0 < t < t^*, \quad (1)$$

где Π_0 – потенциал работоспособности новой системы;

$F(t)$ – функция, задающая изменение Π_0 во времени.

Если положить, что $\Pi_0 = 1000$, то потенциал работоспособности системы будет выражаться в промилле. Потенциал работоспособности может измеряться и в тыс. км, и в машино-часах, и в рублях, и т.п. А может быть и безразмерной величиной [10]. Если в момент $t = t_k$ на систему оказано ремонтное воздействие, то это обуславливает переход (скачок) в момент $t = t_k$ на новую (более высокую) линию старения (рис. 2).

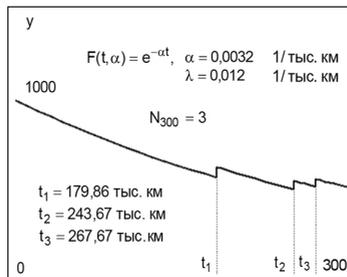


Рис. 2. Случайная реализация потенциала работоспособности системы

Таким образом, потенциал работоспособности системы – это динамический показатель технического состояния системы, выражающий в принятых единицах измерения уровень ее работоспособности в момент t относительно работоспособности новой системы.

В работе [1] подчеркивается, что прогнозное моделирование изменения даже отдельных характеристик конкретного автомобиля невозможно, однако построение моделей, связанное с изучением «поведения» среднего (усредненного) автомобиля и его составных частей, дает возможность обнаружить общие закономерности, относящиеся к поведению всех автомобилей и позволяющие тем самым указать определенные рекомендации относительно выбора стратегии их восстановления и др. Исходя из этого, в работе [1] отказываются от изучения индивидуального конкретного автомобиля и сосредотачивают внимание на среднем автомобиле, представляющем большое число автомобилей рассматриваемого класса.

Такой подход, позволяющий выбирать стратегии восстановления для совокупности автомобилей и их составных частей, обладает теоретической и практической ценностью. Однако не менее важны теоретические разработки и практические рекомендации в отношении конкретного автомобиля. Вывод о невозможности моделирования изменения отдельных характеристик конкретного автомобиля справедлив при отсутствии методов и средств диагностирования технического состояния автомобилей и их составных частей. В противном случае прогнозное моделирование характеристик конкретного автомобиля и его составных частей вполне возможно и востребовано практикой технической эксплуатации подвижного состава [7].

Динамика диагностических параметров в межконтрольные периоды

Пусть диагностический параметр диагностируется с заданной периодичностью в моменты t_1, t_2, \dots (рис. 3). При проведении ТО или ремонта диагностический параметр так же, как и потенциал работоспособности, переходит с линии 1 на новую (более высокую или более низкую) линию 2. Если ТО или ремонт не выполнены, параметр продолжит рост (снижение) и к моменту его очередного контроля t_4 может произойти отказ.

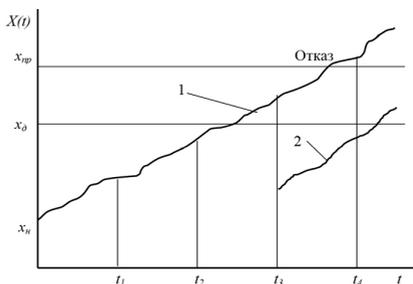


Рис. 3. Характер изменения параметра; x_n – номинальное значение параметра, x_0 – допустимое, x_{np} – предельное значения параметра

Вероятность отказа зависит от многих факторов, в том числе от периодичности ТО и ремонтов, при которых производится контроль технического состояния машины или ее составной части. В межконтрольный период сохраняется вероятность отказа, который может быть вызван ошибками диагностирования, несовершенством методов диагностирования или причинами, не зависящими от правильности постановки диагноза. С целью определения вероятностей отказов в межконтрольные периоды была собрана информация о прохождении автомобилями КИА бизнес-класса планового технического обслуживания, установленного заводом-изготовителем (табл. 1 [6, 7]), и последующих отказах, наступивших в межконтрольные периоды.

Таблица 1.

Фрагмент графика установленного планового технического обслуживания

Контролируемые системы и элементы	Пробег, тыс. км								
	1	10	20	30	40	50	60	70	80
Тормозная система			1		1		1		1
Несущая система					1				1
Сцепление		1	1	1	1	1	1	1	1
Коробка передач	1				1				1
Двигатель	1		1		1		1		1
Электрооборудование		1	1	1	1	1	1	1	1

Вероятность отказа составной части автомобиля в межконтрольный период определялась как частное от деления числа от-

казов на общее количество автомобилей, прошедших плановое техническое обслуживание в начале рассматриваемого межконтрольного периода и доработавших до конца этого периода:

$$P_o(l_i) = \frac{n(l_i)}{A(l_i)}, \quad (1)$$

где $n(l_i)$ – число отказов рассматриваемой составной части автомобиля в межконтрольный период l_i ;

$A(l_i)$ – общее количество автомобилей, прошедших плановое техническое обслуживание и диагностирование в начале межконтрольного периода l_i и проработавших до конца этого периода.

Вероятность отказа автомобиля в целом определяется вероятностями отказа продиагностированных составных частей и вероятностями отказа составных частей, не проходящих диагностирования. Вероятности отказа составных частей, не проходящих диагностирования, определяются по формулам соответствующего закона распределения. При законе Вейбулла формула имеет вид

$$P_o(l_i) = 1 - e^{-(l_i/a)^b}, \quad (2)$$

где a и b – параметры распределения Вейбулла, а вероятность $P_{oa}(t_i)$ отказа автомобиля в целом определяется по формуле

$$P_{oa}(t_i) = 1 - \prod_{j \in H} [1 - P_{oj}(t_i)] \cdot \prod_{j \in D} [1 - P_{oj}(l_i)], \quad (3)$$

где j – индекс составной части;

H – подмножество недиагностируемых составных частей;

D – подмножество диагностируемых составных частей.

Вероятности отказов наименее надежных составных частей – передних тормозных колодок – иллюстрируются рис. 4. При пробеге 20 тыс. км контроль состояния передних тормозных колодок прошли 107 автомобилей. Из них только 99 автомобилей проходили очередное техническое обслуживание при пробеге 30 тыс. км. Информация об остальных 8 автомобилях утрачена. На пробеге от 20 до 30 тыс. км произошел один отказ передних тормозных колодок, а на пробеге от 30 до 40 тыс. км – три отказа. Поскольку периодичность контроля передних тормозных колодок – 20 тыс. км

(см. табл. 1), в течение установленного межконтрольного периода произошло 4 их отказа, приходящихся на 99 автомобилей, наблюдение за которыми продолжалось до пробега 40 тыс. км. Поэтому вероятность отказа передних тормозных колодок на пробеге от 20 до 40 тыс. км определена как частное от деления 4 на 99, что составило 0,0404. Аналогично определены вероятности отказа передних тормозных колодок на последующем пробеге, а также вероятности отказа других элементов и систем автомобилей.

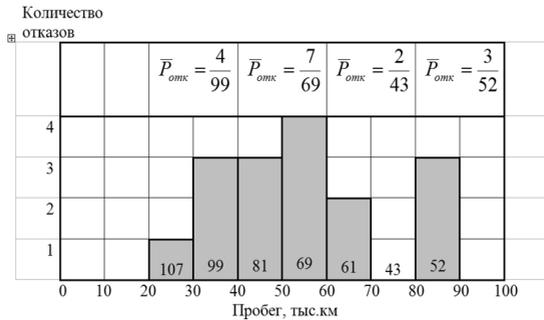


Рис. 4. К определению вероятности отказов передних тормозных колодок в межконтрольные периоды при установленном графике планового обслуживания

Предварительный анализ результатов показал, что из-за большого межконтрольного периода диагностирования вероятность отказа автомобиля хотя и меньше, чем при отсутствии диагностирования, но все же весьма велика. Поэтому был проработан вариант, предусматривающий уменьшение периодичности контроля. Фрагмент рекомендуемого графика планового технического обслуживания представлен в табл. 2.

При определении вероятностей отказа составных частей автомобиля в межконтрольный период при рекомендуемом графике планового обслуживания учитывались не все отказы, имевшие место в течение установленного межконтрольного периода, а только отказы, имевшие место в течение предлагаемого уменьшенного межконтрольного периода. Это иллюстрируется рис. 5.

Таблица 2.

Фрагмент рекомендуемого графика планового технического обслуживания

Контролируемые системы и элементы	Пробег, тыс. км								
	1	10	20	30	40	50	60	70	80
<i>Тормозная система</i>			1	1	1	1	1	1	1
Несущая система					1		1		1
Сцепление		1	1	1	1	1	1	1	1
Коробка передач	1				1				1
Двигатель	1		1		1		1		1
Электрооборудование		1	1	1	1	1	1	1	1

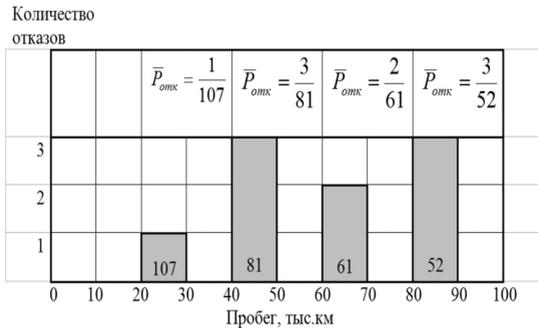


Рис. 5. К определению вероятности отказов передних тормозных колодок в межконтрольные периоды при рекомендуемом графике планового обслуживания

На пробеге от 20 до 30 тыс. км произошел один отказ передних тормозных колодок, а на пробеге от 30 до 40 тыс. км – три отказа. Поскольку периодичность контроля передних тормозных колодок уменьшена с 20 до 10 тыс. км (см. табл. 2), в течение установленного межконтрольного периода зафиксировано не 4 их отказа, а всего один, приходящийся на 107 автомобилей, наблюдение за которыми продолжалось до пробега 30 тыс. км. Поэтому вероятность отказа передних тормозных колодок на пробеге от 20 до 30 тыс. км определена как частное от деления 1 на 107, что составило 0,0093. Аналогично определены вероятности отказа передних тормозных колодок на последующем пробеге, а также вероятности отказа других элементов тормозной системы.

Анализ и развитие полученных результатов

В течение межконтрольного периода вероятность отказа не остается постоянной. В начале периода после проведенного ТО или ремонта она близка к нулю, затем увеличивается с нарастающей скоростью и достигает максимума к моменту очередного контроля. Подобная модель зависимости ресурса от периодичности ТО и предельного износа, показанная на рис. 6, была предложена А.М.Шейниным [12].

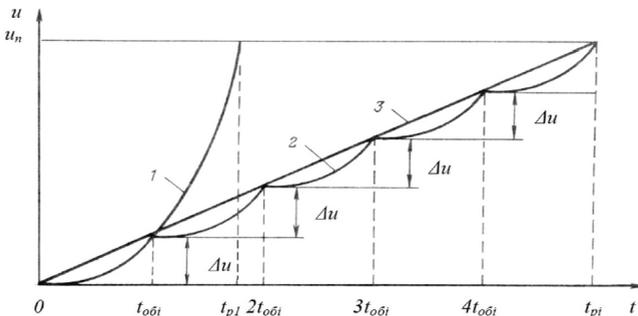


Рис. 6. Зависимость ресурса от периодичности ТО и предельного износа: 1 – случай, когда техническое обслуживание не производится; 2 – процесс изнашивания в межконтрольный период; 3 – аппроксимация кривых 2

Результаты наших исследований показывают, что в целом вероятности отказов в межконтрольные периоды имеют тенденцию роста с увеличением пробега. Однако эта тенденция не везде наглядно проявляется, а в ряде случаев отсутствует. Это вызвало необходимость корреляционно-регрессионного анализа зависимостей вероятности отказов в межконтрольные периоды от пробега. Корреляционный анализ должен дать ответ на вопрос о наличии взаимосвязи вероятности отказов и пробега, а при ее наличии – о силе взаимосвязи. В случае тесной взаимосвязи изучаемых параметров с помощью регрессионного анализа должны быть определены в аналитическом виде зависимости, позволяющие рассчитать вероятности отказов в межконтрольные периоды на любом интервале пробега автомобиля в рассматриваемом его

диапазоне. При отсутствии изучаемых зависимостей для некоторых составных частей автомобиля вероятности их отказов в межконтрольные периоды могут быть взяты как средние значения в рассматриваемом диапазоне пробега [15].

При корреляционно-регрессионном анализе проверялась гипотеза о линейной зависимости вероятности отказа $P_{отк}$ от пробега x , при котором производится диагностирование:

$$P_{отк} = a + b,$$

где a и b – постоянные параметры уравнения регрессии.

Параметры уравнений регрессии для существующей и рекомендуемой периодичности диагностирования приведены в табл. 3. Характер зависимостей вероятностей отказов составных частей автомобилей в межконтрольные периоды от пробега различен для разных составных частей, а также для существующей и рекомендуемой периодичности диагностирования. В качестве примера на рис. 7 и 8 приведены вероятности отказов передних тормозных колодок в межконтрольные периоды при действующем и рекомендуемом графиках планового обслуживания.

Таблица 3.

Параметры уравнений регрессии

Контролируемые элементы	Вариант периодичности диагностирования							
	существующий				рекомендуемый			
	a	b	Коэффициент корреляции	$\overline{P_{отк}}$	a	b	Коэффициент корреляции	$\overline{P_{отк}}$
Колодки тормозные передние	0,06225	-0,000015	-0,014	0,0615	-0,00105	0,000705	0,917	-
Колодки тормозные задние	0,03045	0,000586	0,589	0,0598	-0,00720	0,000685	0,826	-
Диск тормозной передний	-0,00235	0,000332	0,844	-	-0,00960	0,000288	0,775	-
Диск тормозной задний	-0,00235	0,000565	0,479	0,0263	-0,00960	0,000288	0,775	-

Суппорт задний	-0,00960	0,000370	0,924	-	-0,00960	0,000370	0,924	-
Амортизатор передний	-	-	-	0,0233	-	-	-	0
Пружина передняя	-	-	-	0,0698	-	-	-	0,0145
Тяга задняя продольная	-	-	-	0,0233	-	-	-	0
Сайлент-блок переднего рычага	-	-	-	0,0233	-	-	-	0
Подшипник ступицы переднего колеса	-	-	-	0,1395	-	-	-	0,0247
Сцепление	-0,00859	0,000338	0,598	0,0066	-0,00859	0,000338	0,598	0,0066
Стартер	-0,00130	0,000358	0,486	0,0148	-0,00130	0,000358	0,486	0,0148
Прокладка клапанной крышки	0,00725	-0,000072	-0,258	0,0036	0,00725	-0,000072	-0,258	0,0036
Гидрокомпенсатор	0,00725	-0,000072	-0,258	0,0036	0,00725	-0,000072	-0,258	0,0036

При действующем графике планового обслуживания (рис. 7) вероятности отказов практически не зависят от пробега, при котором осуществлялось диагностирование. Это объясняется тем, что периодичность диагностирования соизмерима с наработкой колодок на отказ и между отказами, и в этой ситуации эффект от проведения диагностирования незаметен: отказы возникают равновероятно и при меньших, и при больших пробегах.

Уменьшение периодичности диагностирования дает существенный эффект: вероятности отказов в межконтрольные периоды значительно снижаются. При малых пробегах они на порядок ниже, а при больших пробегах приближаются к вероятностям отказов, имеющим место при большой периодичности диагностирования (рис. 8).

Зависимость изучаемых параметров принято считать статистически значимой, если коэффициент корреляции при линейной форме связи больше 0,67 [4]. При действующем графике планового обслуживания коэффициент корреляции вероятности отка-

зов передних тормозных колодок и пробега равен $-0,014$ (табл. 1.5), что свидетельствует о практическом отсутствии взаимосвязи. Поэтому для передних тормозных колодок взято среднее значение вероятности отказов, равное $0,0615$ (см. рис. 7).

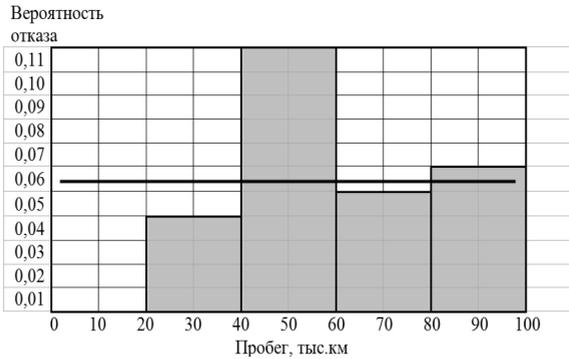


Рис. 7. Вероятности отказов передних тормозных колодок в межконтрольные периоды при действующем графике планового обслуживания

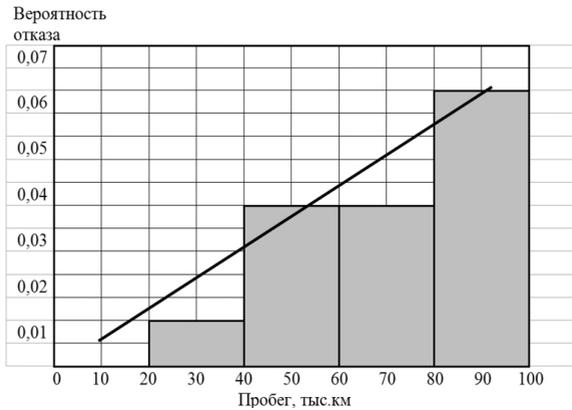


Рис. 8. Вероятности отказов передних тормозных колодок в межконтрольные периоды при рекомендуемом графике планового обслуживания

При рекомендуемом графике планового обслуживания для всех элементов тормозной системы коэффициент корреляции изучаемых параметров больше $0,67$, что говорит о наличии статистически значимой взаимосвязи. Полученные для них уравнения

регрессии позволяют определить вероятности отказа в межконтрольных периодах, предусмотренных рекомендуемым графиком планового обслуживания.

Методика распределения машин по объектам и видам работ

Количество машин в работоспособном состоянии должно быть достаточным для обязательного выполнения заданного объема работ. Однако разработанные методы планирования и управления парками машин недостаточно учитывают необходимость отвлечения машин от рабочего процесса в связи с необходимостью их ТО и ремонта. Выход машин в ТО и ремонт может быть неравномерным, и тогда в периоды его повышенной интенсивности возникает опасность невыполнения заданного объема работ.

Задача распределения машин по объектам работ решается в условиях ограничений на различные ресурсы, необходимые для выполнения работ. Этим занимается теория расписаний [8,9]. Парк машин можно рассматривать как отдельный ресурс, специфика которого состоит в наличии вероятности отказа (выхода из строя по техническим причинам).

Постановка подобной задачи звучит следующим образом. Дано множество проектных заданий $Z (z = 1, \dots, Z)$, каждое из которых включает определенный набор из N возможных работ ($j = 1, \dots, N$), т.е. $j \in Z$. К примеру, задание «строительство дома» может состоять из работ «выемка грунта», «укладка фундамента», «возведение стен первого этажа» и т.д. Заданы $K (k = 1, \dots, K)$ наименований машин, необходимых для выполнения работ, и $R (r = 1, \dots, R)$ ресурсов. В каждый момент времени t_s доступны $M_k (i = 1, \dots, k)$ машин k -го типа и Q_r единиц r -го ресурса. Заданы продолжительности выполнения $T_j \geq 0$ каждой работы j и продолжительность T всего периода планирования (выполнения всех заданий). Для выполнения j -й работы требуется $m_{jk} \leq M_k$ k -х машин и $q_{jr} \leq Q_r$ единиц r -го ресурса. После завершения j -й работы освобожденные машины и ресурсы в полном

объеме могут быть назначены на выполнение других работ. При постановке задачи могут рассматриваться так называемые возобновляемые ресурсы (рабочие различных профессий, инструмент) и не возобновляемые ресурсы, например, деньги, материалы, топливо и т.п.

Между некоторыми парами работ заданы ограничения предшествования: $j^* \rightarrow j$ означает, что выполнение j^* -й работы начинается не раньше окончания j -й работы.

Разобьем интервал времени T_k между двумя смежными ТО или плановыми ремонтами k -х машин на равные периоды времени $t_1, \dots, t_s, \dots, T_k$ (рис. 9). Длительность периодов зависит от требуемой точности расчетов.

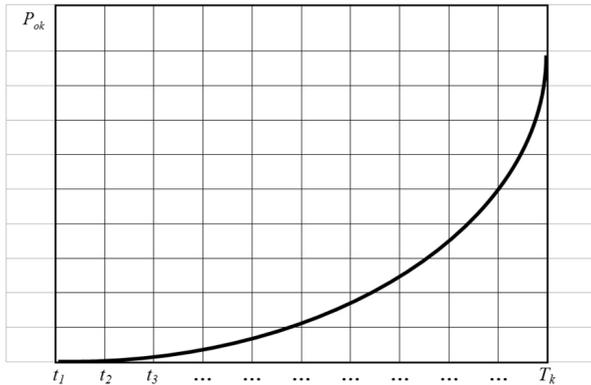


Рис. 9. Зависимость вероятности отказа машины от времени ее работы

Рассчитаем вероятности отказа машин k -го типа при выполнении j -й работы для каждого s -го периода $P_{ок}(t_s)$. Будем считать вероятностью срыва задания $P_{оз}$ отказ хотя бы одной машины. Здесь возможны две постановки задачи. Первая – минимизировать вероятность срыва задания при ограниченном времени его выполнения. Вторая – минимизировать время выполнения задания при ограниченной вероятности его срыва. Жесткость ограничений определяется ответственностью задания. Рассмотрим задачу в первой постановке.

Введем целочисленную переменную $x_{ij}(t_s)$, принимающую значение 1, если в s -м периоде i -я машина k -го типа назначается для выполнения j -й работы, и значение 0 в противном случае. Требуется так распределить машины по работам и периодам, чтобы минимизировать вероятность срыва задания:

$$P_{oz} = \sum_{j \in Z} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^k \sum_{s=1}^S \max_s P_{oij}(t_s) \cdot x_{ij}(t_s) \quad (4)$$

при ограничениях:

$$T_z \leq T_z^{\max} \quad (z = 1, \dots, Z) \quad (5)$$

(суммарное время выполнения z -го задания не превосходит максимально допустимого времени);

$$\sum_{i=1}^k x_{ij}(t_s) \geq m_{jk} \cdot \varphi_s \quad (s = 1, \dots, S; j = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K) \quad (6)$$

(число всех k -х машин достаточно для выполнения всех j -х работ во всех s -х периодах, где $\varphi_s = 1$, если j -я работа в s -м периоде выполняется, и $\varphi_s = 0$ в противном случае);

$$\sum_{j=1}^N q_{jr}(t_s) \cdot \varphi_s \leq Q_r \quad (j = 1, \dots, N; r = 1, \dots, R) \quad (7)$$

(расход всех r -х ресурсов на выполнение всех j -х работ не превосходит их наличия);

$$x_{ij}(t_s) = x_{ij}^2(t_s) \quad (s = 1, \dots, S; i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, N) \quad (8)$$

(целочисленные переменные могут принимать только два возможных значения: 0 или 1).

Должны быть обязательно заданы ограничения по соблюдению отношений предшествования между работами, но характеристики взаимосвязей между работами могут различаться. Естественной представляется взаимосвязь типа «Окончание – Начало», т.е. работа-последователь начнется только тогда, когда закончится работа-предшественник. Но могут быть связи и другого типа, например, связи «Начало – Начало» (когда работа-последователь не может начаться раньше, чем начнется работа-предшественник), «Окончание-Окончание», «Начало-Окончание». Более того, по технологии между окончанием работы-предшественника и нача-

лом работы-последователя может быть задана задержка по времени. Также могут быть заданы ограничения на время выполнения работ. В этих случаях параметр принимает значения: «Как можно раньше», «Как можно позже», «Фиксированная дата», «Начало не позже», «Начало не раньше» и пр.

Задача (4) – (8) является задачей дискретного (целочисленного) программирования с булевыми переменными. Решение задачи представляет собой рекомендуемый набор целочисленных переменных $x_{ij}(t_s)$, определяющих для каждого s -го периода место каждой i -й машины из числа машин k -го типа в комплексе всех выполняемых j -х работ. Допустимым является решение, удовлетворяющее ресурсным ограничениям, в том числе учитывающим выход машин в ТО и ремонт, и ограничениям предшествования.

Если учесть все поставленные выше условия и наложить ограничения в полном объеме, то решить задачу даже относительно небольшой размерности по единому алгоритму невозможно. В подобных ситуациях приходится идти по пути морфологического расчленения [14], т.е. делить общую задачу на ряд частных взаимосвязанных задач меньшей размерности.

Но даже без дополнительных ограничений, учитывающих все обстоятельства поставленной задачи, задача остается экстремально трудной [16]. Лучший из известных точных алгоритмов решения подобных, но менее сложных задач, алгоритм Брукера [13] за приемлемое время может решать примеры размерности не больше $n = 60$. Более того, даже для частного случая с одним не возобновляемым ресурсом неизвестны алгоритмы решения с приемлемой погрешностью [9].

Это вызывает необходимость применения эвристических методов решения поставленной задачи. Разработанный алгоритм основан на методе «ветвей и границ» и позволяет изменять исходные условия, учитывая приоритетность заданий, выполняемых парком машин.

Выводы

1. При распределении машин по объектам и видам работ, различающимся степенью важности, ответственности за полноту и сроки выполнения задания, необходимо учитывать техническое состояние техники.

2. Используемый в теории старения машин показатель потенциала работоспособности машины позволяет оценивать техническое состояние «средней машины», представляющей большое число машин рассматриваемого класса, и не предусматривает возможности моделирования изменения отдельных характеристик конкретной машины.

3. Для решения задачи моделирования изменения отдельных характеристик конкретной машины предлагается использовать вероятность отказа. Представлены методы расчета этого показателя для составных частей машины, подвергающихся диагностированию, и не имеющих такой возможности, а также для машины в целом.

4. На основе полученных экспериментальных данных получены зависимости вероятности отказа автомобиля от величины межконтрольного периода, установлены закономерности изменения вероятности отказа в течение межконтрольного периода и с увеличением пробега автомобиля. Полученные уравнения регрессии позволяют определить вероятности отказа в межконтрольных периодах и при любых пробегах автомобиля.

5. Предложены математическая модель и методика распределения машин по объектам и видам работ с учетом степени важности, ответственности за полноту и сроки выполнения задания, а также технического состояния машин и ограничений на различные ресурсы, необходимые для выполнения работ.

Список литературы

1. Дехтеринский Л.В. Моделирование процессов восстановления машин / В.П.Апсин, Л.В.Дехтеринский, С.Б.Норкин, В.М.Приходько. М.: Транспорт, 1996. 311 с.

2. Дехтеринский Л.В. Потенциал работоспособности большой системы / Л.В. Дехтеринский, С.Б. Норкин, А.П. Павлов // Проблемы создания информационных технологий: сб. науч. тр., вып. 5. М.: Международная академия информационных технологий, 2000. С. 87-101.
3. Дехтеринский Л.В. Формирование параметров имитационной модели старения и восстановления системы / Л.В. Дехтеринский, С.В. Киреева, С.Б. Норкин // Проблемы обеспечения надежности машин при ремонте: сб. науч. тр. М.: МАДИ (ГТУ), 2001. С. 27-34.
4. Карагодин В.И. Математическое моделирование процессов и систем технического сервиса на транспорте. Прикладные задачи: учебник (Бакалавриат и магистратура). М.: КНОРУС, 2024. 374 с.
5. Карагодин В.И. Эффективность системы автосервиса / В.И.Карагодин, Д.Р.Бокарев. М.: ООО «Техполиграфцентр», 2009. 164 с.
6. Kia Rio / Kia K2 с 2017 г. Руководство по ремонту и эксплуатации. Москва: Монолит, 2022. 406 с.
7. Kia Sportage. Модели 2010-2016 гг. выпуска с бензиновым G4KD (2,0 л) и дизельным D4HA (2,0 л CRDI) двигателями. Серия «Профессионал». Каталог расходных запасных частей. Характерные неисправности. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию. М.: Легион-Автодата, 2018. 606 с.
8. Конвей Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. Москва: изд-во «Наука», 1975. 360 с.
9. Лазарев А.А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А.А. Лазарев, Е.Ф. Гафаров. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2011. 222 с.
10. Павлов А.П. Теория потенциала работоспособности и ремонтного резервирования надежности стареющих технических систем: учебное пособие / А.П. Павлов, Л.В. Дехтеринский, С.Б. Норкин, С.А. Скрипников. МАДИ. М., 2013. 104 с.
11. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. М.: Машиностроение, 1970. 408 с.
12. Шейнин А.М. Эксплуатационная надежность автомобилей. М.: Высшая школа, 1973. 110 с.

13. Brucker P., Knust S. Complex scheduling. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 2006.
14. Footlib R.B., Collier L.M. Use of The Computer Facilities planning. Institute of Industrial Engineers. 1983. Vol. 15, №3. P. 50-58.
15. Karagodin V.I., Khapugin R.A. Rationale and frequency of the diagnosis of component parts of tractors Belarus in the development of technology maintenance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019. BRISTOL, 2020. P. 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012005>
16. Zhiyu Yang, Jixin Wang, Guangzong Gao, Xiangyun Shi; Evolutionary Algorithms and Metaheuristics: Applications in Engineering Design and Optimization // Mathematical Problems in Engineering. 2017. Vol. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7076583>

References

1. Dekhterinsky L.V. *Modeling of machine restoration processes* / V.P.Apsin, L.V.Dekhterinsky, S.B.Norkin, V.M.Prikhodko. Moscow: Transport, 1996, 311 p.
2. Dekhterinsky L.V. The performance potential of a large system / L.V. Dekhterinsky, S.B. Norkin, A.P. Pavlov. *Problems of information technologies creation: collection of scientific articles*, vol. 5. Moscow: International Academy of Information Technologies, 2000, pp. 87-101.
3. Dekhterinsky L.V. Formation of parameters of the simulation model of system aging and restoration / L.V. Dekhterinsky, S.V. Kireeva, S.B. Norkin. *Problems of machine reliability assurance during repair: collection of scientific articles*. Moscow: MADI (GTU), 2001, pp. 27-34.
4. Karagodin V.I. *Mathematical modeling of processes and systems of technical service on transport. Applied tasks: textbook*. M.: KNORUS, 2024, 374 p.
5. Karagodin V.I. *Efficiency of the automobile service system* / V.I.Karagodin, D.R.Bokarev. Moscow: Tekhpolygon LLC, 2009, 164 p.

6. *Kia Rio / Kia K2 from 2017. Repair and operation manual.* Moscow: Monolit, 2022, 406 p.
7. Kia Sportage. Models 2010-2016 years of production with gasoline G4KD (2.0 liter) and diesel D4HA (2.0 liter CRDI) engines. Professional Series. Consumable spare parts catalog. Characteristic malfunctions. Repair and maintenance manual. Moscow: Legion-Avtodata, 2018. 606 c.
8. Conway, R. V. *Theory of schedules* / R. V. Conway, W. L. Maxwell, L. V. Miller. Moscow: Nauka, 1975, 360 p.
9. Lazarev A.A. *Theory of schedules. Problems and algorithms* / A.A. Lazarev, E.F. Gafarov. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2011, 222 p.
10. Pavlov A.P. *Theory of serviceability potential and repair redundancy of the aging technical systems reliability: textbook* / A.P. Pavlov, L.V. Dekhterinsky, S.B. Norkin, S.A. Skripnikov. M.: MADI, 2013, 104 p.
11. Selivanov A.I. *Fundamentals of the theory of machine aging.* Moscow: Mashinostroenie, 1970, 408 p.
12. Sheinin A.M. *Operational reliability of automobiles.* Moscow: Higher School, 1973, 110 p.
13. Brucker P., Knust S. *Complex scheduling.* Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 2006.
14. Footlib R.B., Coller L.M. *Use of The Computer Facilities planning.* Institute of Industrial Engineers. 1983. Vol. 15, №3. P. 50-58.
15. Karagodin V.I., Khapugin R.A. Rationale and frequency of the diagnosis of component parts of tractors Belarus in the development of technology maintenance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019.* BRISTOL, 2020. P. 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012005>
16. Zhiyu Yang, Jixin Wang, Guangzong Gao, Xiangyun Shi. Evolutionary Algorithms and Metaheuristics: Applications in Engineering Design and Optimization. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, vol. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7076583>

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Карагодин Виктор Иванович, профессор кафедры «Дорожно-строительные машины», доктор технических наук
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская Федерация
bik250248@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Viktor I. Karagodin, Professor of the Department of Road Construction Machinery, Doctor of Technical Sciences
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
64, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russian Federation
bik250248@yandex.ru
SPIN-code: 3261-0521
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8220-9928>

Поступила 20.09.2024

После рецензирования 14.10.2024

Принята 22.10.2024

Received 20.09.2024

Revised 14.10.2024

Accepted 22.10.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-297

УДК 004.056



Научная статья |
Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

АНАЛИЗ И МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ВРЕДНОСНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА

Д.Н. Алексеев, Р.М. Хамитов

Процессы непрерывной интеграции и непрерывного развертывания (CI/CD) стали важнейшими элементами современной разработки программного обеспечения, обеспечивая автоматизацию и оптимизацию рабочих процессов. Однако эти процессы сопровождаются рисками, связанными с уязвимостями в цепочке зависимостей, что может привести к серьезным последствиям, таким как несанкционированный доступ и утечка данных. В статье рассматривается необходимость внедрения надежных механизмов обнаружения и смягчения рисков зависимостей для повышения надежности CI/CD.

Основной риск в процессах CI/CD связан с эксплуатацией вредоносных зависимостей, используемых в процессе сборки и развертывания программного обеспечения. Основные виды атак включают путаницу зависимостей, перехват зависимостей и киберсквоттинг печаток. Для предотвращения этих угроз предлагаются различные методы защиты, такие как контроль доступа к приватным пакетам, использование автоматизированных инструментов для мониторинга и проверки зависимостей, а также внедрение систем машинного обучения для обнаружения подозрительных пакетов. Эти меры направлены на обеспечение целостности и безопасности программных продуктов, минимизируя риски, связанные с зависимостями в CI/CD.

Цель – проанализировать атаки на цепочку зависимостей и определить эффективные методы решения рисков для обеспечения высокой безопасности процессов непрерывной интеграции и развертывания для улучшения практики разработки программного обеспечения путем выявления и устранения потенциальных уязвимостей и проблем стабильности, что обеспечивает более безопасные и надежные конвейеры доставки программного обеспечения, снижая вероятность сбоев и сбоев в производственных средах.

Метод и методология проведения работы. Данная работа включает в себя результаты как международных, так и местных научных исследований. Для выявления взаимосвязей и получения оригинальных выводов автор использует теоретические методы исследования, уделяя особое внимание поиску и анализу информации. Авторами применяются теоретические методы исследования, связанные с поиском и анализом информации для выявления связей и получения уникальных выводов.

Результаты. Проведен анализ рисков вредоносных зависимостей в процессе непрерывной интеграции и внедрения программного кода. Определены методы минимизации рисков злоупотребления зависимостями, необходимость внедрять многоуровневые меры безопасности, включая автоматизированные инструменты для мониторинга и анализа, строгий контроль доступа к репозиториям и использование криптографических методов для проверки целостности пакетов. Кроме того, регулярные аудиты и обучение сотрудников помогают поддерживать высокий уровень безопасности и осведомленности о потенциальных угрозах.

Область применения результатов. Полученные результаты целесообразно применять в области DevOps разработки с целью оптимизации процесса разработки и выпуска приложений путем устранения известного узкого места: минимизация рисков вредоносных зависимостей в процессе непрерывной интеграции.

Ключевые слова: DevOps; управление данными; безопасность; DevSecOps; контроль версий зависимостей; управление зависимо-

стями; PyPI; минимизация рисков; безопасная разработка; паттерны

Для цитирования. Алексеев Д.Н., Хамитов Р.М. Анализ и минимизация рисков вредоносных зависимостей в процессе непрерывной интеграции и внедрения программного кода // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 3. С. 100-116. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-297

Original article |
System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

ANALYSIS AND MINIMIZATION OF THE RISKS OF HARMFUL DEPENDENCIES IN THE PROCESS OF CONTINUOUS INTEGRATION AND IMPLEMENTATION OF SOFTWARE CODE

D.N. Alekseev, R.M. Khamitov

Continuous integration and continuous deployment (CI/CD) processes have become essential elements of modern software development, enabling automation and optimization of work processes. However, these processes come with risks associated with vulnerabilities in the dependency chain, which can lead to serious consequences such as unauthorized access and data leakage. The article discusses the need to implement reliable mechanisms for detecting and mitigating dependency risks to improve the reliability of CI/CD.

The main risk in CI/CD processes is the exploitation of malicious dependencies used during the software build and deployment process. The main types of attacks include dependency confusion, dependency hijacking, and typo cybersquatting. To prevent these threats, various protection methods are proposed, such as controlling access to private packages, using automated tools for monitoring and checking dependencies, and implementing machine learning systems to detect suspi-

ciuous packages. These measures are aimed at ensuring the integrity and security of software products, minimizing the risks associated with dependencies in CI/CD.

Purpose. *Analyze dependency chain attacks and identify effective risk management methods to ensure high security of continuous integration and deployment processes to improve software development practices by identifying and eliminating potential vulnerabilities and stability issues, which provides safer and more reliable software delivery pipelines, reducing the likelihood of failures and disruptions in production environments.*

Methodology. *This work includes the results of both international and local scientific research. To identify the relationships and obtain original conclusions, the author uses theoretical research methods, paying special attention to the search and analysis of information. The authors apply theoretical research methods related to the search and analysis of information to identify connections and obtain unique conclusions.*

Results. *The analysis of the risks of malicious dependencies in the process of continuous integration and implementation of the program code is carried out. Methods have been identified to minimize the risks of dependency abuse, the need to implement multi-level security measures, including automated monitoring and analysis tools, strict access control to repositories and the use of cryptographic methods to verify the integrity of packages. In addition, regular audits and employee training help maintain a high level of security and awareness of potential threats.*

Practical implications. *It is advisable to apply the results obtained in the field of DevOps development in order to optimize the application development and release process by eliminating a known bottleneck: minimizing the risks of malicious dependencies in the process of continuous integration.*

Keywords: *DevOps; data management; safety; DevSecOps; dependency version control; dependency management; PyPI; risk minimization; safe development; patterns*

***For citation.** Alekseev D.N., Khamitov R.M. Analysis and Minimization of the Risks of Harmful Dependencies in the Process Of Continuous Integration and Implementation of Software Code. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 100-116. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-297*

Введение

Процессы непрерывной интеграции и непрерывного развертывания (Continuous Integration/Continuous Delivery) стали неотъемлемыми компонентами современной разработки программного обеспечения. Наряду с преимуществами оптимизированных рабочих процессов разработки возникают риски, особенно связанные с зависимостями, используемыми в экосистеме программного обеспечения [1].

Один из основных рисков в процессах CI/CD связан с эксплуатацией вредоносных зависимостей во время извлечения и использования библиотек и внешних пакетов. По данным экспертного сообщества OWASP [9] проблема злоупотребления цепочкой зависимостей может привести к серьезным последствиям, включая несанкционированный доступ, утечки данных и компрометацию системы.

В данной статье рассматривается необходимость реализации надежных механизмов обнаружения и эффективного смягчения рисков зависимостей [14]. Для начала мы выясним основные векторы атак, а после перечислим наиболее эффективные методы защиты зависимостей проектов.

Цель работы

Проанализировать атаки на цепочку зависимостей и определить эффективные методы решения рисков для обеспечения высокой безопасности процессов непрерывной интеграции и развертывания для улучшения практики разработки программного обеспечения путем выявления и устранения потенциальных уязвимостей и проблем стабильности, что обеспечивает более безопасные и надежные конвейеры доставки программного обеспечения, снижая вероятность сбоев и сбоев в производственных средах.

Материалы и методы исследования

Данная работа включает в себя результаты как международных, так и местных научных исследований. Для выявления взаимосвязей и получения оригинальных выводов автор использует теоретические методы исследования, уделяя особое внимание поиску и анализу информации.

Результаты исследования и их обсуждение

Прежде чем углубляться в детали того, как добиться высокой надежности CI/CD процессов, давайте убедимся, что у нас есть общее понимание нескольких концепций.

Надежность CI/CD – это последовательная и надежная работа конвейеров непрерывной интеграции и доставки, гарантируя, что изменения кода автоматически создаются, тестируются и развертываются с минимальными ошибками и временем простоя [2].

Зависимости – это внешние компоненты или библиотеки, от которых зависит правильная работа программного приложения, например определенные пакеты программного обеспечения, модули или системные ресурсы.

Злоупотребление цепочкой зависимостей – это процесс, когда злоумышленники используют уязвимости в способах управления и извлечения библиотек и внешних пакетов. Это может привести к случайному выполнению вредоносного кода в системе.

Пример этапов конвейера CI/CD показан на рисунке 1.

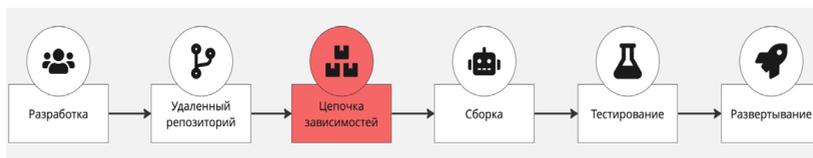


Рис. 1. Этапы конвейера CI/CD

Каждый автоматизированный блок, выполняемый в конвейере непрерывной интеграции и развертывания (CI/CD), имеет реша-

ющее значение, причем каждый последующий блок зависит от предыдущего [13]. На этапе разработки программисты пишут код для создания продукта. Затем этот код передается в удаленный репозиторий, что запускает конвейер CI/CD. Процесс начинается с этапа цепочки зависимостей и подготовки к сборке. После этого проект собирается, код проверяется на ошибки и конечный результат разворачивается на сервере.

Этап цепочки зависимостей особенно важен, поскольку он является основной целью злоумышленников. Далее мы перечислим основные векторы атак в контексте цепочек поставок и методы их устранения, для минимизации рисков на этапе сборки продуктов.

Начнем с атаки *Путаница зависимостей (Dependency confusion)* или *Атака на замещение (Substitution attack)*. В данной атаке производится публикация вредоносных пакетов в общедоступных репозиториях с тем же именем, что и внутренние имена пакетов, в попытке обманом заставить клиентов загружать вредоносный пакет, а не частный.

Эксперимент, проведенный экспертом по информационной безопасности Алексом Бирсаном, продемонстрировал критическую уязвимость в способе обработки пакетов зависимостей при разработке программного обеспечения [6]. Бирсан обнаружил, что если пакет зависимостей, используемый приложением, существует как в общедоступном репозитории с открытым исходным кодом, так и в частном репозитории, общедоступный пакет в конечном итоге будет иметь приоритет, даже без каких-либо действий со стороны разработчика (рисунок 2).

Воспользовавшись этой уязвимостью, Бирсан успешно осуществил атаки на крупные компании, включая Microsoft, Apple, PayPal, Shopify, Netflix, Tesla, Yelp, Uber и другие.

Во избежания данной атаки, можно прибегнуть к рекомендации инженеров Microsoft [4, 15]. Необходимо защищать приватные пакеты с помощью контролируемых областей в публичных репозиториях, а также использовать верификацию на стороне клиента (закрепление версий, проверка целостности).

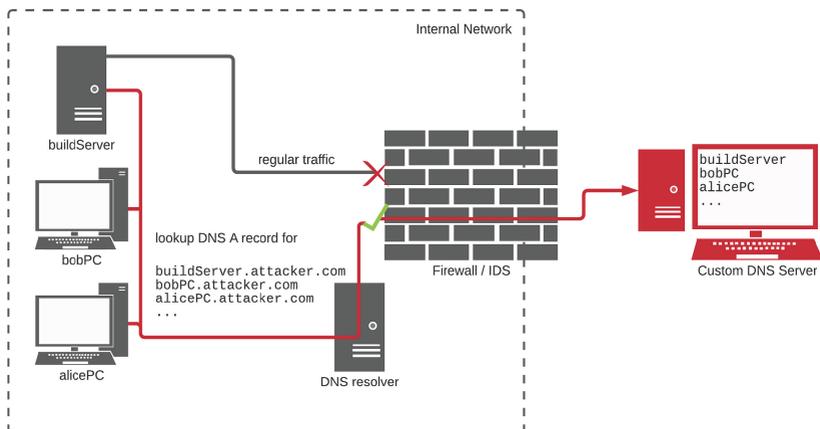


Рис. 2. Схема атаки на замещение зависимостей при помощи общедоступных репозиториев

Перехват зависимостей (Dependency hijacking) – получение контроля над учетной записью сопровождающего пакета в общедоступном репозитории с целью загрузки новой вредоносной версии широко используемого пакета с целью поставить под угрозу ничего не подозревающих клиентов, которые получают последнюю версию пакета.

Данная уязвимость особенно опасна для пакетов rpm, где пакет с более высоким номером версии всегда имеет приоритет, независимо от его источника (рисунок 3).

Одно из эффективных решений данной проблемы предполагает обеспечение надежных процессов проверки для всех зависимостей. Этого можно достичь путем внедрения строгих мер контроля доступа и аутентификации для внутренних репозиториев, гарантируя, что только доверенные источники могут публиковать и обновлять пакеты. Кроме того, включение автоматизированных инструментов для сканирования и мониторинга зависимостей может помочь быстро обнаружить аномалии или несанкционированные изменения. Эти инструменты могут сравнивать исходный код и метаданные зависимостей с известными, надежными вер-

сиями, отмечая любые несоответствия для дальнейшей проверки. Поддерживая строгий процесс проверки, организации могут значительно снизить риск перехвата зависимостей.

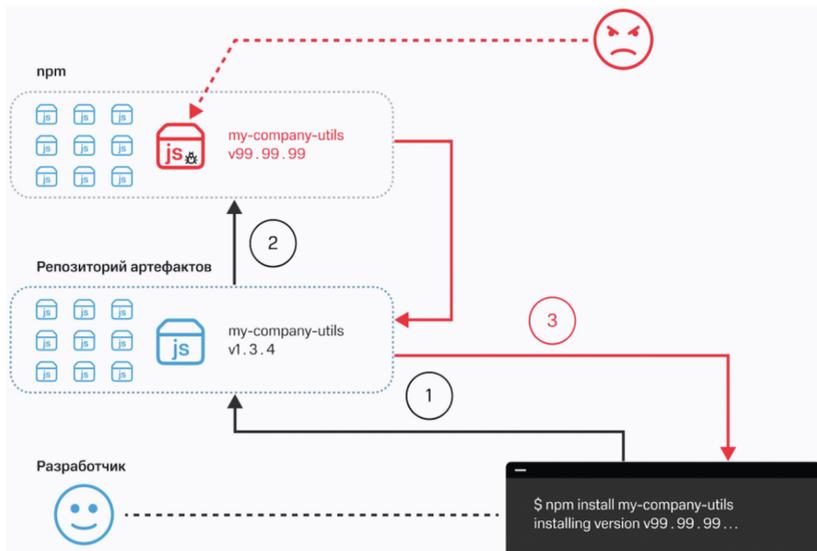


Рис. 3. Перехват зависимости при помощи увеличения версии пакета

Киберсквоттинг опечаток (Typosquatting) – публикация вредоносных пакетов с именами, похожими на названия популярных пакетов, в надежде, что разработчик допустит ошибку в написании имени пакета и случайно получит опечатанный пакет.

Данная атака может нанести обширный вред компаниям и разработчикам. Важно разберемся с некоторыми проблемами безопасности, возникающими в результате атак с использованием киберсквоттинга:

- Утечка данных. Вредоносное программное обеспечение может содержать код, предназначенный для кражи конфиденциальной информации – из личных записей или проприетарного исходного кода, – что приводит к утечке данных с разрушительными последствиями.

- Компрометация системы. Вредоносные пакеты могут включать в себя бэкдоры в изолированные среды, которые открывают двери для дальнейших эксплойтов и компрометаций.
- Репутационный ущерб. Организации, пострадавшие от опечаток пакетов, могут понести непоправимый репутационный ущерб, поскольку это подрывает доверие к их способности предоставлять безопасные программные среды.

Для решения проблемы киберсквоттинг опечаток зависимостей необходим многогранный подход, включающий расширенное управление пакетами, протоколы проверки и обучение пользователей.

Во-первых, внедрение автоматизированных систем обнаружения в репозиториях пакетов может снизить риск опечаток [8]. Эти системы используют алгоритмы машинного обучения и методы нечеткого сопоставления для идентификации и пометки пакетов с именами, похожими на популярные зависимости, что позволяет специалистам по обслуживанию репозитория просматривать и, при необходимости, удалять подозрительные пакеты. Кроме того, интеграция криптографической подписи пакетов гарантирует, что только проверенные и надежные источники смогут публиковать обновления. Разработчикам рекомендуется использовать функции менеджера пакетов, такие как блокировка зависимостей и контрольные суммы, чтобы гарантировать установку только нужных пакетов и минимизировать риск непреднамеренного включения вредоносных зависимостей.

Во-вторых, решающее значение имеет постоянный мониторинг и аудит зависимостей. Организации могут использовать инструменты управления зависимостями, которые регулярно сканируют уязвимости и проверяют целостность установленных пакетов на предмет известных инцидентов с опечатками. Эти инструменты можно настроить так, чтобы они предупреждали разработчиков при обнаружении несоответствий или потенциальных угроз. Более того, продвижение лучших практик, таких

как регулярные обновления и управление исправлениями, может значительно сократить окно возможностей злоумышленников для использования опечатаваемых зависимостей.

Брендджекинг (Brandjacking) — публикация вредоносных пакетов способом, соответствующим соглашению об именах или другим характеристикам пакета конкретного бренда, в попытке заставить ничего не подозревающих разработчиков получить эти пакеты из-за ложной ассоциации их с доверенным брендом.

Данный метод атак похож на предыдущий за исключением, что здесь подменяются не имена пакетов, а используется замена имен авторов на имена популярных компаний и упор атаки идет на невнимательность или незнание разработчика. Все же это серьезная угроза кибербезопасности, может привести к широко распространенным нарушениям безопасности, поскольку ничего не подозревающие разработчики интегрируют «испорченные» пакеты в свои проекты.

Для борьбы с этим родом атак необходимо следующую стратегию: внедрение надежных процессов проверки пакетов (OSA, SCA) [5]. Объединив технические и образовательные меры, сообщество разработчиков программного обеспечения может значительно снизить количество случаев брендджекинга и защитить целостность своих проектов.

Исследование Mend показывает, что с января по сентябрь 2022 года наблюдается устойчивый ежеквартальный рост количества вредоносных пакетов, опубликованных в 2022 году, причем скачок со второго квартала на третий составил более 79 процентов [3, 7]. Каждый день на npm и Rubygems публиковалось не менее десяти вредоносных пакетов. В таблице 1 показано количество вредоносных пакетов, опубликованных за месяц, январь-октябрь 2022 г.

Таблица 1.

Количество вредоносных пакетов, опубликованных за месяц, январь-октябрь 2022 г.

Месяц публикации	Количество опубликованных вредоносных пакетов
Январь	525
Февраль	610
Март	1,605
Апрель	495
Май	500
Июнь	2,010
Июль	2,915
Август	1,660
Сентябрь	795
Октябрь	635

Также в таблице 2 можно увидеть интенсивность злоумышленников на атаки цепочек зависимостей в период с 2017 года по 2022 год. Интенсивность указывается в диапазоне от 1 до 5, где 1 малая активность, а 5 сильные удары.

Таблица 2.

Интенсивность атак в период с 2017 г. по 2022 г.

Год атаки	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Typosquatting	1	2	2	6	5	5
Brandjacking	1	2	2	4	3	5
Dependency hijacking			1	2	2	2
Dependency confusion					2	2

Мы убедились, что подготовка, планирование и последовательное соблюдение передовых методов обеспечения безопасности методов CI/CD помогут организациям создать прочную основу кибербезопасности. Но поскольку активность угроз продолжает увеличиваться в объеме и инновациях, предприятиям необходимо выйти за рамки сегодняшнего статус-кво, чтобы выжить. Приложения – это источник жизненной силы глобальной экономики, и субъекты угроз знают об этом.

К счастью, мы наблюдаем растущую глобальную приверженность обеспечению кибербезопасности со стороны государственного сектора [12]. Правительства многих стран, в том числе России, США, Великобритании и Японии, ужесточают правила и стандарты для повышения безопасности во всей цепочке поставок программного обеспечения. Однако это всего лишь один шаг. Поскольку долг по безопасности для большинства продолжает расти, важно соблюдать методы безопасности и правильно расставлять приоритеты для уязвимостей, которые представляют наибольший риск. Организациям необходимо использовать инструменты определения приоритетов и устранения уязвимостей, которые больше всего повлияют на их системы и бизнес, если они хотят разумно управлять своим долгом по обеспечению безопасности.

Заключение

Процессы непрерывной интеграции и непрерывного развертывания (CI/CD) играют ключевую роль в современной разработке программного обеспечения [10, 11], предоставляя возможности для автоматизации и ускорения вывода продуктов на рынок. Однако, как показано в статье, с ростом популярности этих процессов увеличиваются и риски, связанные с эксплуатацией зависимостей. Уязвимости в цепочках поставок могут привести к серьезным последствиям, таким как компрометация системы, утечка данных и репутационные потери. Разработчикам и организациям необходимо уделять особое внимание безопасности на каждом этапе CI/CD, внедряя передовые методы защиты и контроля.

Мы определили методы минимизации рисков злоупотребления зависимостями, что важно внедрять многоуровневые меры безопасности, включая автоматизированные инструменты для мониторинга и анализа, строгий контроль доступа к репозиториям и использование криптографических методов для проверки целостности пакетов. Кроме того, регулярные аудиты и обучение

сотрудников помогают поддерживать высокий уровень безопасности и осведомленности о потенциальных угрозах.

В конечном итоге интеграция подходов, рассмотренных в статье, позволит не только обеспечить безопасность CI/CD процессов, но и повысить доверие к продуктам, создаваемым с их помощью, что в свою очередь укрепит позиции компании на рынке и обеспечит стабильность ее программных решений.

Список литературы

1. Будзко В. И. Развитие систем высокой доступности с применением технологии «большие данные» // Системы высокой доступности. 2013. Т. 9, № 4. С. 003-011.
2. Хамитов Р. М. Цифровизация образования и ее аспекты // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 3. С. 8. <https://doi.org/10.17513/spno.30771>
3. Data Attack Surface Report Steve Morgan, Editor-in-Chief Northport, N.Y. June 8, 2020. URL: <https://cybersecurityventures.com/wp-content/uploads/2020/12/ArcserveDataReport2020.pdf> (дата обращения: 19.05.2024).
4. Introducing Package Source Mapping. URL: <https://devblogs.microsoft.com/nuget/introducing-package-source-mapping/> (дата обращения: 20.05.2023).
5. Software composition analysis. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Software_composition_analysis (дата обращения: 20.05.2023).
6. Dependency Confusion: How I Hacked Into Apple, Microsoft and Dozens of Other Companies. URL: <https://medium.com/@alex.birsan/dependency-confusion-4a5d60fec610> (дата обращения: 20.05.2024).
7. Mend Research Snapshot: Malicious Packages. URL: <https://www.mend.io/malicious-package-research/> (дата обращения: 21.05.2023).
8. Learning Data Visualization in Assessing Linguistic Competence in the International Baccalaureate / О. М. Shevchenko, Yu. V. Torkunova, A. E. Upshinskaya, T. V. Shorina // European Proceedings of Social and

- Behavioural Sciences: Conference proceedings, Moscow, April 23-25, 2020. London: European Publisher, 2020. P. 1155-1164. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.11.03.122>
9. The OWASP Foundation - OWASP Top 10 CI/CD Security Risks. URL: <https://owasp.org/www-project-top-10-ci-cd-security-risks/> (дата обращения: 16.05.2024).
 10. Дэвис Д. Эффективный DevOps: искусство управления IT / Д. Дэвис, К. Дэниелс. СПб : O'Reilly Media, 2016. 118 с.
 11. Sharma S. The DevOps Adoption Playbook: A Guide to Adopting DevOps in a Multi-Speed IT Enterprise. Wiley, 2017. 416 p.
 12. Wilson G. DevSecOps: A leader's guide to producing secure software without compromising flow, feedback and continuous improvement. London: Rethink Press, 2020. 278 p.
 13. Calvin S. P. Jenkins administrator's guide: Install, Manage and Scale a Ci/Cd Build and Re-lease System to Accelerate Your Product Lifecycle / S. P. Calvin, J. Humble, P. Debois. Boston, UK: IT Revolution Press, 2021. 436 p.
 14. Безопасность разработки в Agile-проектах / Л. Белл, М. Брантон-Сполл, Р. Смит, Д. Бэрд. пер. с англ. А. А. Слинкин. М.: ДМК Пресс, 2018. 448 с.
 15. Джозеф Д. Microsoft Windows Server / Д. Джозеф, Л. Дэвис. Вашингтон: Эком, 2018. 303 с.

References

1. Budzko V. I. Development of high availability systems using "big data" technology. *High Availability Systems*, 2013, vol. 9, no. 4, pp. 003-011.
2. Khamitov R. M. Digitalization of education and its aspects. *Modern problems of science and education*, 2021, no. 3, p. 8. <https://doi.org/10.17513/spno.30771>
3. Data Attack Surface Report Steve Morgan, Editor-in-Chief Northport, N.Y. June 8, 2020. URL: <https://cybersecurityventures.com/wp-content/uploads/2020/12/ArcserveDataReport2020.pdf> (accessed 19.05.2024).

4. Introducing Package Source Mapping. URL: <https://devblogs.microsoft.com/nuget/introducing-package-source-mapping/> (accessed 20.05.2023).
5. Software composition analysis. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Software_composition_analysis (accessed 20.05.2023).
6. Dependency Confusion: How I Hacked Into Apple, Microsoft and Dozens of Other Companies. URL: <https://medium.com/@alex.birsan/dependency-confusion-4a5d60fec610> (accessed 20.05.2024).
7. Mend Research Snapshot: Malicious Packages. URL: <https://www.mend.io/malicious-package-research/> (accessed 21.05.2023).
8. Learning Data Visualization in Assessing Linguistic Competence in the International Baccalaureate / O. M. Shevchenko, Yu. V. Torkunova, A. E. Upshinskaya, T. V. Shorina. *European Proceedings of Social and Behavioral Sciences: Conference proceedings, Moscow, April 23-25, 2020*. London: European Publisher, 2020, pp. 1155-1164. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.11.03.122>
9. The OWASP Foundation - OWASP Top 10 CI/CD Security Risks. URL: <https://owasp.org/www-project-top-10-ci-cd-security-risks/> (accessed 16.05.2024).
10. Davis D. *Effective DevOps: the art of IT management* / D. Davis, K. Daniels. SPb : O'Reilly Media, 2016, 118 p.
11. Sharma S. *The DevOps Adoption Playbook: A Guide to Adopting DevOps in a Multi-Speed IT Enterprise*. Wiley, 2017, 416 p.
12. Wilson G. *DevSecOps: A leader's guide to producing secure software without compromising flow, feedback and continuous improvement*. London: Rethink Press, 2020, 278 p.
13. Calvin S. P. *Jenkins administrator's guide: Install, Manage and Scale a Ci/Cd Build and Re-lease System to Accelerate Your Product Life-cycle* / S. P. Calvin, J. Humble, P. Debois. Boston, UK: IT Revolution Press, 2021, 436 p.
14. *Development security in Agile projects* / L. Bell, M. Brunton-Spoll, R. Smith, D. Baird. Moscow: DMK Press, 2018, 448 p.
15. Joseph D. *Microsoft Windows Server* / D. Joseph, L. Davis. Washington, DC: Ecom, 2018, 303 p.

ДАНИЕ ОБ АВТОРЕ

Алексеев Данил Николаевич, студент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы»
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
ул. Красносельская, 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация
danil.core7@gmail.com

Хамитов Ренат Минзашарифович, доцент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы» кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
ул. Красносельская, 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация
hamitov@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHOR

Danil N. Alekseev, Student of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems
Kazan State Power Engineering University
51, Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, Russian Federation
danil.core7@gmail.com

Renat M. Khamitov, Associate Professor «Information Technologies and Intelligent Systems», Candidate of Technical Sciences
Kazan State Power Engineering University
51, Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, Russian Federation
hamitov@gmail.com
SPIN-code: 7401-9166
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9949-4404>
ResearcherID: ADQ-3954-2022
Scopus Author ID: 57222149321

Поступила 27.05.2024
После рецензирования 18.06.2024
Принята 05.07.2024

Received 27.05.2024
Revised 18.06.2024
Accepted 05.07.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-310
УДК 656.1



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

АНАЛИЗ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОДАРА

И.Н. Котенкова, И.С. Сенин, А.А. Замбржицкая

В данной статье авторы рассматривают шумовые характеристики транспортных потоков в городских условиях. Неравномерность транспортных потоков во времени и в пространстве влечет изменение шумовых воздействий на окружающую среду.

Основным источником шумового загрязнения является двигатель внутреннего сгорания, который производит аэродинамический шум и структурный шум. Измерения уровня шума осуществляются отдельно для транспортных средств, находящихся в движении, и для стоящих транспортных средств.

На уровень шума прямое влияние оказывает режим движения автомобилей, скорость транспортного потока, интенсивность транспортного потока.

Ухудшение условий труда и отдыха при высоком уровне транспортного шума может привести к снижению производительности труда и возникновению нервных расстройств. Поэтому защита населения от шума, создаваемого транспортом, имеет не только социальное, но и экономическое значение.

***Цель** – проанализировать уровень шумовых воздействий транспортного потока в городских условиях.*

***Метод и методология проведения работы.** В статье использовались методы наблюдения, статистический анализ, синтез.*

***Результаты.** Были осуществлены замеры уровня шума на выделенном участке улично-дорожной сети, а также получены рас-*

четные данные исходя из заявленных характеристик транспортного потока.

Область применения результатов: научно-исследовательская деятельность по повышению экологической безопасности транспортного потока.

Ключевые слова: автомобиль; двигатель; шум; транспорт; транспортный поток; интенсивность; скорость; замеры; расчет

Для цитирования. Котенкова И.Н., Сенин И.С., Замбргитская А.А. Анализ шумовых характеристик транспортных потоков на примере г. Краснодара // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 3. С. 117-134. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-310

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

ANALYSIS OF NOISE CHARACTERISTICS OF TRAFFIC FLOWS ON THE EXAMPLE OF KRASNODAR

I.N. Kotenkova, I.S. Senin, A.A. Zambrgitskaya

In this article, the authors consider the noise characteristics of traffic flows in urban conditions. The unevenness of traffic flows in time and space entails a change in noise effects on the environment.

The main source of noise pollution is the internal combustion engine, which produces aerodynamic noise and structural noise. Noise level measurements are carried out separately for vehicles in motion and for stationary vehicles.

The noise level is directly influenced by the mode of movement of cars, the speed of traffic flow, and the intensity of traffic flow.

Deterioration of working and leisure conditions with a high level of traffic noise can lead to a decrease in labor productivity and the occurrence of nervous disorders. Therefore, the protection of the population from the noise generated by transport is not only of social, but also of economic importance.

Purpose: *to analyze the level of noise impacts of traffic flow in urban conditions.*

Method and methodology. *The methods of observation, statistical analysis, and synthesis were used in the article.*

Results: *noise level measurements were carried out on the selected section of the road network, and calculated data were obtained based on the declared characteristics of the traffic flow.*

Scope of application of the results: *research activities to improve the environmental safety of the traffic flow.*

Keywords: *car; engine; noise; transport; traffic flow; intensity; speed; measurements; calculation*

For citation. *Kotenkova I.N., Senin I.S., Zambrgitskaya A.A. Analysis of Noise Characteristics of Traffic Flows on the Example of Krasnodar. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 117-134. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-310*

В последние годы шумовое загрязнение в крупных городах приобретает все более значительные масштабы. В связи с увеличением уровня автомобилизации и ростом интенсивности транспортных потоков в городах, уровень шумового загрязнения на территориях, прилегающих к улично-дорожной сети, зачастую превышает допустимые значения. Транспортный шум имеет широкий частотный диапазон, а так же носит непрерывный или длительный характер, что обуславливает негативное влияние на здоровье людей и снижение качества жизни жителей городов.

Теоретическая и методологическая основа исследования включает в себя анализ научных трудов отечественных и зарубежных ученых в области оценки воздействия автомобильного транспорта на уровень шумового загрязнения городов.

В качестве инструментов исследования были использованы методы анализа, синтеза средства геоинформационных систем и статистического анализа прогнозирования.

Научная новизна исследования состоит в выборе параметров для оценки уровня шумового загрязнения городской территории, а так же в разработке и реализации альтернативных схем организации движения транспортных потоков, позволяющих регулировать уровень акустических воздействий на определенных территориях города.

В своих исследованиях авторы ориентировались на научные труды Амбарцумяна В.В., Алексеевой Е.С., Аксёнова И.Я., Анисимова П.С., Буториной М.В., Андреевой-Галаниной Е. Ц., Васильева А.В., Алешкова Д.С., Павловой Е.И. и др.

Рост интенсивности движения на дорогах и увеличение шума от транспортных потоков становятся постоянными проблемами для населения, проживающего вблизи автомобильных дорог. Это приводит к тому, что люди подвергаются повышенному уровню шума, что, в свою очередь, негативно сказывается на их качестве жизни и здоровье.

Ухудшение условий труда и отдыха при высоком уровне транспортного шума может привести к снижению производительности труда и возникновению нервных расстройств. Поэтому защита населения от шума, создаваемого транспортом, имеет не только социальное, но и экономическое значение.

При проведении испытаний по уровню внешнего шума используется два режима измерения: 1) при движении АТС; 2) на неподвижном АТС. Измерения производятся с использованием частотной коррекции, соответствующей шкале А, и постоянной времени усреднения F «Быстро» [1]. Для измерения шума, создаваемого движущимися автомобилями, выбирается специальная испытательная площадка, которая соответствует определённым требованиям, как показано на рисунке 1.

На испытательной площадке микрофон устанавливают на расстоянии 7,5 метра ($\pm 0,2$ метра) от контрольной линии СС' и на высоте 1,2 метра ($\pm 0,1$ метра) над поверхностью. Ось наиболее чувствительного восприятия звука должна быть горизонтальной

и перпендикулярной центральной оси АТС (линия CC'). На испытательной площадке проводят линии AA' и BB' , которые параллельны линии PP' и расположены на 10 метров впереди и позади неё - это линии установки микрофона [1].

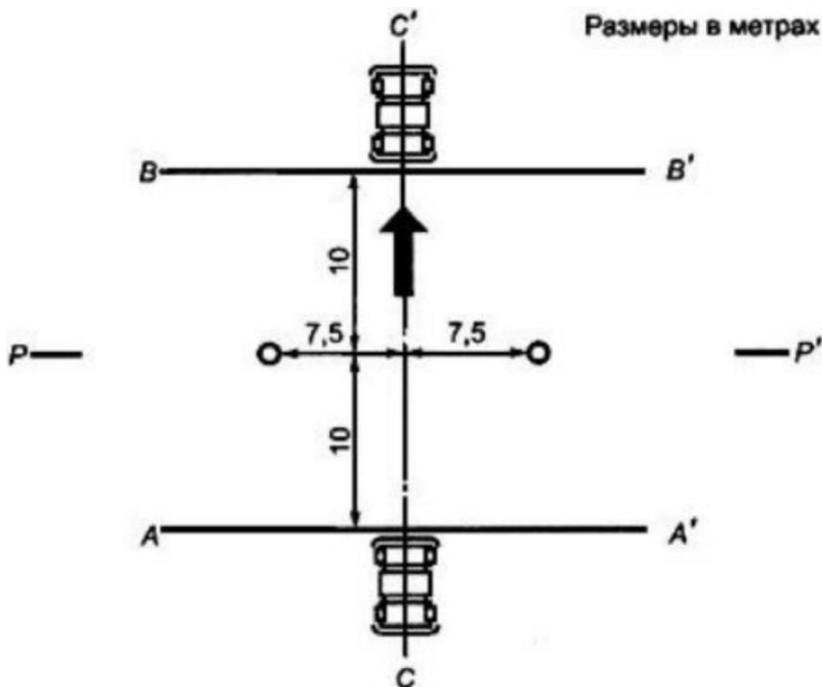


Рис. 1. Положения для измерений на АТС в движении

Автомобиль должен двигаться по прямой линии к участку разгона так, чтобы его продольная ось была как можно ближе к прямой CC' и постепенно приближалась к прямой AA' . Когда передняя часть автомобиля достигнет линии AA' , нужно полностью и быстро нажать на педаль газа до упора и удерживать её в этом положении до тех пор, пока задняя часть автомобиля не пересечёт линию BB' . После этого педаль следует отпустить как можно быстрее. Уровень шума, выраженный в децибелах, изме-

ряется в момент, когда автомобиль находится между линиями АА' и ВВ'. Полученное значение и будет результатом измерения [2].

При измерении шума, который создают неподвижные АТС, испытательная площадка также должна соответствовать определённым требованиям, как показано на рисунке 2.

Микрофон следует расположить над опорной поверхностью на той же высоте, что и выпускную трубу. При этом минимальное расстояние между ними должно быть не менее 20 сантиметров. Мембрана микрофона должна быть направлена в сторону отверстия выхода газов и находиться на расстоянии полуметра от него. Ось максимальной чувствительности микрофона необходимо направить параллельно опорной поверхности, при этом она должна составлять угол $(45 \pm 10)^\circ$ с вертикальной плоскостью, проходящей через направление потока газа [2].

Двигатель должен работать с постоянной частотой вращения, которая составляет три четверти от номинальной частоты вращения коленчатого вала. Это правило действует как для двигателей с принудительным зажиганием, так и для дизельных двигателей. Когда постоянная частота вращения достигнута, орган управления подачей топлива быстро переводится в положение минимального холостого хода. Измерение уровня звука происходит в течение периода работы двигателя. Этот период включает в себя кратковременную работу при постоянной частоте вращения, а также весь период замедления. Результатом измерения считается максимальное показание шумомера в дБА.

Действующий метод измерения внешнего шума от автотранспортных средств называется методом «В». В отличие от предыдущего метода «А», в нём используется другая модель формирования шума. Согласно новой методике, 50% шума создаётся силовым агрегатом, а остальные 50% - динамическим взаимодействием шин с дорожным покрытием. В то же время, в основе метода «А» лежит модель, согласно которой 90% шума автотранспортных средств генерирует силовой агрегат [3].

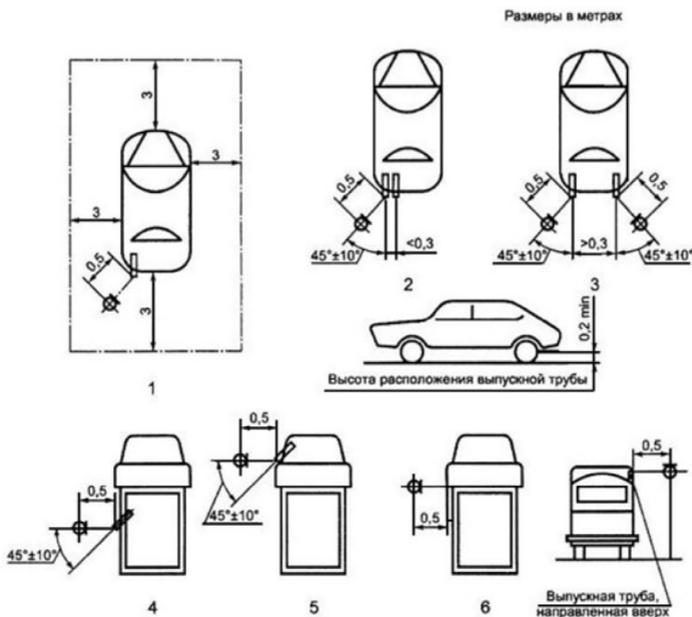


Рис. 2. Положения для измерений на АТС в неподвижном состоянии

Методы экологической оценки новых автотранспортных средств (АТС) используются для определения соответствия уровню, установленному на этапе проектирования производства техники. В процессе эксплуатации АТС может изменяться их техническое состояние, что приводит к отклонению экологических параметров от нормы, характерной для новых автомобилей. Для контроля технического состояния АТС в эксплуатации применяются методы экологической оценки, основанные на анализе состава отработавших газов и уровня внешнего шума.

Шум, производимый двигателем внутреннего сгорания, состоит из двух компонентов: шума аэродинамического происхождения и структурного шума, схема изображена на рисунке 3 [4].

Структурный шум двигателя внутреннего сгорания - самый громкий и сложный для устранения по сравнению с аэродинами-

ческим шумом. Он определяет шум, который производит двигатель, в наиболее неблагоприятных для человеческого слуха средне- и высокочастотных областях спектра [4].



Рис. 3. Источники шума в ДВС

При проверке технического состояния автомобиля одним из важных показателей является уровень шума выпускной системы двигателя. Этот уровень измеряется в соответствии с ГОСТ Р 52231-2004 «Внешний шум автомобилей в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерения».

Уровень шума, создаваемого транспортным потоком, зависит от интенсивности движения и состава потока, то есть от доли грузовых автомобилей и автобусов в общем количестве транспортных средств, как показано на рисунке 4. Поэтому, согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» при измерении шумовых характеристик транспортного потока целесообразно одновременно определять его интенсивность и скорость движения [3].

Уровень транспортного шума повышается в следующих случаях:

- При увеличении средней скорости потока.
- При резком изменении режима движения транспортных средств, таких как разгон, торможение, обгон или остановка. В таких ситуациях уровень шума может повыситься на 2-3 дБА.

- При пересечении потоков одинаковой интенсивности и состава на регулируемых перекрёстках. Здесь также наблюдается увеличение уровня шума на 3 дБА [5].

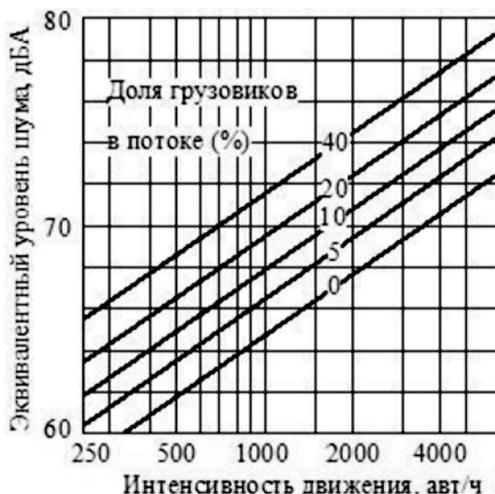


Рис. 4. Зависимости уровня шума от интенсивности и состава транспортного потока (на расстоянии 40 м от середины ближайшей полосы движения)

В качестве объекта исследования был выбран участок УДС, который находится в так называемом районе - Старый центр. Он расположен в южной части г. Краснодара: от парка им. М. Горького на ул. Пастовой до ул. Северной и от ул. Кубанонабережной до Карасунских озер - это исторический центр города. Карта района представлена на рисунке 5.

Чтобы оценить уровень шумового загрязнения нужно узнать такие характеристики транспортного потока, как:

- Интенсивность движения, то есть количество автомобилей, которые проезжают по дороге за определённое время;
- Состав потока;
- Скорость движения автомобилей в потоке;
- Тип двигателя;
- Содержание и объём перевозимых грузов;

- Дорожные условия, которые влияют на скорость движения транспорта.

Исследование шумового загрязнения проводилось с учетом интенсивности движения, структуры транспортного потока, дорожных условий и особенностей застройки.

Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» измерения уровня шума от автомобилей нужно проводить на прямых участках дорог и улиц, где скорость движения транспорта стабильная.

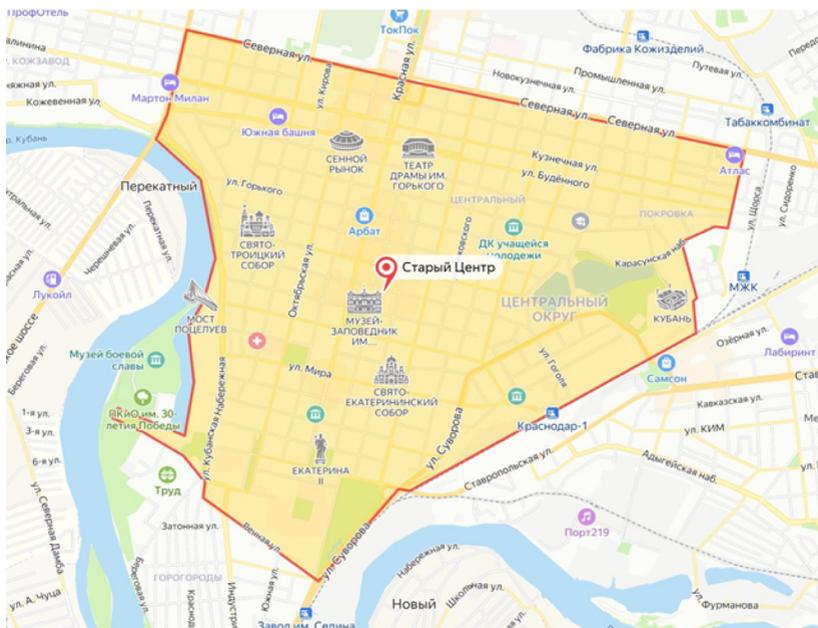


Рис. 5. Подробная карта Старого центра с улицами и границами

Расстояние от перекрёстков, транспортных площадей и остановок общественного транспорта должно быть не менее 50 метров, измерения нужно проводить на участках улиц и автомобильных дорог, где дорожное покрытие чистое и сухое.

Измерения нужно проводить в периоды наибольшей интенсивности движения транспорта.

При измерении уровня шума, который создают транспортные средства, (в состав потока могут входить легковые и грузовые автомобили, автопоезда, автобусы, троллейбусы, трамваи, мотоциклы, мотороллеры, мопеды и другие транспортные средства), микрофон для измерений должен быть установлен на расстоянии $(7,5 \pm 0,2)$ м от оси ближней к точке измерения полосы движения или пути движения транспортных средств [6].

Высота установки микрофона над уровнем покрытия проезжей части или над головкой рельса трамвайного пути должна составлять $(1,5 \pm 0,1)$ м. В условиях плотной городской застройки, когда невозможно разместить измерительный микрофон на расстоянии $(7,5 \pm 0,2)$ м от оси ближайшей к точке измерения полосы движения или пути движения транспортных средств, допускается установка микрофона на меньшем расстоянии, но не ближе одного метра от стен зданий, сплошных заборов и других сооружений или элементов рельефа, которые могут отражать звук.

Учитывая все вышеперечисленные правила измерения уровня шума от автотранспортного потока, были произведены замеры, которые приведены в таблице 1. Допустимые значения шума принимаем в соответствии с СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [5].

Шум, производимый АТС, относится к колеблющемуся шуму (его уровень звука постоянно изменяется во времени). Поэтому для его характеристики необходимо использовать величину эквивалентного уровня звука $L_{экв}$.

Эквивалентный уровень звука - это уровень звука от постоянного источника шума, который за определённый промежуток времени имеет такое же среднеквадратичное значение уровня звука, как и рассматриваемый непостоянный шум, изменяющийся со временем. Транспортный шум имеет низко- и среднечастотный спектральный состав, что позволяет ему распространяться на

большие расстояния от источника. Для расчетов воспользуемся данными, которые представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика уровня шума на улицах г. Краснодара

Улица	Категория объектов	Среднее значение шума, дБА	Мак-си-маль-ное значение шума, дБА	Допу-стимое значение шума, дБА
Ул. Красная, 156	Жилое здание	78	86	70
Ул. Красная, 103	Больницы	72	80	60
Ул. Красная, 91	Учебный корпус	75	85	70
Ул. Красная, 91	Жилое здание	74	76	70
Ул. Гимназическая, 71	Жилое здание	69	79	70
Ул. Гимназическая, 58	Родильный дом	74	79	60
Ул. Красноармейская, 52	Учебный корпус	76	80	70
Ул. Красноармейская, 26	Поликлиника	75	78	60
Ул. Седина, 38	Учебный корпус	72	73	70
Ул. Седина, 4А	Учебный корпус	75	80	70
Ул. Мира, 53	Учебный корпус	72	81	70
Ул. Мира, 19	Жилое здание	65	77	70
Ул. Карасунская, 79	Жилое здание	76	79	70
Ул. Ленина, 50	Жилое здание	75	88	70
Ул. Октябрьская, 67	Госпиталь	77	82	60

Эквивалентный уровень звука от транспортного потока на магистрали города $LA_{эkv}$, дБА, может быть определен в зависимости от состава и скорости движения транспортного потока» [7] по формуле 1:

$$LA_{эkv} = 10 \lg N + 13,3 \lg V + 8,4 \lg r + 7, \quad (1)$$

где $LA_{эkv}$ - эквивалентный уровень звука от транспортного потока на магистрали города, дБА;

N - общее число транспортных единиц в двух направлениях движения за 1 час;

V - скорость движения транспортного потока, м/с;

r - доля грузовых и общественных транспортных средств в общем потоке, %.

Так, эквивалентный уровень звука от транспортного потока на ул. Красная будет равен:

$$LA_{\text{экв}} = 10\lg 3209 + 13,3\lg 9,72 + 8,4\lg 1,3 + 7 = 65 \text{ дБА}$$

Значения эквивалентного уровня шума по каждой улице выбранного района представлены в таблице 2.

Исходя из представленных в таблицах 1 и 2 данных, можно действительно говорить о значительном шумовом загрязнении от автотранспортных потоков, так как каких-либо других источников шума, например, производств, в районе нет.

Таблица 2.

Значения эквивалентного уровня шума

Улица	Эквивалентный уровень шума, дБА	Допустимое значение шума, дБА
Ул. Красная	65	55
Ул. Красноармейская	57	55
Ул. Гимназическая	60	55
Ул. Седина	61	55
Ул. Мира	64	55
Ул. Карасунская	60	55
Ул. Ленина	63	55
Ул. Гоголя	55	55
Ул. Октябрьская	64	55
Ул. Орджоникидзе	60	55

В результате проведенного исследования авторам удалось выявить следующие данные:

1. Условия повышения уровня транспортного шума, такие как увеличение средней скорости потока, резкое изменение режима движения транспортных средств.

2. Требования к измерению шумового воздействия транспортных средств: измерения нужно проводить на прямых участках дорог и улиц, где скорость движения транспорта стабильная, в периоды наибольшей интенсивности движения транспорта. Высота установки микрофона над уровнем покрытия проезжей части или над головкой рельса трамвайного пути должна составлять $(1,5 \pm 0,1)$ м.

3. В результате измерений, а также теоретических расчетов, были выявлены участки городской территории в центральной части г. Краснодара, где уровень шума превышает допустимые значения. Далее планируется разработка мероприятий по снижению уровня шума на указанных участках.

Список литературы

1. Дрючин Д.А. Роль транспорта общего пользования в формировании социальной сферы городских территорий / Д. А. Дрючин, Т. В. Коновалова, И. Н. Котенкова, С. Л. Надирян, В. И. Рассоха // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2024. № 2. С. 29-32.
2. Котенкова И.Н. Оценка шумового воздействия транспортных потоков / Котенкова И.Н., Сенин И.С., Арешкина А.Е. // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств. Сборник научных трудов по материалам XVIII Международной научно-технической конференции. Саратов, 2023. С. 110-115.
3. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Сенин И.С., Домбровский А.Н. Устойчивое развитие городской транспортной системы: Монография. Краснодар, 2023. 232 с.
4. Коновалова Т.В. Анализ транспортных проблем крупных и крупнейших городов / Коновалова Т.В., Сенин И.С., Надирян С.Л., Котенкова И.Н. // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 1. С. 126-136. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-126-136>
5. Социально-экологические аспекты создания комфортной среды на примере Краснодарской агломерации / Н. Л. Сергиенко, З. К. Лакербай, Т. Г. Короткова [и др.]. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2022. 175 с.
6. Повышение эффективности контрольно-надзорной деятельности на транспорте / В. М. Соболев, А. А. Изюмский, И. Н. Котенкова, Я. А. Мотренко. Краснодар: Издательский Дом - Юг, 2023. 200 с.

7. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Изюмский А.А., Мотренко Я.А., Плаксунова В.М. Влияние элементов системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» на экологию. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023610736, 12.01.2023. Заявка № 2022686068 от 28.12.2022.
8. Амбарцумян В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта: учеб. пос. для вузов / В.В. Амбарцумян, В.Б. Носов, В.И. Тагасов. М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 1999. 208 с.
9. Андреева-Галанина Е. Ц. Шум и шумовая болезнь / Е.Ц. Андреева-Галанина, С.В. Алексеев, А.В. [и др.]. Л.: Медицина, 1972. 303 с.
10. Алешков Д.С. Оценка шумового загрязнения окружающей среды на примере города Омска / Д.С. Алешков, Е.А. Бедрина // Безопасность жизнедеятельности. 2010. №4. С. 43-45.
11. Алексеева Е.С. К вопросу о воздействии акустических полей / Е.С. Алексеева, А.В. Митько, К.Ю. Шилин // Промышленная экология - 97: материалы науч.-практ. конфер. С-Петербург: БГТУ, 12-14 ноября 1997. С. 283-289.
12. Анисимов П.С. Защита от шума на высокоскоростных магистралях // Мир транспорта. 2010. № 2. С. 121-129.
13. Буторина М.В. Оценка акустического загрязнения от автомобильных дорог и выбор мероприятий по снижению шума / М.В. Буторина, Н.В. Тюрина // Безопасность жизнедеятельности. 2005. №10. С. 21-25.
14. Васильев А.В. Снижение шума транспортных потоков в условиях современного города // Экология и промышленность России. 2004. №6. С. 37-41.
15. Павлова Е.И. Экология транспорта: учебник для вузов. М.: Транспорт, 2000. 248 с.

References

1. Druchin D.A. Role of public transportation in the formation of the social sphere of urban areas / D.A. Druchin, T.V. Konovalova, I.N. Kotenkova, S.L. Nadiryanyan, V.I. Rassokha. *Science. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin)*, 2024, no. 2, pp. 29-32.

2. Kotenkova I.N. Estimation of the noise impact of traffic flows / Kotenkova I.N., Senin I.S., Areshkina A.E. *Actual issues of the organization of road transportation, traffic safety and operation of vehicles. Collection of scientific papers on the materials of XVIII International Scientific and Technical Conference*. Saratov, 2023, pp. 110-115.
3. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Senin I.S., Dombrovskiy A.N. *Sustainable development of the urban transportation system: Monograph*. Krasnodar, 2023, 232 p.
4. Konovalova T.V. Analysis of transport problems of large and largest cities / Konovalova T.V., Senin I.S., Nadiryan S.L., Kotenkova I.N. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 126-136. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-126-136>
5. *Socio-ecological aspects of creating a comfortable environment on the example of Krasnodar agglomeration* / N. L. Sergienko, Z. K. Lakerbai, T. G. Korotkova [et al.]. Krasnodar: Kuban State Technological University, 2022, 175 p.
6. *Increasing the efficiency of control and supervisory activities in transportation* / V. M. Sobolev, A. A. Iziumskiy, I. N. Kotenkova, Y. A. Motrenko. Krasnodar: Yug Publ., 2023, 200 p.
7. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Iziumskiy A.A., Motrenko Y.A., Plaksunova V.M. *Influence of elements of the system "driver-automobile-road-environment" on ecology*. Certificate of registration of computer program 2023610736, 12.01.2023. Application No. 2022686068, 28.12.2022.
8. Ambartsumyan V.V. *Ecological safety of automobile transport: textbook for universities* / V.V. Hambartsumyan, V.V. Ambartsumyan V.V., V.B. Nosov, V.I. Tagasov. Moscow: Nauchtekhlitizdat Publ., 1999, 208 p.
9. Andreeva-Galanina E. Ts. *Noise and noise sickness* / E.Ts. Andreeva-Galanina, S.V. Alekseev, A.V. [et al.] L.: Medicine, 1972, 303 p.
10. Aleshkov D.S. Assessment of noise pollution of the environment on the example of Omsk city / D.S. Aleshkov, E.A. Bedrina. *Life Safety*, 2010, no. 4, pp. 43-45.

11. Alekseeva E.S. To the question about the impact of acoustic fields / E.S. Alekseeva, A.V. Mitko, K.Y. Shilin. *Industrial Ecology - 97: Proceedings of the scientific-practical conference*. St. Petersburg: BSTU, November 12-14, 1997, pp. 283-289.
12. Anisimov P.S. Noise protection on the high-speed highways. *Transport World*, 2010, no. 2, pp. 121-129.
13. Butorina M.V. Assessment of acoustic pollution from automobile roads and the choice of measures to reduce noise / M.V. Butorina, N.V. Tyurina. *Life Safety*, 2005, no. 10, pp. 21-25.
14. Vasiliev A.V. Noise reduction of transport flows in the conditions of a modern city. *Ecology and Industry of Russia*, 2004, no. 6, pp. 37-41.
15. Pavlova E.I. *Ecology of transport: textbook for universities*. Moscow: Transport, 2000, 248 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Котенкова Ирина Николаевна, старший преподаватель кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация
mys-ka@mail.ru

Сенин Иван Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация
senin.ivan@inbox.ru

Замбрицкая Алина Андреевна, студент кафедры Транспортных процессов и технологических комплексов

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация
sofi008008@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina N. Kotenkova, Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
mys-ka@mail.ru*

Ivan S. Senin, Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
senin.ivan@inbox.ru*

Alina A. Zambrzhitskaya, Student of the Department of Transport Processes and Technological Complexes
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
sofi008008@yandex.ru*

Поступила 14.09.2024
После рецензирования 08.10.2024
Принята 13.10.2024

Received 14.09.2024
Revised 08.10.2024
Accepted 13.10.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-319
УДК 625.1



Научная статья | Логистические транспортные системы

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОДОВО-ЛОКАЦИОННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ВОСТОЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**О.В. Шугаев, О.Д. Покровская,
В.В. Почетуха, С.В. Лемихов**

Представленная исследовательская работа с научным уклоном посвящена анализу применения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на разветвлённых рельсовых цепях Восточного направления Западно-Сибирской железной дороги. Текущая работа описывает предмет и объект исследований с включённой строгой последовательностью проведения отдельных этапов изыскания с указанием специфики получения и обработки данных. Публикация условно разделена на 2 основные части, первая посвящена методологии проведения изысканий, описания исследовательского процесса, входных данных и структурному описанию работы отдельных элементов используемой системы интервального регулирования. Математический аппарат предусматривает использование статистических методов обработки данных, скорректированных для текущих условий проведения аналитической обработки данных. Определение пропускной и перерабатывающей способности систем интервального регулирования выполнено нестандартным способом с привлечением зарубежных приёмов и авторской методологии определения эффективности работы линии при текущей системе интервального регулирования. Заключение первого раздела работы предусматривает повествование необходимости использования представленного математического сопровождения. Вторая часть настоящей публикации отража-

ет результаты исследовательской деятельности с поэтапными промежуточными выводами. Уникальность процесса проведения изысканий состоит в разделении исследовательской части на несколько отдельных этапов и их реализации в течении нескольких месяцев на действующем перегоне магистрального сообщения. Первый этап исследований посвящён выявлению точности фиксации местоположения подвижного состава при использовании системы кодово-локационного позиционирования. Второй включает оценку динамики изменения пропускной и провозной способности на отдельном нагруженном перегоне Восточного направления Западно-Сибирской железной дороги. Заключительный этап исследовательской части содержит оценку степени безопасности эксплуатации локационного принципа организации движения через скорость отклика используемой системы. Результаты проведения изысканий и подведение итогов по всей работе сосредоточены в заключительной части публикации, включающей аналитическое представление и анализ текущего процесса исследований. В итоговом разделе сосредоточены рекомендации по улучшению условий эксплуатации согласно полученным данным и выходная субъективная оценка эффективности работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на отдельном перегоне участка магистрального сообщения Восточного направления Западно-Сибирской железной дороги.

Ключевые слова: *Восточное направление; Западно-Сибирская железная дорога; время отклика; система интервального регулирования; эффективность работы; движение; система кодово-локационного позиционирования; подвижной состав; точность позиционирования; объекты движения; провозная способность*

Для цитирования. *Шугаев О.В., Покровская О.Д., Почетуха В.В., Лемихов С.В. Анализ применения кодово-локационного позиционирования на восточном направлении Западно-Сибирской железной дороги // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 3. С. 135-173. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-319*

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF CODE-LOCATION POSITIONING IN THE EASTERN DIRECTION OF THE WEST SIBERIAN RAILWAY

***O.V. Shugaev, O.D. Pokrovskaya,
V.V. Pochetukha, S.V. Lemikhov***

The presented research paper with a scientific bias is devoted to the analysis of the application of the system of code-location positioning of rolling stock on the stretch of the Eastern direction of the West Siberian Railway. The article describes the subject and object of research, includes the sequence of individual stages of research with justification and data processing. The publication is conditionally divided into 2 parts, the first is devoted to the methodology of research, the description of the research process, input data and a structural description of individual elements of the interval control system. The mathematical apparatus includes statistical methods for processing data adjusted for the current conditions of the experiment. The determination of throughput and processing capacity was carried out using a foreign method and the author's methodology for evaluating the efficiency of the distillation. The conclusion of the first section of the article indicates the need to use the presented mathematical apparatus. The second part of this publication contains the results of research with conclusions. The uniqueness of the experiment consists in dividing the research part into several separate stages and conducting them for several months on the current stretch of the main line. The first stage of research is devoted to the accuracy of determining the location of rolling stock using a code-location positioning system. The second stage contains an assessment of changes in throughput and carrying capacity on a separate loaded stretch of the Eastern direction of the West Siberian Railway. The final stage of the experiment contains an assessment of the study

of the response rate of the proposed motion control system. The results of the research and the summary of the entire work are located in the final part of the publication, which includes analysis and analysis of the experiment. The final section describes recommendations for improving operating conditions using the data obtained and the author's assessment of the effectiveness of the rolling stock code-location positioning system on a separate stretch of the main line section of the Eastern direction of the West Siberian Railway.

Keywords: *Eastern direction; West Siberian Railroad; response time; interval control system; work efficiency; traffic; code-location positioning system; rolling stock; positioning accuracy; traffic objects; carrying capacity*

For citation. *Shugaev O.V., Pokrovskaya O.D., Pochetukha V.V., Lemikhov S.V. Analysis of the Application of Code-Location Positioning in the Eastern Direction of the West Siberian Railway. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 135-173. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-319*

Введение

Ключевые события страны, связанные с 24 февраля 2022 года, позволили переориентировать транспортные потоки железнодорожного сообщения в дальневосточном направлении. В настоящее время восточный полигон обеспечивает функционирование нескольких транспортных коридоров Евразийского экономического союза. Текущее распределение грузо-пассажиропотоков и отгрузка осадочных пород в дальневосточные порты из Канско-Ачинского, Кузнецкого и Минусинского угольных бассейнов, повышает привлекательность использования Южно-Сибирской магистрали. Южный ход Транссиба, связывающий территории Южно-Кузбасской агломерации и Дальневосточного транспортного узла, включает часть перегонов с низкой пропускной способностью. Реконструктивные мероприятия по ликвидации узких мест на участке Артышта – Междуреченск – Тайшет про-

должаются с 2013 года по сегодняшний день [1] с внушительными результатами. На текущий момент времени мероприятия по модернизации инфраструктуры позволили увеличить провозную способность в 1,5 раза [2]. При полноценном функционировании Южного хода Транссибирской магистрали объемы перевозимого груза на текущем участке возрастут в несколько раз относительно до реконструктивных мероприятий [3].

Участок движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта в настоящее время является достаточно нагруженным звеном в обеспечении перевозочных потребностей Южно-Кузбасской агломерации на местном уровне. При увеличении потребной пропускной способности указанной железнодорожной линии с учётом запланированного технологического времени возникает риск перенасыщения пути сообщения, а при дальнейшей его эксплуатации потребуются и модернизация участка. В противном случае соотношение предельного количества подвижных систем за единицу времени через участок будет ограничено путевым развитием и системой интервального регулирования. Модернизация путевой инфраструктуры подразумевает значительные капитальные вложения, окупаемые в течении длительного промежутка времени. Другой вариант подразумевает повышение эффективности использования действующего путевого развития при сокращении межпоездных интервалов. Участок движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта оборудован двухсторонней автоблокировкой с 3-х значной индикацией, включающей смешанное сообщение грузовых и пассажирских составов с резервными перемещениями. Движение одиночных локомотивов и пассажирских поездов снижает коэффициент полезного действия использования средств регулирования движения на перегоне из-за низкой протяжённости относительно длинны блок - участка.

В качестве корректирующих действий относительно указанной ранее проблематики для развивающихся участков предлагается использование устройств интервального регулирования без фик-

сированных межпоездных интервалов. Наиболее предпочтительной, согласно проведённым экспериментам в [4], является система кодово-локационного позиционирования подвижного состава (СКЛППС). Основываясь на указанное утверждение, требуется определить эффективность работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на отдельном перегоне участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта.

Указанная цель текущей публикации достигается решением следующих задач:

- провести исследование по выявлению точности фиксации местоположения подвижного состава;
- оценить динамику изменения пропускной и провозной способности на текущем перегоне;
- оценить степень безопасности эксплуатации СКЛППС через скорость отклика системы.

Объектом исследования в текущей публикации выступает двухпутный перегон участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта оборудованный СКЛППС. Предметом исследования является эффективность применения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на действующий участок движения. Научная новизна текущей работы состоит в оценке эффективности эксплуатации СКЛППС на действующем перегоне структурно развивающегося участка.

Материалы и методы

С целью апробирования функциональности применения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава выбран достаточно загруженный перегон Спиченково – Новокузнецк Сортировочный. Предпочтительность выбора обуславливается мягким профилем пути с незначительными уклонами, высокой протяжённостью и наличием смешанного сообщения. Перегон оборудован числовой кодовой автоблокировкой протяжённостью 15,879 км. Исследуемый объект условно разбит на 52

дискретных участка с изменяющимся уклоном и кривизной пути относительно траектории движения, профиль указанного пути сообщения представлен на рисунке 1.

Текущий участок движения является двухпутным с разрешённой средней скоростью движения, не превышающей значения от 60 до 80 км/ч. На участке курсируют грузовые и пассажирские составы включая тяговые подвижные единицы ВЛ10у, 2ЭС6, 3ЭС6, ЭП2Д, ЭП2ДМ, ЭП4М. Сложность реализации размещения аппаратуры СКЛППС обуславливается наличием 8 отдельных изолированных блок участков со средней протяжённостью 2,5 км. В качестве исследовательской реализации модернизированы 2 пути чётного и нечётного направления движения. Вследствие конструктивных особенностей перегона и системы связи перегон оборудован 3 стандартными приёмно-передающими блоками (ППБ).

Использование текущего значения стационарных устройств обуславливается рельефом местности и требованиями надёжности. Зона покрытия участка обеспечивается 2 ППБ, при этом дополнительный блок вводится для получения более точных значений позиционирования и в целях дублирования информации других смежных элементов СКЛППС. Изолированные блок-участки препятствуют распространению сигнальных сообщений по текущему участку движения. Оптимальное решение, принимаемое без конструктивных изменений путевой инфраструктуры, предполагает исключительное использование цифрового канала связи для передачи пакетов информации и позиционирующих сигналов. В качестве обмена данными между ППБ выступает цифровой радиоканал, позволяющий непрерывно собирать информацию от всех стационарных устройств. Используемые блоки принимают и передают информационные сообщения, включая опрашивающий сигнал, без использования рельсового полотна, последнее используется для контроля целостности железнодорожных нитей. Разновидность применяемой интервальной кодово-локационной системы регулирования является: ра-

дио-цифровая система позиционирования подвижного состава» (ЦРСКЛППС) [5].

Структурная схема позиционирования железнодорожных участников движения при использовании СКЛППС представлена на рисунке 2.

Использование текущей реализации контроля движения подвижного состава не зависит от дублирующей системы, изначально располагаемой на участке, ввиду цифровой радиопередачи без использования рельсового полотна. Текущий вид системы кодово-локационного позиционирования исключает вмешательство в путевое развитие и текущую работу аппаратуры, располагаемой на участке. Использование ЦРСКЛППС позволяет взаимодействовать с 2 линиями движения одновременно без механического вмешательства. Реализация текущей системы интервального регулирования для конкретного перегона направлена на тестирование работоспособности системы, получения детальной статистической оценки параметров хода подвижного состава и местного уплотнения графика движения при съёме и смешенном сообщении, включая следование резервом.

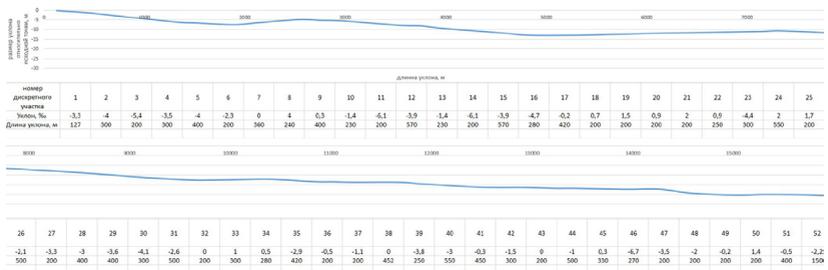


Рис. 1. Профиль исследуемого перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный

Интеграция аппаратуры ЦРСКЛППС произведена в непосредственной близости железнодорожного полотна на границе 370/371 и в центральной области 360, 364 километров. На подвижных единицах задействовано 10 устройств ОЛМ с упро-

щённым функционалом несущим информативный характер. Топология текущих локомотивных модулей позволяет при необходимости устанавливаться на любой локомотив с последующей его сменой. Аппаратура ЦРСКЛППС удалённо связана с ДНЦ через цифровой радиоканал. В основном локомотивном модуле отсутствует интеграция с внутренними системами локомотива. При движении по ОЛМ машинист локомотива руководствуется рекомендуемой скоростью движения и допустимым интервалом сближения со смежным подвижным составом. Безопасность реализации движения с учётом СКЛППС обеспечивается особой последовательностью формирования выпуска категорий поездов на текущий участок. Движение по ОЛМ разрешено для пассажирского или грузового поезда при следовании за резервным локомотивом, либо для одиночного подвижного состава, сопровождающего любую представленную категорию. Допускается движение нескольких пассажирских составов, либо грузовых единиц с низкой весовой нормой, руководствуясь показаниями основного локомотивного модуля. Локомотивные бригады, задействованные для движения по ОЛМ, прошли соответствующую подготовку по эксплуатации текущего оборудования.

В соответствии с текущими настройками в целях безопасности эксплуатации путевой инфраструктуры и участников перевозочного процесса интервальная дистанция при движении по основному локомотивному модулю увеличена до значения двойного служебного торможения.

Исследовательский процесс по выявлению точности позиционирования подвижного состава привязывается к границам блок-участков. Формирование фактических данных произведено через фиксацию времени прохождения изолирующих стыков поезда. По статистической информации установлена зависимость изменения местоположения поезда от времени. Реализация эмпирических данных с целью удобства восприятия информации представлена в графическом формате.

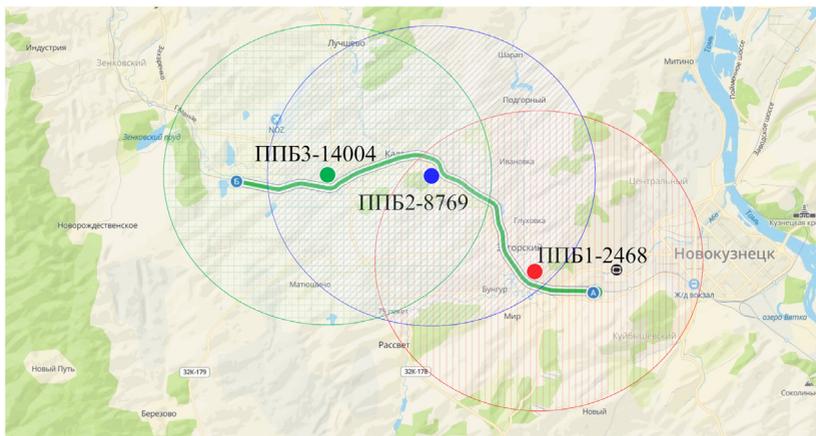


Рис. 2. Структурная схема позиционирования железнодорожных участников движения при использовании СКЛППС

Оценка точности фиксации местоположения подвижного состава достигается при использовании корреляционного анализа кривых движения по перегону. Для получения объективной информации использованы данные движения для рассматриваемого пути сообщения в течении нескольких месяцев. Степень линейной зависимости фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от СКЛППС, определяется классическим способом [6] на основании формулы:

$$r_{f-skppps} = \frac{M(L_f \cdot L_{sklpps}) - M(L_{sklpps}) \cdot M(L_f)}{\sqrt{M(L_{sklpps}^2) - (M(L_{sklpps}))^2} \cdot \sqrt{M(L_f^2) - (M(L_f))^2}}, \quad (1)$$

где L_f – фактическое значение местоположения поезда, м;

L_{sklpps} – значение местоположения поезда, полученное через СКЛППС, м;

Достоверность полученных данных верифицируется численным значением коэффициента Стьюдента:

$$t_r = |r_{f-skppps}| \cdot \sqrt{\frac{k}{1 - r_{f-skppps}^2}} = |r_{f-skppps}| \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1 - r_{f-skppps}^2}}, \quad (2)$$

где k – наименьшее численное значение независимых параметров, требуемых для целостного описания состояния достоверно-

сти верификации, степени линейной зависимости анализируемых показателей местоположения;

n – общее численное значение путевых точек движения подвижного состава, участвующих в позиционировании.

Структурная оценка параметров отклонения фактического местоположения относительно данных, получаемых от приёмно-передающего блока СКЛППС, достигается при использовании вычислительно-статистического анализа [7]. Текущий метод исследования позволит выявить закономерности отклонений производимого вычисления данных. Итоговые графические паттерны распределения вероятностной кривой относительно частоты реализации отклонения исследуемых параметров местоположения позволят установить структурные зависимости протекающих явлений в процессе работы СКЛППС. Реализация текущей методологии описанной в [7], осуществляется через определение характеристик разброса значений позиционирования 3-ого порядка. Среднеквадратическое отклонение для текущих изысканий вычисляется с учётом формулы (3).

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_{\phi j} - M[S_{\text{склппс}j}])^2}, \quad (3)$$

где n – количество исследуемых участков;

S_{ϕ} – фактическое местоположение поезда для j -го участка, м;

$S_{\text{склппс}j}$ – расчётное значение местоположение поезда, определяемого через СКЛППС для j -го участка, м.

График интенсивности и границ аберирования значений позиционирования относительно фактического местоположения осуществляется через относительную частоту реализации, определяемой при использовании выражения (4).

$$\omega_s = \frac{L_s}{n}, \quad (4)$$

где L_s – количество позиционируемых точек входящих в интервал отклонения оценки местоположения.

Оценка динамики изменения пропускной и провозной способности на текущем перегоне основана на сравнительном анализе

входных данных текущих показателей эксплуатации перегона до предстоящих конструктивных преобразований и выходной статистической информации, отражающей количественные характеристики объемов перевозок с использованием движения по ОЛМ. Статистическая информация, полученная ввиду суточных наблюдений в течении нескольких месяцев, обрабатывается при использовании метода МПС [8, 9] для определения наличной пропускной способности согласно выражению (5).

$$N_n = \frac{(1440 - t_{\text{тех}}) \cdot \alpha_n}{I + \Delta I}, \quad (5)$$

где $t_{\text{тех}}$ – усреднённое значение временного интервала, ограничивающего движение на пути сообщения при выполнении технологических операций ремонтно-монтажного характера, мин.;

α_n – параметр надёжности технических устройств;

I – максимальное среднее значения интервала движения подвижных систем, мин.;

ΔI – временной интервал, описывающий среднее расхождение значений минимального и максимального интервалов движения подвижных систем, мин.

С целью определения эффективности использования текущей путевой инфраструктуры и систем интервального разграничения попутного следования в рамках текущего исследовательского этапа анализа применения СКЛППС реализуется показатель полезного действия использования линии сообщения, определяемый по формуле (6).

$$\mu_n = \frac{(1440 - t_{\text{тех}}) \cdot \alpha_n \cdot I_{\text{мин}}}{(I + \Delta I) \cdot 1440} \cdot 100, \quad (6)$$

где $I_{\text{мин}}$ – минимальное проектное значение интервала движения подвижных систем, мин.

Объективная оценка результативности от внедряемых объектов в путевую инфраструктуру и область управления движением требует разностороннего обзора с применением отечественного опыта и зарубежных методологий. В качестве альтернативы показателя полезного действия использования линии сообщения выступает

традиционная интерпретация метода UIC406 [8]. Текущий параметр реализует оценку результативности использования элементов участка движения через сжатие ниток графика движения. Эксплуатационная пропускная способность при сжатии поездных пакетов методом UIC406 реализуется при использовании формулы (7).

$$N_{\text{эс}} = \frac{(T_{\text{и}} + T_3 + T_{\text{т}}) \cdot 100}{1440}, \quad (7)$$

где $T_{\text{и}}$ – общее время использования линии сообщения поездами в момент движения, мин.;

T_3 – буферное время, отводимое на снижения задержки в движении, мин.;

$T_{\text{т}}$ – общее значение временного интервала, ограничивающего движение на пути сообщения при выполнении технологических операций ремонтно-монтажного характера, мин.

В качестве дополнительной оценки результативности использования инфраструктуры при различных методах организации перевозочного процесса целесообразно произвести оценку провозной способности перегона. Текущий показатель рассчитывается для фактических данных до внедрения СКЛППС и после в течение 1 года на основании получаемой информации в течении нескольких месяцев. Мониторинг комплексной провозной способности осуществляется при использовании представленной формулы:

$$\Gamma_{\text{к}} = \frac{365 \cdot \sum_{j=1}^n N_{\text{нг}j} \cdot Q_{\text{бр}} \cdot \varphi}{10^6} + \Gamma_{\text{ус}} + \Gamma_{\text{сб}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{бр}}$ – среднее значение массы грузового сообщения приходящееся на 1 подвижной состав, зависящее от особенностей грузо-вагонопотока, плана формирования и допустимых весовых норм эксплуатации текущего участка движения, т;

φ – коэффициент расхождения тары к общему весу вагона, зависящий от особенностей грузо-вагонопотока и характеристик подвижного состава;

$N_{\text{нг}j}$ – наличная пропускная способность грузового сообщения для j -го дня исследования, поездов/сут.;

$\Gamma_{ус}$ – годовой объем перевозимого груза при использовании ускоренных поездов, млн. т в год;

$\Gamma_{сб}$ – годовой объем перевозимого груза при использовании сборных поездов, млн. т в год.

Оценка степени безопасности эксплуатации СКЛППС в текущей работе производилось через скорость отклика системы интервального регулирования. Информирование текущего подвижного состава производится через 2 вида связи.

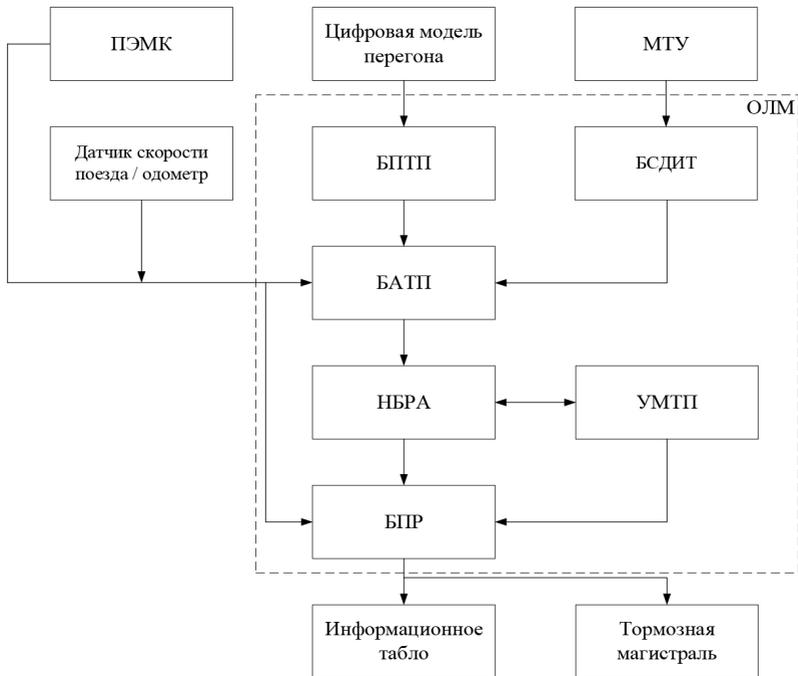


Рис. 3. Структурная схема управления подвижного состава при движении по ОЛМ с применением ППБ СКЛППС

Первый основан на передаче данных через рельсовую нить от ППБ к ОЛМ через приёмные электромагнитные катушки (ОЛМ ПЭМК) в блоки анализа тормозных признаков (БАТП) и принятия решения (БПР) согласно представленной структуре на рисун-

ке 3. Основная структура локомотивного модуля включает: блок прогнозирования тормозных признаков (БПТП), модуль тормозного учёта (МТУ), блок сбора данных об информационном торможении (БСДИТ), нейроблок регрессивного анализа (НБРА), узел моделирования тормозного пути (УМТП). Текущий метод передачи информации используется в РРСКЛППС. Второй вид связи основан на использовании радиоканала для передачи данных от ППБ к ОЛМ через цифровой радиоблок (ЦРБ). Реализация используемого метода обмена ключевой информации местоположения подвижного состава и сопутствующих данных применяется в ОРЦСКЛППС, ЦРСКЛППС, РЦСКЛППС.

В рамках проводимого исследования применения СКЛППС на перегоне ввиду особенностей путевого развития использовано исключительно цифровое вещание между ОЛМ и ППБ в двух направлениях. Расчётное значение отклика системы СКЛППС при использовании рельсовых нитей для обмена информацией определяется при использовании формулы (9), оценка времени следования сигнала для цифрового радиоканала производится на основании уравнения (10). Сбор информации по скорости отклика СКЛППС реализован через базу данных ППБ и ОЛМ с последующей их систематизацией через график зависимости скорости отклика от удалённости объекта движения. Статистические зависимости в рамках проводимого исследования будут оцениваться относительно идеализированных условий, рассчитанных согласно представленным уравнениям:

$$t_{\text{откл}}^{\text{ЦР}} = 3 * t_{\text{ппб-олм}} + T_{\text{олм}} + T_{\text{ппб}} + T_{\text{фи}}, \quad (9)$$

$$t_{\text{откл}}^{\text{РР}} = 3 * t_{\text{рцс}} + T_{\text{олм}} + T_{\text{пцм}} + T_{\text{фи}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{ппб-олм}}$ – время следования сигнала через рельсовую нить между ОЛМ и ППБ от момента отправки до его получения, сек.;

$T_{\text{ппб}}$ – время обработки информации ППБ, полученной от ОЛМ с вычислением текущего местоположения поезда, сек.;

$T_{\text{олм}}$ – время обработки информации ОЛМ, полученной от ППБ относительно текущего местоположения, сек.;

$T_{\text{фи}}$ – время, включающее интервал от фиксации информации БАТП до вывода данных БПР через информационное табло ОЛМ, сек.;

$t_{\text{рсс}}$ – время распространения цифрового радиосигнала между объектами движения и стационарным устройством, сек.;

$T_{\text{пцм}}$ – время построение цифровой модели движения подвижных единиц на перегоне при использовании цифрового обмена данных через радиоканал ППБ, сек.

Анализ полученного графика зависимости скорости отклика от удалённости объекта движения производился с использованием корреляционного анализа, рассчитываемого согласно выражению (11).

$$r_{\text{откл}} = \frac{M(t_{\text{откл}} \cdot t_{\text{откл}}^{\text{P}}) - M(t_{\text{откл}}^{\text{P}}) \cdot M(t_{\text{откл}})}{\sqrt{M(t_{\text{откл}}^{\text{P}2}) - (M(t_{\text{откл}}^{\text{P}}))^2} \cdot \sqrt{M(t_{\text{откл}}^2) - (M(t_{\text{откл}}))^2}}, \quad (11)$$

где $t_{\text{откл}}^{\text{P}}$ – расчётное значение отклика системы СКЛППС, сек.;

$t_{\text{откл}}$ – фактическое значение отклика системы СКЛППС, полученное эмпирическим путём, сек.

В момент отклика системы поезд проходит без контроля местоположения и смежных объектов попутного следования. Показатель проходимого расстояния подвижным составом при отклике системы должен входить в безопасную дополнительную дистанцию в момент сближения нескольких участников перевозочного процесса. Оценка безопасности использования СКЛППС производилась по нескольким параметрам: максимального значения расстояния, проходимого поездом в момент обновления получаемой информации, и точности фиксации позиционирования поезда.

Результаты исследования

Задача по выявлению точности позиционирования подвижного состава сводится к систематизации эмпирических данных, полученных в результате эксплуатации перегона оснащённого СКЛППС. Оборудование ЦРСКЛППС расположено в непосредственной близости к оси путевого развития на участках №5, 27, 49.

Полученные данные в течение нескольких месяцев систематизированы и усреднены. Фактический контроль прохождения поезда выполнялся на участках №5,12,22,26,31,40,47,52. С целью визуализации текущих условий проводимого эксперимента случайным образом сформирована выборка усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий в размере 20 дней и реализована в форме таблиц 1,2. Ранжирование данных представлено с учётом направления движения поездов от начального участка к конечному. Текущие таблицы реализованы в усечённом формате для упрощения восприятия. Измерение местоположения объектов движения физически происходило непрерывно.

Графическое отображение результатов проводимого эксперимента зафиксировано в форме изменения величины пройденного пути относительно интервалов движения через фактическое восприятие прохождения поезда через блок - участки и сбора данных системой СКЛППС для 20 случайных дней представлено на рисунке 4.

Архитектура представленного изображения включает пояснение текущего рисунка и отражает упорядоченный набор цифр, включающий порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования. Абревиатура «факт» отражает фактическое расположение поезда относительно перегона.

Анализ результатов текущего графика указывает на минимальный разброс относительно проводимых измерений, все линии графика сливаются в одну ввиду низкой детализации. Фактическое местоположение поезда флуктуирует в нескольких местах относительно измерений СКЛППС, обуславливаемое дискретными измерениями для нескольких элементов перегона. Текущая графическая реализация недостаточно информативна для предоставления заключений по рассматриваемому исследовательскому этапу. В интересах масштабирования эффекта проводимого эксперимента реализовано центрирование полученных данных относительно фактической величины проходимых интервалов перегона.

Итоговые результаты проводимых манипуляций представлены в виде графика отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава, представленных на рисунке 5. Топология графической реализации эмпирических данных включает несколько осей построения, основные из которых характеризуют зависимость отклонения измерения местоположения от порядкового номера участка, при этом второстепенная ось отражает день проводимого опыта. В качестве центрирующего значения, от которого вычисляется флуктуирование измеряемых параметров, выступает фактическое местоположение поезда относительно перегона. Пояснение текущего рисунка отражает упорядоченный набор цифр, включающий порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования.

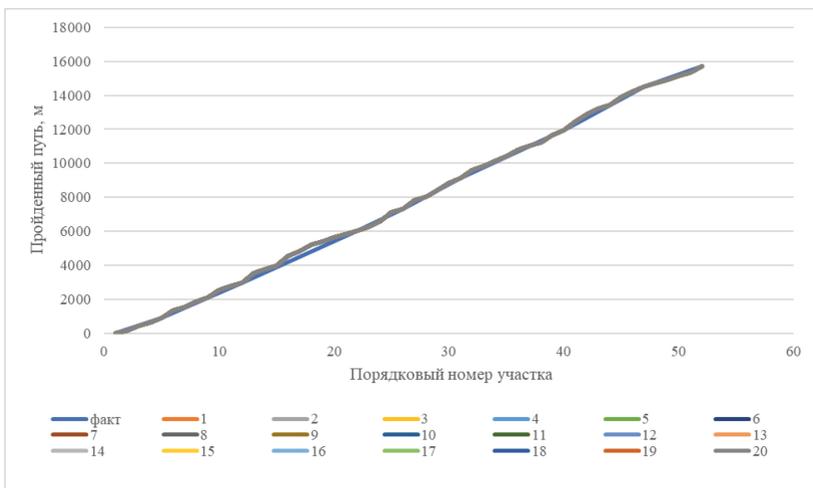


Рис. 4. График изменения величины пройденного пути относительно интервалов движения, определяемый через фактическое восприятие прохождения поезда через блок-участки и сбора данных системой СКЛППС: «1, 2, ..., 20» – порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования; «факт» – фактическое расположение поезда относительно перегона

Поверхностный анализ данных, представленных в таблицах 1, 2 указывает на незначительный разброс измеряемых параметров позиционирования через СКЛППС относительно фактического местонахождения поезда. Итоговое заключение относительно выборки данных возможно вывести при использовании корреляционного анализа согласно указанной ранее методологии.

Результаты проводимого анализа указали на очень высокое значение коэффициента корреляции в среднем составляющее 0,9999999981, а достоверность полученных данных верифицируется коэффициентом Стьюдента с численным значением 0,999881773. Корреляционный анализ выборки усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий случайных 20 дней из нескольких месяцев указывает на высокое значение точности позиционирования подвижного состава при использовании СКЛППС, подтверждаемое низким значением возможной ошибки измерения 0,0118 %. Согласно указанным данным в таблицах 1,2 достоверность определяемой поездной информации при движении по ОЛМ допускает погрешность измерения 0,00138 % относительно проходимого перегона протяжённостью 15,879 км.

Таблица 1.

Выборка усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий первых случайных 10 дней

Номер элемента пути	Начальная точка элемента пути, м	Порядковый номер дня проводимого эксперимента									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	927	927,27	928,06	928,04	927,94	926,65	927,16	927,96	926,68	927,53	926,74
12	2957	2956,33	2958,40	2956,58	2957,56	2957,02	2957,85	2957,11	2958,49	2957,33	2957,18
22	6027	6026,99	6027,09	6027,11	6026,93	6027,11	6027,04	6027,05	6027,00	6027,04	6026,93
26	7327	7327,73	7327,46	7327,73	7326,96	7327,44	7326,84	7326,87	7326,72	7327,67	7327,05
31	9127	9127,87	9127,74	9126,84	9127,83	9127,01	9127,81	9127,47	9127,08	9126,64	9127,85

40	11929	11929,40	11929,48	11929,87	11928,74	11928,74	11929,69	11929,02	11929,23	11928,88	11928,77
47	14529	14529,28	14528,99	14529,10	14528,93	14529,27	14529,47	14529,43	14528,97	14528,92	14529,41
52	15729	15729,12	15728,94	15729,11	15729,16	15729,21	15728,97	15728,92	15729,08	15729,14	15728,91

Таблица 2.

Выборка усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий вторых случайных 10 дней

Номер элемента пути	Начальная точка элемента пути, м	Порядковый номер дня проводимого эксперимента									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	927	927,69	926,73	927,43	927,06	927,75	926,78	927,67	926,66	927,30	927,64
12	2957	2956,62	2958,29	2957,89	2956,36	2956,47	2958,56	2957,36	2958,38	2956,69	2958,07
22	6027	6027,13	6027,05	6027,01	6026,98	6027,12	6026,96	6027,10	6027,01	6027,15	6027,15
26	7327	7327,64	7327,15	7326,76	7327,43	7327,54	7327,27	7327,48	7326,98	7327,53	7326,75
31	9127	9127,77	9127,38	9127,14	9126,83	9126,64	9127,49	9127,53	9126,94	9126,90	9127,13
40	11929	11929,59	11929,54	11929,25	11929,36	11930,01	11929,00	11928,55	11929,71	11928,74	11929,40
47	14529	14529,20	14529,19	14529,33	14529,09	14528,84	14529,20	14529,28	14529,48	14529,24	14529,28
52	15729	15729,12	15729,19	15729,19	15729,12	15729,12	15729,03	15728,91	15728,91	15729,10	15728,92

Анализ графика отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава для периода 20 случайных дней, указывает в большей степени на стохастический характер распределения измеряемых параметров. Прослеживается средний уровень корреляции, составляющий 0,570942467 при оценке линейной зависимости между считываемыми характеристиками и уклоном профиля пути, свидетельствующий о весомом искажении поездной информации при проследовании поездом отдельных элементов, включающих значительные показатели крутизны проходимого участка. Плотность разброса исследуемых

параметров местоположения сосредоточена в области 0,5 метра, максимальное отклонение оценки позиционирования не превышает значения 1,5. Флуктуирование данных оценки местоположения подвижного состава с большой вероятностью сосредоточена в положительной области, свидетельствующее о дополнительной корректировке измеряемых характеристик относительно уклона профиля, иначе потребуются увеличение размеров безопасной вставки при движении по ОЛМ.

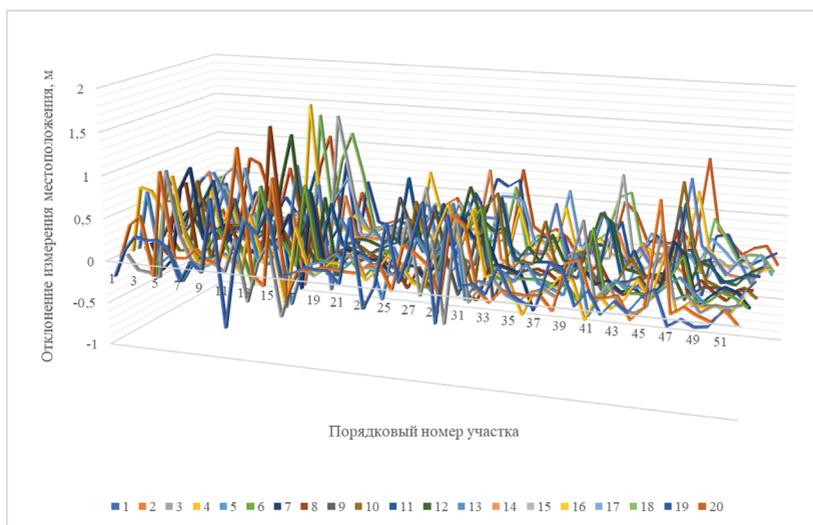


Рис. 5. График отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава для 20 случайных дней: «1,2, ..., 20» – порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования

Структурная оценка параметров отклонения фактического местоположения относительно данных, получаемых от приёмно-передающего блока СКЛППС, достигнута при использовании вычислительно-статистического анализа, представленного на рисунке 6.

Аналитическое патернизационное сопоставление графических интерпретаций разброса случайной величины с областью

концентрации относительной частоты выборки свидетельствует о наличии схожих структур с не симметричным экспоненциальным распределением. Среднеквадратическое отклонение исследуемых параметров местоположения в большей степени распределено в интервале от -3σ до 6σ .

Текущие результаты исследования по выявлению точности фиксации местоположения подвижного состава позволяют произвести подстройку оборудования СКЛППС для получения более высокой точности определения местоположения подвижного состава относительно участка движения.

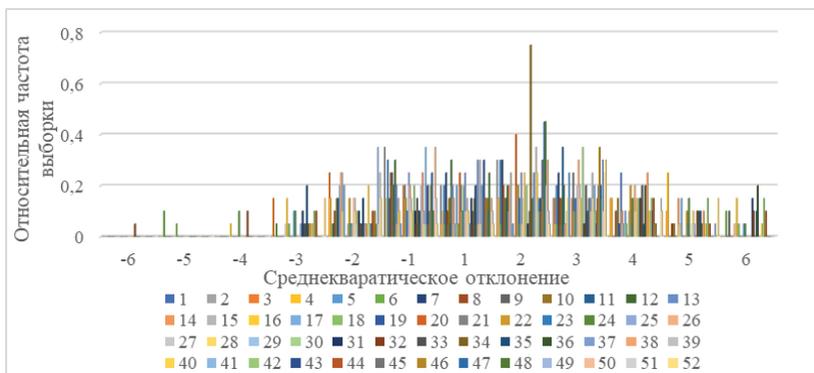


Рис. 6. Диаграммы вычислительно-статистического анализа оценки зависимости распределения параметров отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава: «1,2, ..., 52» – порядковый номер элемента перегона.

Оценка динамики изменения пропускной и провозной способности на перегоне Спиченково – Новокузнецк Сортировочный производилась с учётом расшифровки данных, используемых в графиках движения поездов. Систематизация исследовательских данных реализована в табличной форме (таблица 3).

Эмпирические данные в текущей работе ранжированы в возрастающей последовательности относительно суточного порядкового номера сбора информации. Топология таблицы 3 предусматрива-

ет использование среднего значения межпоездных интервалов за сутки для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС. Неравномерность проведения исследований для разных устройств регулирования движением обусловлена продолжительным промежутком времени, отводимым на введение в действие локационного позиционирования объектов движения.

На основании текущих параметров перегона и размеров движения представлены и рассчитаны значения пропускной способности перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный, в том числе при условии использования СКЛППС. Показатель полезного действия использования пропускной способности в текущей работе указывает на эффективность использования линии сообщения в предельно сжатых ниток графика движения без учёта отводимого времени на перебои в работе и другие технологические операции. Расчётная часть предусматривает использование значение межпоездного интервала, равного 8 минутам [10], СКЛППС согласно исследованиям, представленным в [7], позволяет снизить текущий параметр до 1,5 минут. Эксплуатационная пропускная способность оценивает полноту использования пути сообщения с учётом времени, отводимого на технологическое ограничение движения и снижение задержек в попутном направлении для 2 систем регулирования перевозочного процесса.

Управление поездом по ОЛМ позволило снизить среднее значение интервала попутного следования в условии эксплуатации СКЛППС, вызвавшее рост наличной пропускной способности. Общее время использования систем регулирования движения указывает на полную занятость линии сообщения с учётом сжатия ниток графика до предельно допустимых эксплуатационных значений. В качестве отдельной графы рассчитано суточное отклонение данных между текущей и наличной пропускной способности перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный за сутки.

В целях систематизации, упрощения аналитической деятельности и определения сторонних параметров, указанных в методе-

логии исследования текущих процессов, информация центрирована в нижней части таблицы.

Визуализация и детализация динамики флуктуирования наличной, текущей и эксплуатационной пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛПС реализована на рисунках 7, 8.

Архитектура построения графиков отражает зависимость исследуемых показателей движения за временной промежуток от величины порядкового номера дня проведения изысканий.

Таблица 3.

Мониторинг эмпирических данных пропускной способности перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в условии использования СКЛПС

Порядковый номер дня проведения исследования	Среднее значения интервала движения подвижных систем, мин.	Среднее значения интервала движения СКЛПС, мин.	Текущая пропускная способность, поездов/сут.	Наличная пропускная способность СКЛПС, поездов/сут.	Прирост пропускной способности, поездов/сут.	Показатель полезного действия АБ3, %	Показатель полезного действия СКЛПС, %	Эксплуатационная пропускная способность, %	Эксплуатационная пропускная способность СКЛПС, %	Общее время использования линии СКЛПС, мин.	Общее время использования линии АБ-3, мин.
1	20,05	13,11	62	94	32	34	10	52,5	27,8	141	496,00
2	19,99	12,20	62	101	39	34	10	52,5	28,6	151,5	496,00
3	19,77	12,42	63	99	36	34	10	53,2	28,5	148,5	504,00
4	19,91	12,22	62	101	39	34	10	52,5	28,6	151,5	496,00
5	19,83	12,39	62	100	38	34	10	52,5	28,5	150	496,00
6	20,28	13,59	61	91	30	34	9	51,8	27,4	136,5	488,00
7	20,23	14,12	61	87	26	34	9	51,8	27,0	130,5	488,00
8	19,61	12,09	63	102	39	35	11	53,2	28,8	153	504,00
...
91	19,97	11,61	62	106	44	34	11	52,5	29,1	159	496,00
92	18,52	13,16	67	94	27	37	10	56,0	28,6	141	536,00
93	19,27	12,25	64	101	37	35	10	53,9	28,9	151,5	512,00

94	20,20	12,64	61	98	37	34	10	51,8	28,1	147	488,00
95	20,21	11,18	61	110	49	34	11	51,8	29,4	165	488,00
Среднее значение	19,70	12,67	62,83	97,72	34,88	35	10	53,1	28,4	146,6	502,7

Предварительный результат оценки динамики изменения пропускной и провозной способности на текущем перегоне при движении по ОЛМ позволил снизить средние значения интервала движения при смешанном формировании отправок на линию. Наличная пропускная способность пути сообщения, оборудованного СКЛППС, относительно текущих размеров движения при действующей системе АБ-3 возросла при учёте низкого коэффициента совмещения грузовых, пассажирских и резервных отправок на 34,6%. Показатель полезного действия при сравнении устройств интервального регулирования указывает на менее эффективное использование линии, оборудованной системой кодово-локационного позиционирования, позволяющей при правильном формировании отправок и полной загрузки линии без учёта буферного времени увеличить в 10 раз общее количество пропускаемых подвижных единиц. Низкое значение межпоездного интервала позволяет сжать общее время использования пути сообщения на 70,8 %. Расчёт провозной способности исследуемого перегона для систем АБ-3 составляет 23,07 млн. т в год, а при использовании СКЛППС и текущего вида формирования отправок, описанного методологией исследовательской деятельности, при движении по ОЛМ позволяет увеличить рассмотренный показатель на 40,2 %.

Анализ графиков динамики изменения пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в течение нескольких месяцев позволил выделить стабильное функционирование СКЛППС при позиционировании подвижных объектов движения. На протяжении расчётного периода прослеживаются случайные aberrации, вызванные нормальными обыденными изменениями грузового сообщения в виду дестабильности по-

ступления заявок на перевозку. Линейное распространение централизованных значений указывает на объективную работу без существенных перебоев. Эксплуатационная пропускная способность при текущих параметрах движения указывает на ограниченную насыщенность АБ-3, увеличение объема перевозки в 2 раза позволит эксплуатировать перегон на пределе возможного и в случае нештатных ситуаций или введения технологических интервалов линия сообщения будет не способна воспринять нагрузку. СКЛППС обладает более высокими возможностями уплотнения попутного или смешанного следования. При увеличенной наличной пропускной способности на 34,6 % система кодово-локационного позиционирования способна стабильно эксплуатироваться при 3-х кратном увеличении текущих объемов перевозок.

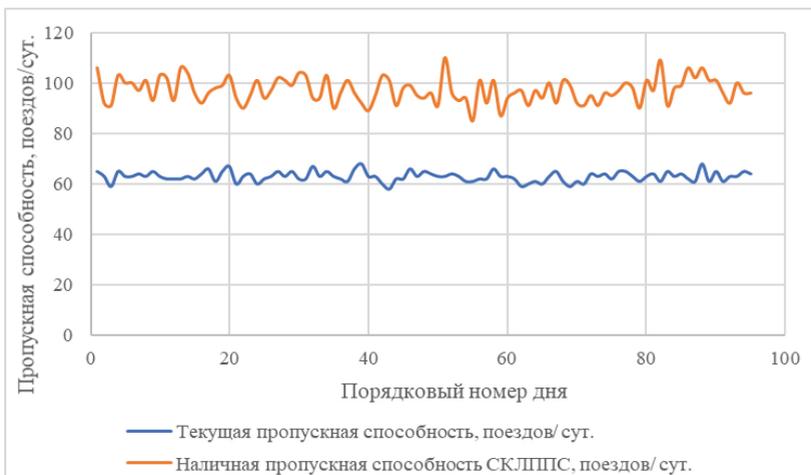


Рис. 7. График динамики флуктуирования наличной и текущей пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в течении нескольких месяцев

Оценка скорости отклика системы интервального регулирования достаточно важна в управлении подвижными единицами. В момент отсутствия информации о поездной ситуации поезд едет

вслепую, в то время, когда он должен оценивать безопасную дистанцию. В случае внезапной аварии с впереди идущим подвижным составом, последующий выполнит торможение в момент получения данных от ППБ СКЛППС. Допустимое значение времени реакции системы, полученное от статистической обработки, должно преобразовываться ОЛМ в путевой интервал отклика (ПИО), зависящий от текущей скорости движения, и входить в состав дополнительной безопасной вставки.

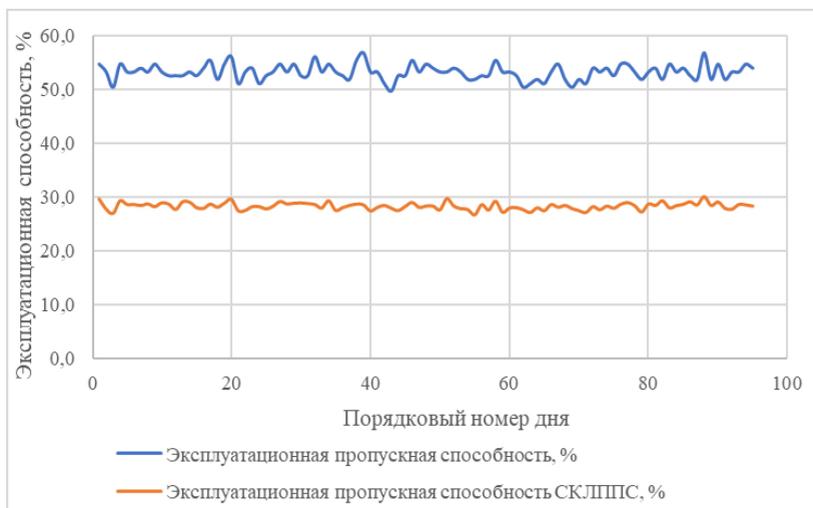


Рис. 8. График динамики флуктуирования эксплуатационной пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в течении нескольких месяцев

Результаты эмпирического исследования скорости отклика СКЛППС и величины ПИО представлены в таблице 4. Архитектура реализации табличных данных включает основные временные и статистические параметры для определения общего расчётного времени отклика системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава. Средняя скорость подвижного состава по перегону указана на основании глубокого анализа графиков

движения с выделением усреднённых значений в общий список согласно порядковому номеру проходимого интервала. Время на приём и передачу данных между ОЛМ и ППБ рассчитано с учётом трёх кратного расстояния между подвижным составом и стационарными устройствами приёмно-передающего назначения СКЛППС. Протяжённость обработки данных рассчитывалась на основании производительности, рабочих характеристик используемых блоков и количества производимых операций с учётом алгоритма работы. Интервал отклика при средней скорости отражает проходимое расстояние поезда в момент задержки получения данных и их расшифровки. С целью укрупнения значений, представленных параметров в таблице 4, для них рассчитаны среднее и максимальное значения. В структурном исполнении табличных данных выделены среди общего списка путевых интервалов перегона номера 8, 25 и 44, ввиду их непосредственной близости к объектам ППБ СКЛППС.

Развёрнутая графическая реализация результатов анализа сопоставления значений общего, относительно среднего фактического времени отклика СКЛППС и отклонения расчётного ПИО от эмпирического путевого интервала для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный представлена на рисунках 9, 10. Текущие графики позволяют структурно оценить параметры аберрирования расчётных и опытных данных, полученных при расшифровке баз данных ППБ и ОЛМ. Результаты анализа текущих графических интерпретаций результатов исследования позволят оценить степень разброса и стабильности получения информации, указывая на величину дополнительного безопасного интервала, снижающего вероятность образования коллизии.

Предварительная оценка результатов исследования указала на достаточный вид исполнения фактических параметров относительно расчётных, послужившая причиной дополнительного анализа особенностей разброса эмпирических показателей. Характер флуктуирования данных, участвующих в текущем эксперименте, обработан

согласно представленной ранее методологии и систематизирован в виде диаграммы на рисунке 11. Указанная графическая реализация представляет значение относительной частоты аберрирования временных параметров отклика СКЛППС расчётных и фактических значений от среднеквадратического их отклонения. Упорядоченная последовательность значений от 1 до 52 отражает порядковый номер элемента перегона. Анализ текущей диаграммы предусматривает использование графического сопоставления с идеализированными паттернами распределения случайных величин при эксплуатации железнодорожного подвижного состава указанных в [11].

Таблица 4.

Результат эмпирического исследования скорости отклика системы СКЛППС, участвующей в регулировании движения перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный

Порядковый номер интервала движения	Средняя скорость движения, км/ч	Расстояние до ПШБ, м	Время на приём и передачу данных, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётная время обработки данных ПШБ, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётная время обработки данных ОЛМ, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётная время обработки данных БПР, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Общее время отклика СКЛППС, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётный интервал отклика при средней скорости, м	Среднее эмпирическое время отклика СКЛППС, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Эмпирический интервал отклика при средней скорости, м
1	15,1	2007	20,07	37,4	24,9	29,3	111,67	0,47	120,06	0,50
2	37,2	1880	18,80	37,4	24,9	29,3	110,40	1,14	115,3	1,19
3	44,6	1580	15,80	37,4	24,9	29,3	107,40	1,33	111,29	1,38
...
8	74,1	120	1,20	37,4	24,9	29,3	92,80	1,91	101,53	2,09
...
25	71,6	100	1,00	37,4	24,9	29,3	92,60	1,84	107,32	2,13
...
44	51,2	250	2,50	37,4	24,9	29,3	94,10	1,34	105,69	1,50
...
51	31,6	2050	20,50	37,4	24,9	29,3	112,10	0,98	115,7	1,02
52	29,4	2200	22,00	37,4	24,9	29,3	113,60	0,93	115,72	0,95
Среднее значение	64,70	1537,98	15,38	37,4	24,9	29,3	106,98	1,93	115,44	2,09
Максимальное значение	78,40	3272,0	32,7	37,4	24,9	29,3	124,3	2,69	133,21	2,84

Анализ текущих результатов эмпирического исследования скорости отклика системы СКЛППС, участвующей в регулировании движения перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный, указывает на достаточный вид исполнения фактических параметров относительно расчётных. Среднее время отклика СКЛППС для текущего пути сообщения не превышает расхождения между общим значением на 20,57 мсек. Коэффициент корреляции заявленных характеристик составляет 0,7562, указывающий на высокую степень линейной зависимости исследуемых показателей. Отклонение значений путевого интервала отклика ввиду незначительного расхождения времени задержки информационного потока минимальны и не превышают величины 0,44 м. Взаимосвязь текущих исследуемых параметров работы СКЛППС на участке движения Спиченково – Новокузнецк Сортировочный более высока и составляет 0,9782, указывая на близкое к идентичному значению степени линейной зависимости фактического ПИО. Несмотря на низкий разброс данных ввиду безопасности движения и исключения коллизионных ситуаций, требуется учитывать результаты исследования в формировании величины безопасной межпоездной вставки (БМВ).

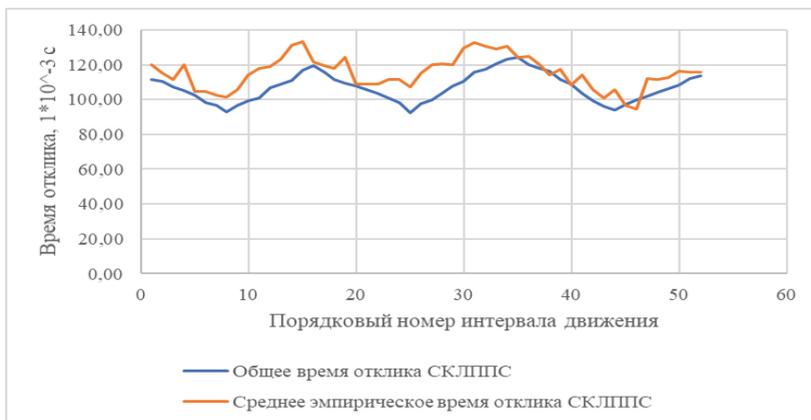


Рис. 9. График динамики флуктуирования общего относительно среднего эмпирического времени отклика СКЛППС для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный



Рис. 10. График отклонения расчётного ПИО от эмпирического путевого интервала перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный

Представленные графики отклонения фактических значений от расчётных параметров времени отклика системы СКЛППС для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный указывают на стабильный информационный обмен и отсутствие появления ложных данных в течении нескольких месяцев.

В структурном исполнении графических показателей наблюдаются незначительные флуктуации ввиду повседневной работы системы кодово-локационного позиционирования, нормальное функционирования электронных компонентов предусматривает несущественные aberrации выходных данных. В общей структуре прослеживается идентичная форма реализации фактической информации относительно кривой с расчётными данными, свидетельствующая о корректном выполнении алгоритмов работы ППБ и ОЛМ.

Отклонение эмпирических данных в формировании ПИО для БМВ для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный не превышает значения 16,54% от наиболее протяжённого расчётного интервала отклика.

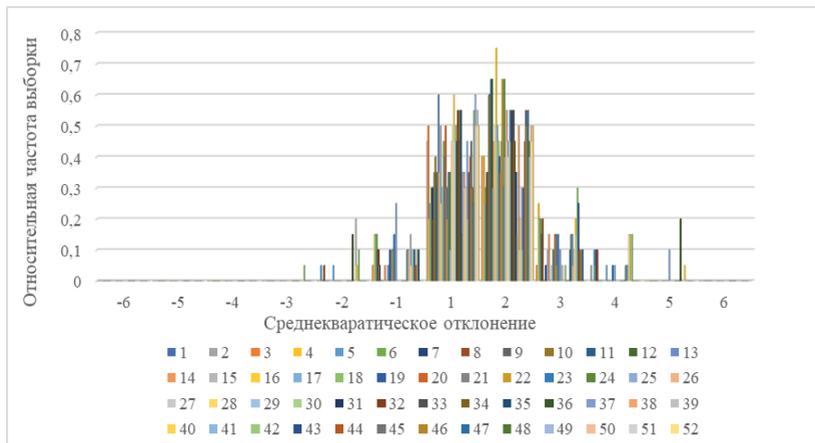


Рис. 11. Диаграммы вычислительно-статистического анализа оценки зависимости распределения параметров отклонения фактического относительно расчётного времени отклика СКЛППС в течении нескольких месяцев: «1,2, ..., 52» – порядковый номер элемента перегона.

Вычислительно-статистическая оценка закономерности разброса параметров фактического времени отклика СКЛППС относительно расчётного за период проведения изысканий в 95 дней на перегоне Спиченково – Новокузнецк Сортировочный указывает на стандартный характер распределения Гаусса для исследовательских значений. Текущая диаграмма не симметрична и имеет сдвиг в положительную область, свидетельствующая о более вероятном увеличении временных показателей и как следствие возрастание БМВ, чем их снижение. Смещение разброса данных в среднем составляет $+1\sigma$. Наиболее вероятное отклонение времени отклика системы от расчётного значения сосредоточено в области $0 - 2\sigma$, менее вероятный разброс наблюдается за границами области $-3\sigma - 6\sigma$. Исходя из результатов текущего исследования, значение БМВ для обеспечения безопасного допустимого интервала движения поездов при следовании по ОЛМ должно включить ПИО, скорректированный на значение 6σ для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный.

Заключение

Представленная публикация включает успешное решение всех заявленных задач.

В основной исследовательской части произведена комплексная оценка интегрирования системы кодово-локационного позиционирования в восточное направление Западно-Сибирской железной дороги.

Результатом производимых изысканий представляется комплексная оценка эффективности внедрения СКЛППС, включающая данные по снижению значения межпоездного интервала с учётом безопасных условий эксплуатации. Оценка вычислительной способности местоположения локационным методом допускает незначительные отклонения от идеальных условий не более 1,5 м для участка протяжённостью 16 км. Характер флуктуирования данных распределён согласно экспоненциальному закону в положительную область. Появление искажений в фиксации местоположения подвижного состава сосредоточена при движении на спуск по уклону. Пропускная способность действующей системы интервального регулирования на перегоне участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта значительно ограничена и не способна воспринять двукратного увеличения размеров движения. Переход на полноценное движение по ОЛМ с учётом максимально допустимого сокращения межпоездного расстояния, включающего использование тормозного интервала, беспрепятственно позволяет увеличивать объёмы перевозок в 3 и более раза без нарушения безопасности движения.

Использование СКЛППС при ограниченных возможностях и движении по ОЛМ на отдельном перегоне участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта позволило увеличить пропускную способность на 34,6%, а провозную на 40,2%.

В процессе проведения изысканий СКЛППС показала с наилучшей стороны, отражая достаточно стабильное и безопасное управление подвижным составом, в процессе эксплуатации пере-

гона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный. Время отклика системы кодово-локационного позиционирования не статично и характер разброса значений подчинён нормальному распределению Гаусса, смещённого в положительную область. Наиболее вероятные значения отклонения задержки получения информации колеблются в диапазоне от 0 до 2σ . Путевой интервал отклика СКЛППС ввиду незначительной нестабильности времени обработки информации для обеспечения безопасности движения должен быть смещён на 16,54% для текущего перегона. Скорость информационного обмена между ОЛМ и ППБ достаточно стабильна для дальнейшей эксплуатации.

В целях повышения эффективности и безопасности эксплуатации перегонов, оборудованных СКЛППС, должны учитываться результаты изысканий, представленных в текущей работе.

Список литературы

1. Васильева Ю. В. Комплексное развитие участка Междуреченск-Тайшет / Ю. В. Васильева // Молодежная наука: Труды XXV Международной научно-практической конференции, Красноярск, 22–24 апреля 2021 года. Том 2. Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения, 2021. С. 36-40.
2. Куренков П. В. Мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона и участка Междуреченск - Тайшет / П. В. Куренков, О. Н. Мадяр, А. В. Астафьев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. № 7. С. 11-15. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-07-2>
3. Транссибу дали Южный ход // Новости Кузбасс. URL: <https://vesti42.ru/news/v-gornolyzhnom-sezone-2022-2023-sheregesh-posetili-bolee-dvuh-millionov-turistov/?ysclid=lssxq67yuz353608136/> (дата обращения: 20.09.2024).

4. Изыскание ключевых аспектов внедрения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава / О. В. Шугаев, О. Д. Покровская, В. В. Почетуха, Д. А. Шурыгин // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 140-146.
5. Определение надёжности работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава / О. В. Шугаев, О. Д. Покровская, В. В. Почетуха, Д. А. Шурыгин // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 121-127.
6. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королук, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1985. 640 с.
7. Шугаев О. В. Определение закономерности распределения отклонений величины установленного темпа движения поездов на участке пути с автоматической системой интервального регулирования при воздействии окружающей среды и характера ведения поезда // Известия Транссиба. 2023. № 3 (55). С. 54-66.
8. Браништов С. А. Методы оценки пропускной способности железных дорог Часть 1. Аналитические методы оценки и анализа использования / С. А. Браништов, А. М. Ширванян, Д. А. Тумченко // Информационно-управляющие системы. 2014. № 5(72). С. 51-57.
9. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой: Ч. II. График движения поездов и пропускная способность: Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2002. 171 с.
10. Кондратьева Л. А., Ромашкова О. Н. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2003. 432 с.
11. Шугаев О. В. Систематизация методов экстраполирования случайных флуктуаций в процессах регулирования движения / О. В. Шугаев, В. А. Гришунин // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 18 мая 2023 года. Выпуск 7 (255). Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. С. 162-171.

12. Балдин К.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков. М.: Дашков и К, 2016. 472 с.
13. Изыскание ключевых аспектов внедрения системы кодоволакационного позиционирования подвижного состава / О. В. Шугаев, О. Д. Покровская, В. В. Почетуха, Д. А. Шурьгин // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 140-146.
14. Shugaev O. V., Knyazkina O. V., Fomin E. V. The effect of external factors on the deviation of train velocity from the expected value // AIP Conf. Proc. 2023. Vol. 2624, 030015. <https://doi.org/10.1063/5.0132809>
15. Покровская О. Д. Совершенствование систем управления перевозочным процессом на полигоне Северной железной дороги / О. Д. Покровская, Е. С. Роднева // Техник транспорта: образование и практика. 2021. Т. 2, № 1. С. 87-96. <https://doi.org/10.46684/10.46684/2687-1033.2021.1.87-96>

References

1. Vasilieva, Yu. V. Integrated development of the Mezhdurechensk-Taishet section / Yu. V. Vasilieva. *Youth Science: Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April 22-24, 2021*. Volume 2. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, 2021, pp. 36-40.
2. Kurenkov P. V. Measures for the development of the railway infrastructure of the Eastern polygon and the section Mezhdurechensk - Taishet / P. V. Kurenkov, O. N. Madyar, A. V. Astafiev. *Transport: Science, Technology, Management. Scientific information collection*, 2022, no. 7, pp. 11-15. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-07-2>
3. Transsib was given the Southern way. *News Kuzbass*. URL: <https://vesti42.ru/news/v-gornolyzhnom-sezone-2022-2023-sheregesh-positili-boleev-dvuh-millionov-turistov/?ysclid=lssxq67yyz353608136/>
4. Search of the key aspects of the rolling stock coded positioning system implementation / O. V. Shugaev, O. D. Pokrovskaya, V. V. Pochetukha, D. A. Shurygin. *Transport business of Russia*, 2024, no. 4, pp. 140-146.

5. Determination of reliability of the rolling stock code-location positioning system operation / O. V. Shugaev, O. D. Pokrovskaya, V. V. Pochetukha, D. A. Shurygin. *Transport business of Russia*, 2024, no. 4, pp. 121-127.
6. Reference book on probability theory and mathematical statistics / V.S. Korolyuk, N.I. Portenko, A.V. Skorokhod, A.F. Turbin. M.: Nauka, 1985, 640 p.
7. Shugaev O.V. Determination of the regularity of the deviation distribution of the set train speed value deviation on the track section with the automatic system of the interval regulation under the influence of the environment and the train running character. *Izvestiya Transsib*, 2023, no. 3 (55), pp. 54-66.
8. Branishtov S. A. Methods of estimating the capacity of railroads Part 1. Analytical methods of estimation and utilization analysis / S. A. Branishtov, A. M. Shirvanyan, D. A. Tumchenok. *Information and Control Systems*, 2014, no. 5(72), pp. 51-57.
9. Abramov A.A. *Operational work management: Part II. Train schedule and throughput capacity*: Textbook. M.: RGOTUPS, 2002, 171 p.
10. Kondratyeva L. A., Romashkova O. N. *Systems of traffic regulation on railroads. N. Systems of traffic regulation on the railway transport*: Textbook for technical schools and colleges of railway transport. Moscow: Marshrut, 2003, 432 p.
11. Shugaev O. V. Systematization of methods for extrapolation of random fluctuations in the processes of traffic control / O. V. Shugaev, V. A. Grishunin. *Transport: logistics, construction, operation, management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ekaterinburg, May 18, 2023*. Issue 7 (255). Yekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 2023, pp. 162-171.
12. Baldin, K.V. *Probability theory and mathematical statistics*: Textbook / K.V. Baldin, V.N. Bashlykov. Moscow: Dashkov and K, 2016, 472 p.
13. Prospecting of the key aspects of implementing the system of code-based positioning of rolling stock / O. V. Shugaev, O. D. Pokrovskaya, V. V. Pochetukha, D. A. Shurygin. *Transportnoe delo Rossii*, 2024, no. 4, pp. 140-146.

14. Shugaev O. V., Knyazkina O. V., Fomin E. V. The effect of external factors on the deviation of train velocity from the expected value. *AIP Conf. Proc.*, 2023, vol. 2624, 030015. <https://doi.org/10.1063/5.0132809>
15. Pokrovskaya O. D. Improvement of transportation process management systems on the Northern Railway polygon / O. D. Pokrovskaya, E. S. Rodneva. *Transport Technician: Education and Practice*, 2021, vol. 2, no. 1, pp. 87-96. <https://doi.org/10.46684/10.46684/2687-1033.2021.1.87-96>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шугаев Олег Владимирович, старший преподаватель кафедры «Транспорт и логистика»
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация
o_shugaev@mail.ru

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа»
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)
пр. Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация
insight1986@inbox.ru

Почетуха Василий Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт и логистика»
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация

Лемихов Сергей Викторович, заместитель начальника

Новокузнецкий центр организации работы железнодорожных станций, Западно-Сибирская дирекция управления движением – филиал ОАО «РЖД»

пр. Курако, 19, г. Новокузнецк, 654079, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Shugaev, Senior Lecturer of the Department of Transport and Logistics

Siberian State Industrial University

42, Kirov Str., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

o_shugaev@mail.ru

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Operational Work Management, Professor of the Department of Logistics and Commercial Work

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation

insight1986@inbox.ru

Vasily V. Pochetukha, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Siberian State Industrial University

42, Kirov Str., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Sergey V. Lemikhov, Acting Head

Novokuznetsk Center for the Organization of Work of Railway

Stations, West Siberian Directorate of Traffic Management

Central Directorate of Traffic Management – branch of JSC

«Russian Railways»

19, Kurako Ave., Novokuznetsk, 654079, Russian Federation

Поступила 14.09.2024

После рецензирования 10.10.2024

Принята 15.10.2024

Received 14.09.2024

Revised 10.10.2024

Accepted 15.10.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-320

УДК 629.4:656.222.2



Научная статья | Логистические транспортные системы

ЛОГИСТИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ

О.Д. Покровская, О.В. Шугаев

Состояние вопроса. Статья посвящена исследованию организации тяжеловесного движения. Актуальность темы связана с неуклонным повышением средней массы грузовых поездов, обращающихся на грузонапряженных направлениях железных дорог России и соответствующей необходимостью комплексной оценки потенциала тяжеловесного движения.

Цель: охарактеризовать проблемные вопросы логистики тяжеловесного движения в условиях Российской Федерации, обусловленные смешанным движением, разным ландшафтом и климатом нашей страны, а также переориентацией грузопотоков на восток.

Методы. Использовались методы сравнительного анализа, логистики, нормирования эксплуатационной работы железных дорог, визуализация.

Результаты. Выполнен аналитический обзор проблемного поля организации тяжеловесного движения с позиций логистики. Выявлены особенности логистики, сформулированы актуальные треки развития и вызовы, возникающие при организации тяжеловесного движения. Предложен интегральный показатель – Индекс потенциала развития тяжеловесного движения для комплексной оценки эффективности организации как отдельного маршрута, так и связанных мультипликативных эффектов.

Заключение. Показано, что применение показателя обеспечит научно обоснованное решение задачи наращивания пропускной способности железных дорог при ответах на обозначенные в исследовании проблемные вопросы тяжеловесного движения.

Ключевые слова: *тяжеловесное движение; железнодорожный транспорт; логистика; потенциал развития; эффективность; ОАО «РЖД»*

Для цитирования. *Покровская О.Д., Шугаев О.В. Логистика и эффективность тяжеловесного движения // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 3. С. 174-187. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-320*

Original article | Logistic Transport Systems

LOGISTICS AND EFFICIENCY OF HEAVY TRAFFIC

O.D. Pokrovskaya, O.V. Shugaev

Background. *The article is devoted to the study of the organization of the heavyweight movement. The relevance of the topic is related to the steady increase in the average weight of freight trains operating on heavily loaded routes of Russian railways and the corresponding need for a comprehensive assessment of the potential of heavy traffic.*

Purpose: *to characterize the problematic issues of logistics of heavy traffic in the conditions of the Russian Federation, caused by mixed traffic, different landscape and climate of our country, as well as the reorientation of cargo flows to the east, are considered.*

Methods. *Methods of comparative analysis, logistics, norming of operational work of railroads, visualization were used.*

Results. *An analytical review of the problematic field of the organization of heavy traffic from the standpoint of logistics has been performed. The peculiarities of logistics are revealed, relevant development tracks and challenges arising in the organization of heavy traffic are formulated. An integral indicator is proposed – the Index of the development potential of heavy traffic for a comprehensive assessment of the effectiveness of organizing both a separate route and related multiplicative effects.*

Conclusion. *It is shown that the use of the indicator will provide a scientifically sound solution to the problem of increasing the capacity of railways in answering the problematic issues of heavy traffic identified in the study.*

Keywords: *heavy traffic; railway transport; logistics; development potential; efficiency; Russian Railways*

For citation. *Pokrovskaya O.D., Shugaev O.V. Logistics and Efficiency of Heavy Traffic. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 174-187. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-320*

Для железнодорожного транспорта в настоящее время на фронтире актуальности находятся технологические способы наращивания провозной способности, не требующие расширения инфраструктуры, но обеспечивающие необходимый объем перевозок. Ведущим можно считать технологический тренд по наилучшему использованию инфраструктуры, который связан с увеличением веса поезда. ОАО «РЖД» реализует технологии пропуска поездов повышенной массы в масштабе всей сети.

Значение среднего веса грузового поезда, обращающегося по сети железных дорог, является важнейшим индикатором эксплуатационной работы и производительной мощности. Вес грузового поезда показывает не только уровень транспортного обслуживания участников процесса перевозки, но также и технико-технологическое состояние железнодорожного транспорта страны [1-5].

Согласно известному подходу УИС, «тяжеловесное грузовое движение – это технологический процесс организации движения грузовых поездов с массой состава 6 300 т и более, включающих в состав вагоны с нагрузкой на ось 23,5; 25,0 тс и более» [6].

Повышение массы грузовых поездов – один из необходимых и достаточных драйверов увеличения к 2025 году объема погрузки по сети ОАО «РЖД» не менее, чем на 40 % при высоком заполнении пропускной способности, а также 4-х кратного увеличения объема контейнерных транзитных перевозок ускоренными поездами [7].

В свою очередь, понятие «тяговый бизнес-ресурс», предложенное в [8], представляет собой оптимальное использование таких компонентов, как: тяговый подвижной состав, локомотивные бригады и др. Все указанные элементы в синергии друг с другом формируют добавленную ценность транспортно-логистическим сервисам ОАО «РЖД».

В данном исследовании предлагается применение интегрального показателя – Индекса потенциала развития тяжеловесного движения – I тд. Понимание величины I тд позволяет комплексно оценить эффективность организации как отдельного маршрута, так и связанные мультипликативные эффекты, что обеспечит научно обоснованное решение задачи наращивания пропускной способности железных дорог – в развитие, например, исследований С.В. Рачек [8] и А.С. Колышева А. С. [9].

Структура предлагаемого показателя дана на рис. 1:



Рис. 1. Структура Индекса потенциала развития тяжеловесного движения

Рассмотрим каждый сектор.

Первый сектор - «Структура рынка» включает две составляющие, одна из которых (горизонтальная) влияет на величину логистических издержек перевозчика при организации тяжеловесного движения:

1) структура, размещение и вид грузовой и клиентской базы, тяготеющей к тяжеловесному движению; а другая (вертикальная) определяется ключевыми показателями эффективности использования тягового бизнес-ресурса;

2) транзитный потенциал транспортных коридоров и логистической инфраструктуры, на основе мощностей которых реализуется тяжеловесное движение, включая оценку технико-экономической эффективности назначения маршрутов, ниток графика и иных технологических особенностей его организации.

Второй сектор – «Готовность инфраструктуры», состоящий из двух компонентов:

1) готовность транспортной инфраструктуры (включая соответствие требованиям к организации тяжеловесного движения пути, контактной сети, особенностей станций и магистральных линий);

2) экономическая обоснованность проектов тяжеловесного движения в конкретных условиях для обеспечения товарообмена и связности территорий страны в аспекте мультимодальной эффективности и аккумуляции эффектов в валовом региональном продукте.

Горизонтальный компонент напрямую влияет на величину эксплуатационных издержек перевозчика при организации тяжеловесного движения, а вертикальный – на ключевые показатели эффективности использования тягового бизнес-ресурса.

Третий сектор – «Экономическое, логистическое и технологическое обеспечение» - представляет собой:

1) прикладной методический и цифровой инструментарий для принятия наилучших управленческих решений (по горизонтали), что влияет на величину логистических издержек;

2) уровень готовности указанного инструментария для стабильной и надежной организации тяжеловесного движения (по вертикали), что определяется наличием логистических мощностей, соответствующих потребности в тяжеловесном движении и в пропускной способности.

Четвертый сектор – «Инновационный потенциал» представлен составляющими:

1) «инновационность» используемого (тягового и нетягового) подвижного состава при организации тяжеловесного движения (по горизонтали), что определяет величину эксплуатационных затрат перевозчика и, следовательно, тариф на перевозку;

2) инновационная зрелость транспортно-логистических услуг для потребителей страны и региона (по вертикали), что напрямую определяется имеющимися инфраструктурными мощностями, на базе которых формируется добавленная ценность.

Рассмотрим особенности отечественной логистики при организации тяжеловесного движения:

1. Существенно разобшенная и взаимоудаленная дислокация точек грузообразования (районов добычи полезных ископаемых) и точек потребления/погрузки. Отметим при этом, что в нашей стране протяженность железнодорожных линий составляет десятки тысяч километров, для тяжеловесного движения в других странах это порядка двухсот - тысячи километров. Ситуация усложняется тем, что после выгрузки порожние вагоны возвращаются на места погрузки в смешанных составах, это требует их дополнительной переработки на сортировочных станциях. Необходимы оперативные меры по подборке на путях общего пользования каждые сутки не менее 12 составов, сформированных из инновационных вагонов.

2. При организации движения на ОАО «РЖД» присутствует смешанный характер, что влечет за собой определенные сложности в одновременном пропуске и грузовых, и пассажирских, и тяжеловесных поездов, тогда как в других странах мира функционируют

выделенные, специализированные линии. Ситуация усложняется тем, что параметры и конструктивные особенности транспортной инфраструктуры (искусственные сооружения, земляного полотна, путь, тяговые подстанции) зачастую не рассчитаны на вес, длину и скорость составов, курсирующих в тяжеловесном движении.

3. Различный климат и ландшафт РФ затрудняет организацию тяжеловесного движения по всей протяженности маршрутов транспортных коридоров страны.

4. Существующие план и профиль пути запроектированы по нормам 20 века, что не в полной мере отвечает актуальным скоростным и весовым требованиям и не позволяет преимущественно формировать составы унифицированного веса.

5. Традиционное решение вопроса увеличения среднего веса поезда увеличением не осевой нагрузки, как за рубежом (например, для сравнения: в России осевая нагрузка составляет не более 23,5 тс/ось, а в Австралии осевая нагрузка составляет не менее 40 тс/ось и др.) [1].

В течение двадцати последних лет средний вес поезда неуклонно растет, демонстрируя рост более, чем на 32 % (сегодняшний средний вес грузового поезда составляет не менее 4,076 тыс. тонн, а по некоторым направлениям – до 9 тыс. тонн). Однако, имеется ряд трудностей при организации тяжеловесного движения:

1) лимитированы способы дальнейшего повышения веса поезда увеличением его длины на станционных путях;

2) имеются инфраструктурные ограничения по несущей способности существующего земляного полотна и искусственных сооружений;

3) нормы по строительству и ремонту пути в полной мере не актуализированы и не адаптированы для тяжеловесного движения;

4) следует обеспечить соответствующий тяжеловесному движению уровень энергообеспеченности;

5) наличие лимитирующих направлений на сети железных дорог, обусловленное «запаздывающим» развитием железнодо-

рожной транспортной инфраструктуры от динамично наращиваемых логистических мощностей портовых грузовых терминалов, которые минимум на 30 % превышают имеющуюся пропускную способность [5].

Вызовы и первоочередные вопросы, возникающие для современной логистики тяжеловесного движения в отечественных условиях:

- Подготовка высококвалифицированных кадров;
- Подготовка железнодорожной инфраструктуры;
- Подготовка парка тягового подвижного состава для вождения поездов 7 100 – 8 000 тонн веса;
- Модернизация тяговых подстанций.

Ответ на указанные вызовы позволит найти реализация следующих мероприятий:

- Борьба с деформациями земляного полотна и насыпи.
- Организация эффективного водоотведения.
- Меры по нивелированию, устранению, исключению деформаций пути и его основания при одновременном усиленном техническом обслуживании на участках тяжеловесного движения.
- Активизация курсирования вагонов повышенной грузоподъемности и увеличенного объема кузова на наиболее грузонапряженных направлениях до 55 %, включая вагоны шестого поколения с нагрузкой 27 тс на ось, что позволит формировать поезда в 13 тыс. тонн и водить и обеспечит скорость движения не менее 120 км/ч.
- Организация сквозного движения в зоне нескольких железных дорог для наилучшего распределения локомотивной тяги.
- Оптимизация числа пунктов технического осмотра вагонов, вагонных депо, а также оптимизация числа переработок на технических станциях.
- Обеспечение высокого уровня маршрутизации и движения по расписанию.

- Сквозное бесшовное взаимодействие всех участников процесса перевозок в тяжеловесном движении.
- Развитие сети специализированных грузовых терминалов для работы с инновационными вагонами.

Сформулируем проблематику развития тяжеловесного движения:

В частности, первый вопрос, требующий ответа: «*Как будет функционировать транспортная инфраструктура при повышенных нагрузках и массовой эксплуатации вагонов с нагрузкой 27 тс*»? Постановку этого вопроса обуславливает следующее:

- Возраст большинства искусственных сооружений, работающих на сети ОАО «РЖД», не менее века.
- Мощности тяговых подстанций не в полной мере обеспечивают энергией тяжеловесное движение.
- Более 20 тыс. километров пути при сегодняшних нормах пропуска просрочены различными типами ремонтов

Второй вопрос: «*Как организовать ремонт инновационных тяжеловесных вагонов?*» Предпосылкой для данной формулировки является тот факт, что вагоны 25 тс сутками простаивают в ожидании запасных частей для ремонта.

Третий вопрос связан с тем, *каким образом реализовать масштабное курсирование тяжеловесных поездов по всей сети ОАО «РЖД» с учетом существующей загрузки и состояния полигонов?* Известно, что грузовая база для вагона с осевой нагрузкой 27 тс – это преимущественно сыпучие грузы: уголь, щебень, руда и др., при этом для «легковесных» грузов полигоны еще более ограничены.

Драйверы развития тяжеловесного движения следующие:

1) Повышение осевой нагрузки. Один из главных факторов развития. Сегодня средняя нагрузка на ось в РФ составляет порядка 21 тс, при максимуме в 23,5 тс по сети. Значение не высокое, однако, именно в России совмещается пассажирское и грузовое движение, что требует улучшения работы всех существующих железнодорожных линий со смешанным движением. Велением времени становится разделение грузового и пассажирского движения.

2) Использование сочлененных поездов. В состав сочлененного поезда входят исключительно вагоны сочлененного типа, установленные на три 2-х-осные тележки, что позволяет увеличить погонную нагрузку и объем перевозимого груза до 40% при стандартной длине состава.

3) Надзор за состоянием верхнего строения пути, особенно – контроль состояния рельсов в зонах сварных стыков.

4) Цифровизация организации тяжеловесного движения по сети ОАО «РЖД». В частности:

- Цифровая автоматическая сцепка вагонов без участия человека для ускорения формирования составов.
- Отказ от светофоров и переход на цифровое интервальное регулирование движения [6; 7].

По результатам проведенного исследования вопросов логистики и оценки эффективности тяжеловесного движения сделаны следующие **выводы**:

- Следует системно реализовать на всей сети ОАО «РЖД» модернизацию энергетического и станционного хозяйства, а также обновление тягового подвижного состава.
- Особое внимание следует уделить вопросам индикации потенциала развития тяжеловесного движения и выработке научно обоснованных решений по масштабированию данной технологии по всей сети железных дорог, с детальной проработкой компонентного состава и наилучших методов оценки эффективности тяжеловесных маршрутов.
- Необходимо оптимизировать управление весовыми нормами поездов при обеспечении высокой ритмичности и однородности перевозок для полномасштабной реализации тяжеловесного движения.
- Выбор рациональных параметров маршрутов следования и поездов для тяжеловесного движения надлежит осуществлять на основе технико-экономического анализа.

- Актуализировать нормы и правила эксплуатации подвижного состава, также пути и инфраструктуры.
- Необходимо оценить скорость деградации элементов инфраструктуры и воздействия на окружающую среду тяжеловесного движения.
- В части цифровизации тяжеловесного движения надлежит сформировать единое цифровое транспортное пространство с логистическими сервисами для сопровождения тяжеловесного движения.

В заключение следует отметить, что в логистическом аспекте будущая железная дорога с тяжеловесным движением – это бережливое производство с цифровым управлением, которое полностью интегрировано с системой поставок массовых грузов, при этом поезда следуют по предварительно запланированным ниткам графика по мере потребности в доставке грузов.

Список литературы

1. Шенфельд К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. 2011. № 3. С. 64–67.
2. Захаров С.М., Шенфельд К.П. Развитие тяжеловесного движения в мире // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 4. С. 9-18.
3. Шарапов С.Н., Исаенко Э.П. Рекомендации по усилению пути на линиях с тяжеловесным движением // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 7. С. 2-7.
4. Mylnikov M., Skutin A. The Influence of Ballast Characteristics on Lateral Stability of Railway Track / Petriaev A., Konon A. (eds) // Transportation Soil Engineering in Cold Regions. Vol. 1. Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 49. Springer, Singapore. 2020. P. 173-182. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0450-1_18
5. Скутина О. Л. Особенности эксплуатации железнодорожного пути на участках тяжеловесного движения поездов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 4 (68). С. 76–85. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).76-85](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).76-85)

6. UIC – International union of railways: официальный сайт Международного союза железных дорог. URL: <https://uic.org/>
7. Повышение веса поездов является единственным способом увеличить погрузку в РФ – эксперт // Финмаркет. 2019. URL: <https://www.finmarket.ru/news/4953187>
8. Тяжеловесное движение: экономическая оценка тягового бизнес-ресурса: монография / С. В. Рачек, А. С. Колышев, Е. В. Кольшева. Екатеринбург: УрГУПС, 2020. 133 с.
9. Колышев А. С. Экономическая оценка работы тягового ресурса в условиях тяжеловесного движения: дис. канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2019. 182 с.

References

1. Shenfeld K. P. About the quality indicators of the transportation process organization. *Railway Transport*, 2011, no. 3, pp. 64-67.
2. Zakharov S.M., Shenfeld K.P. Development of heavy-weight traffic in the world. *Russian Railway Science Journal*, 2013, no. 4, pp. 9-18.
3. Sharapov S.N., Isaenko E.P. Recommendations on the track reinforcement on the lines with the heavy-weight traffic. *Railroad and track facilities*, 2016, no. 7, pp. 2-7.
4. Mylnikov M., Skutin A. The Influence of Ballast Characteristics on Lateral Stability of Railway Track / Petriaev A., Konon A. (eds). *Transportation Soil Engineering in Cold Regions. Vol. 1. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020, vol. 49. Springer, Singapore, pp. 173-182. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0450-1_18
5. Skutina O. L. Features of the railroad track operation on the sections of heavy-weight train traffic. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2020, no. 4 (68), pp. 76-85. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).76-85](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).76-85)
6. UIC - International union of railroads. URL: <https://uic.org/>
7. Increasing the weight of trains is the only way to increase loading in the Russian Federation – expert. *Finmarket*. 2019. URL: <https://www.finmarket.ru/news/4953187>

8. *Heavy-weight traffic: economic evaluation of traction business resource: monograph* / S. V. Rachek, A. S. Kolyshev, E. V. Konysheva. Ekaterinburg: UrGUPS, 2020, 133 p.
9. Kolyshev A. S. *Economic evaluation of traction resource operation under heavy-weight traffic conditions*. St. Petersburg, 2019, 182 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)

пр. Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация

insight1986@inbox.ru

Шугаев Олег Владимирович, старший преподаватель кафедры «Транспорт и логистика»

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)

ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация

o_shugaev@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Operational Work Management, Professor of the Department of Logistics and Commercial Work

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

insight1986@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9793-0666>

Oleg V. Shugaev, Senior Lecturer of the Department of Transport and
Logistics
Siberian State Industrial University
42, Kirov Str., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation
o_shugaev@mail.ru

Поступила 19.09.2024
После рецензирования 10.10.2024
Принята 15.10.2024

Received 19.09.2024
Revised 10.10.2024
Accepted 15.10.2024

AUTHOR GUIDELINES

<http://ijournal-as.com/>

Volume of the manuscript: 7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7-10.

Margins all margins – 20 mm each

Main text font Times New Roman

Main text size 14 pt

Line spacing 1.5 interval

First line indent 1,25 cm

Text align justify

Automatic hyphenation turned on

Page numbering turned off

Formulas in formula processor MS Equation 3.0

Figures in the text

References to a formula (1)

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

ORCID:

ResearcherID:

Scopus Author ID:

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

<http://ijournal-as.com/>

Объем статей: 7-12 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-9. Рукописи большего объема принимаются по специальному решению Редколлегии.

Поля все поля – по 20 мм.

Шрифт основного текста Times New Roman

Размер шрифта основного текста 14 пт

Межстрочный интервал полуторный

Отступ первой строки абзаца 1,25 см

Выравнивание текста по ширине

Автоматическая расстановка переносов включена

Нумерация страниц не ведется

Формулы в редакторе формул MS Equation 3.0

Рисунки по тексту

Ссылки на формулу (1)

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются другот друга точкой с запятой (на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.
2. Цель работы.
3. Материалы и методы исследования.
4. Результаты исследования и их обсуждение.
5. Заключение.
6. Информация о конфликте интересов.
7. Информация о спонсорстве.
8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ <i>Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский</i>	7
К ВОПРОСУ О НАЗНАЧЕНИИ ЯВОК ЛОКОМОТИВНЫМ БРИГАДАМ <i>С.П. Вакуленко, А.В. Колин, А.М. Насыбуллин, Л.Р. Айсина</i>	23
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ В ДОСТАВКЕ МЕТАЛЛОПРОКАТА И ПРОБЛЕМЫ С НАВИГАЦИЕЙ <i>А.И. Изотов</i>	43
К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <i>П.В. Калашников</i>	62
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ОБЪЕКТАМ И ВИДАМ РАБОТ С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ <i>В.И. Карагодин</i>	77
АНАЛИЗ И МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ВРЕДНОСНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА <i>Д.Н. Алексеев, Р.М. Хамитов</i>	100

**АНАЛИЗ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ
ПОТОКОВ НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОДАРА**

И.Н. Котенкова, И.С. Сенин, А.А. Замбржицкая 117

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОДОВО-ЛОКАЦИОННОГО
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ВОСТОЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ
ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*О.В. Шугаев, О.Д. Покровская,
В.В. Почетуха, С.В. Лемихов* 135

**ЛОГИСТИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО
ДВИЖЕНИЯ**

О.Д. Покровская, О.В. Шугаев 174

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 188

CONTENTS

INVESTIGATION OF PARAMETRIC OSCILLATORY MOVEMENTS IN THE AUTOMOTIVE SYSTEM <i>T.V. Avetisyan, Y.E. Lvovich,</i> <i>A.P. Preobrazhensky</i>	7
ABOUT OF THE ASSIGNING APPEARANCES TO LOCOMOTIVE CREWS <i>S.P. Vakulenko, A.V. Kolin,</i> <i>A.M. Nasybullin, L.R. Aysina</i>	23
USE OF UNMANNED TRANSPORTATION VEHICLES IN DELIVERY OF ROLLED METAL PRODUCTS AND NAVIGATION PROBLEMS <i>A.I. Izotov</i>	43
ON THE PROBLEM OF CONTROL THE RELIABILITY OF AN INFORMATION SYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY <i>P.V. Kalashnikov</i>	62
DISTRIBUTION OF LAND TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MEANS BY OBJECTS AND TYPES OF WORK, TAKING INTO ACCOUNT THEIR TECHNICAL CONDITION <i>V.I. Karagodin</i>	77
ANALYSIS AND MINIMIZATION OF THE RISKS OF HARMFUL DEPENDENCIES IN THE PROCESS OF CONTINUOUS INTEGRATION AND IMPLEMENTATION OF SOFTWARE CODE <i>D.N. Alekseev, R.M. Khamitov</i>	100

ANALYSIS OF NOISE CHARACTERISTICS OF TRAFFIC
FLOWS ON THE EXAMPLE OF KRASNODAR

I.N. Kotenkova, I.S. Senin, A.A. Zambrgitskaya 117

ANALYSIS OF THE APPLICATION
OF CODE-LOCATION POSITIONING IN THE EASTERN
DIRECTION OF THE WEST SIBERIAN RAILWAY

*O.V. Shugaev, O.D. Pokrovskaya,
V.V. Pochetukha, S.V. Lemikhov* 135

LOGISTICS AND EFFICIENCY OF HEAVY TRAFFIC

O.D. Pokrovskaya, O.V. Shugaev 174

RULES FOR AUTHORS 188

Доступ к журналу

Доступ ко всем номерам журнала –
постоянный, свободный и бесплатный.
Каждый номер содержится в едином файле PDF.

Open Access Policy

All issues of the International Journal of Advanced Studies:
Transport and Information Technologies are always open and free access.
Each entire issue is downloadable as a single PDF file.

<http://ijournal-as.com/>

Дата выхода в свет 31.10.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 13,96.
Свободная цена. Заказ 143/024.