

ISSN 2227-930X (online)

# International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies

VOLUME 13, NUMBER 3, 2023



# International Journal of Advanced Studies

Том 13, № 3  
2023

Vol. 13, No. 3  
2023

**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 13, № 3, 2023 / Vol. 13, No 3, 2023

## Учредитель и издатель:

ООО Научно-инновационный  
центр

## 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

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

## Индексирование и реферирование:

РИНЦ

Ulrich's Periodicals Directory

Google Scholar

DOAJ

BASE

WorldCat

OpenAIRE

ЭБС IPRbooks

ЭБС Znanium

ЭБС Лань

Адрес редакции, издателя  
и для корреспонденции:  
Россия, 660127, Красноярский край,  
г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192

E-mail: [ijas@ijournal-as.com](mailto:ijas@ijournal-as.com)

<http://ijournal-as.com/>

+7 (995) 080-90-42

## Founder and publisher:

Science and Innovation Center  
Publishing House

## 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.

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

## Indexing and Abstracting:

RSCI

Ulrich's Periodicals Directory

Google Scholar

DOAJ

BASE

WorldCat

OpenAIRE

IPRbooks

Znanium

Lan'

Editorial Board Office:  
9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk,

660127, Russian Federation

E-mail: [ijas@ijournal-as.com](mailto:ijas@ijournal-as.com)

<http://ijournal-as.com/>

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2023

### 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**, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department «Machine Parts and Theory of Machines and Mechanisms» (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine).

**Vladimir A. Dresvyannikov**, Doctor of Economics, Assistant Professor, Professor of the Department of Management and Marketing (Penza Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Penza, Russian Federation).

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

**Sultan V. Zhankaziev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research (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, Head of the Department of Expertise and Risk Assessment (Russian Road Research Institute, Moscow, Russian Federation).

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

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

**Boris S. Sergeev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Electric Machines" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

**Habibulla Turanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Stations, Knots and Cargo Work" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

**Ilya A. Khodashinsky**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Complex Information Security of Electronic Computing Systems (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**, кандидат технических наук (PhD), доцент, доцент кафедры Деталей машин и ТММ (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина).

**Дресвянников Владимир Александрович**, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Менеджмент и маркетинг» (Пензенский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Пенза, Российская Федерация).

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

**Жанказиев Султан Владимирович**, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе (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, начальник отдела экспертизы и оценки риска (ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Российская Федерация).

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

**Манаков Алексей Леонидович**, доктор технических наук, доцент, 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).

**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).

**Сергеев Борис Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Электрические машины" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

**Туранов Хабибулла Туранович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Станции, узлы и грузовая работа" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

**Ходашинский Илья Александрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (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-2023-13-3-7-25

УДК 656



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

## ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ СБОРЕ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*Е.А. Кухарев, С.М. Мочалин, Д.И. Заруднев*

*В статье рассматривается оценка инновационных транспортных технологий при раздельном сборе твёрдых коммунальных отходов (ТКО).*

*Выявлено, что процессы, связанные с раздельным сбором и вывозом твёрдых коммунальных отходов, нуждаются во внедрении инновационных решений, что позволит оптимизировать данные процессы и значительно сократить затраты. Поэтому были предложена схема с внедрением мусоровозной установки с возможностью раздельного сбора отходов и устройство датчиков, отслеживающих наполнения ёмкости контейнеров для сбора твёрдых коммунальных отходов.*

*Цель – разработка эффективной схемы организации движения мусоровозных транспортных средств и оптимизация транспортных процессов при раздельном сборе ТКО за счёт внедрения инновационных транспортных технологий.*

*Метод или методология проведения работы. В статье использовались экономико-математические методы, а также статистические методы.*

*Результаты. Получены наиболее информативные параметры, показывающие некоторые аспекты для внедрения инновационных решений, что позволит оптимизировать процесс раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов.*



**Область применения результатов.** Полученные результаты целесообразно применять экономическими субъектами, осуществляющими внешнеэкономическую деятельность.

**Ключевые слова:** твёрдые коммунальные отходы; логистика; инновационные транспортные технологии; автомобильный транспорт; автомобильный транспорт для перевозки отходов; отходы; логистические методы

**Для цитирования.** Кухарев Е.А., Мочалин С.М., Заруднев Д.И. Оценка инновационных транспортных технологий при раздельном сборе твёрдых коммунальных отходов // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 7-25. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-7-25

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

## EVALUATION OF INNOVATIVE TRANSPORT TECHNOLOGIES FOR SEPARATE COLLECTION OF SOLID MUNICIPAL WASTE

*E.A. Kukharev, S.M. Mochalin, D.I. Zarudnev*

*The article discusses the assessment of innovative transport technologies for the separate collection of municipal solid waste (MSW). It was revealed that the processes associated with the separate collection and removal of municipal solid waste need to be implemented innovative solutions that will optimize these processes and significantly reduce costs. Therefore, a scheme was proposed with the introduction of a garbage truck with the possibility of separate collection of waste and the installation of sensors that monitor the filling of containers for collecting municipal solid waste.*

**Purpose.** Development of an effective scheme for organizing the movement of garbage vehicles and optimization of transport processes for the separate collection of MSW through the introduction of innovative transport technologies.

**Methodology** in article economic-mathematical methods, and also statistical methods were used.

**Results.** The most informative parameters have been obtained, showing some features for identifying solutions that allow increasing the volume of the solid food waste collection process.

**Practical implications** it is expedient to apply the received results the economic subjects which are carrying out foreign economic activity, one of which elements are export operations.

**Keywords:** solid municipal waste; logistics; innovative transport technologies; automobile transport; road transport for waste transportation; waste; logistic methods

**For citation.** Kukharev E.A., Mochalin S.M., Zarudnev D.I. Evaluation of Innovative Transport Technologies for Separate Collection of Solid Municipal Waste. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 7-25. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-7-25

Определим возможную загрузку ТС исходя из среднего наполнения резервуаров для сбора ТКО, что позволит высчитать необходимое кол-во ездов для той и другой схемы.

Объем ТКО, накопленных в среднем на всех площадках для сбора ТКО в сутки рассчитывается по формуле:

Средняя наполняемость резервуара для смешанных отходов 462,5 л, средняя наполняемость резервуара с раздельным сбором – 645 л.

$$V_o = nV_{cp}, \quad (1)$$

где  $V_o$  – объем ТКО, накопленных в среднем на всех площадках для сбора ТКО в сутки;

$n$  – количество площадок для сбора ТКО;

$V_{cp}$  – средняя наполняемость одного контейнера для сбора ТКО в.

Рассчитаем среднее накопления ТКО по заданному маршруту в сутки (общие отходы):

84 контейнера для общих отходов вместимостью до 750 л

$$V_o = 84 \times 0,4625 = 38,85 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем среднее накопления ТКО по заданному маршруту в сутки (PCM):

30 сеток для раздельного сбора вместимостью до 1100 л.

$$V_o = 30 \times 0,645 = 19,35 \text{ м}^3.$$

Объем ТКО в резервуаре мусоросборной установки рассчитывается по формуле:

$$V = V_o/k, \quad (2)$$

где  $V$  – объем ТКО в резервуаре мусоросборной установки;

$V_o$  – объем ТКО, накопленных в среднем на всех площадках для сбора ТКО в сутки;

$k$  – коэффициент уплотнения ТКО, согласно типу механизма мусоросборной установки.

Рассчитаем объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (общего) согласно первой схеме вывоза:

1) вывоз ТКО двумя мусоровозами с мусоровозной установкой задней загрузки и единым резервуаром, один из которых будет вывозить отходы общего назначения, а другой – сортированные отходы (металл, стекло, пластик);

Объем кузова (полезный) – 18 м<sup>3</sup>;

$$V_1 = 38,85/6 = 6,475 \text{ м}^3.$$

Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (PCM) согласно первой схеме вывоза:

$$V_{1PCM} = 19,35/6 = 3,225 \text{ м}^3.$$

Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (общего) согласно второй схеме вывоза:

2) вывоз ТКО одним мусоровозом с задней загрузкой и двумя резервуарами с возможностью раздельного сбора мусора.

Отсек №1 объем полезный – 12 м<sup>3</sup>;

$$V_2 = 38,85/6 = 6,475 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (PCM) согласно второй схеме вывоза:

Отсек №2 объем (полезный) – 6 м<sup>3</sup>;

$$V_{2PCM} = 19,35/4 = 4,8375 \text{ м}^3.$$

Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что с учетом средней наполняемости резервуаров при первой и второй схемах мусоровозам будет достаточно одной ездки, чтобы пройти весь маршрут.

Теперь определим возможную загрузку ТС исходя из максимального наполнения резервуаров для сбора ТКО, что позволит высчитать необходимое кол-во ездки для той и другой схемы в данном случае. Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (PCM) согласно второй схеме вывоза рассчитывается по следующей формуле:

$$V_o = nV_{max}, \quad (3)$$

где  $V_o$  – объем ТКО, накопленных в максимальном значении на всех площадках для сбора ТКО в сутки;

$n$  – количество площадок для сбора ТКО;

$V_{max}$  – средняя наполняемость одного контейнера для сбора ТКО в сутки на протяжении заданного периода.

Рассчитаем среднее накопления ТКО по заданному маршруту в сутки (общие отходы):

$$V_o = 84 \times 0,75 = 63 \text{ м}^3.$$

Среднее накопления ТКО по заданному маршруту в сутки (PCM):

$$V_o = 30 \times 1,1 = 33 \text{ м}^3.$$

Объем ТКО в резервуаре мусоросборной установки рассчитывается по формуле:

$$V = V_o/k, \quad (4)$$

где  $V$  – объем ТКО в резервуаре мусоросборной установки;

$V_o$  – объем ТКО, накопленных в максимальном значении на всех площадках для сбора ТКО в сутки;

$k$  – коэффициент уплотнения ТКО, согласно типу механизма мусоросборной установки.

Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (общего) согласно первой схеме вывоза, в случае с максимальным наполнением точек сбора ТКО:

$$V_1 = 63/6 = 10,5 \text{ м}^3.$$

Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (PCM) согласно первой схеме вывоза, в случае с максимальным наполнением точек сбора ТКО:

$$V_{1PCM} = 33/6 = 5,5 \text{ м}^3.$$

Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (общего) согласно второй схеме вывоза, в случае с максимальным наполнением точек сбора ТКО:

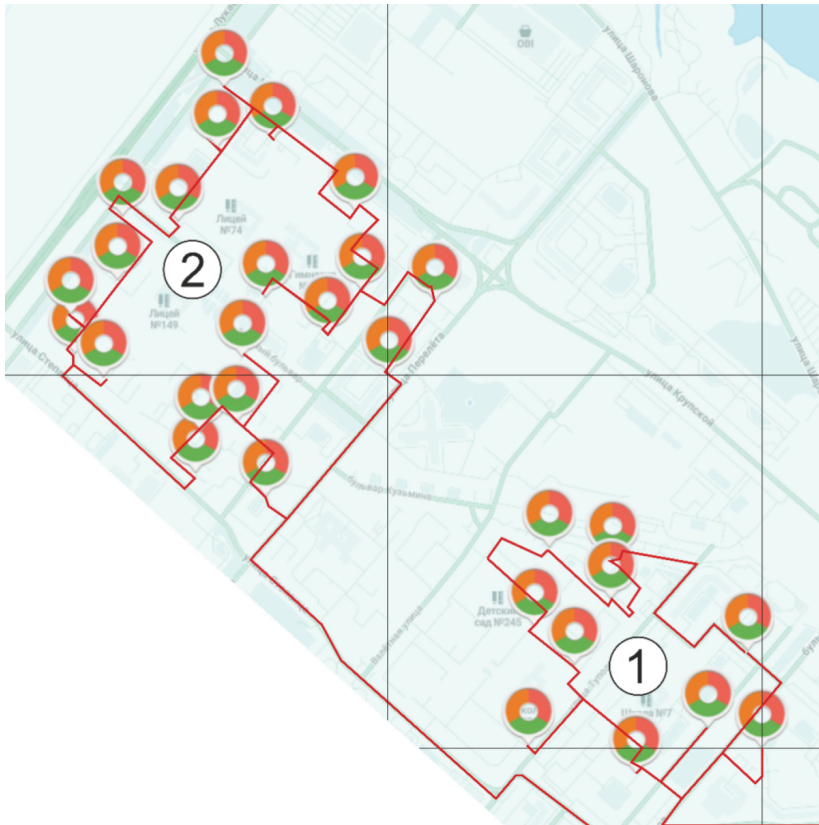
$$V_2 = 63/6 = 10,5 \text{ м}^3.$$

Объем резервуара мусоросборной установки, необходимый для вывоза ТКО (PCM) согласно второй схеме вывоза, в случае с максимальным наполнением точек сбора ТКО:

$$V_{2PCM} = 33/4 = 8,25 \text{ м}^3.$$

Исходя из расчетов, в случае с максимальным наполнением точек сбора ТКО, для первой схемы вывоза отходов потребуются одна ездка, для второй схемы потребуются две ездки, так как резервуар для PCM не сможет вместить в себя полный объем сортированного мусора. В связи с этим маршрутная карта будет скорректирована, как представлено на рисунке 1.

Таким образом, маршрут вывоза ТКО (раздельный сбор) «Бульвар архитекторов – Лукашевича» для первой схемы с участием двух мусоровозов останется таким, как представлено на рисунке 1 в случае со средней и максимальной наполняемостью резервуаров. Общая протяженность пути составит 82,8 км (два мусоровоза). Для второй схемы с мусоровозом, обладающим функцией раздельного сбора маршрут останется неизменным только в случае со средней наполняемостью резервуаров и с общей протяженностью в 41,4 км. При максимальном наполнении маршрут изменится, как представлено на рисунке 1, соответственно протяженность пути увеличится до 72 км (2 ездки). Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что на конкретном участке при раздельном сборе ТКО эффективнее использовать мусоровозы с возможностью раздельного сбора ТКО.

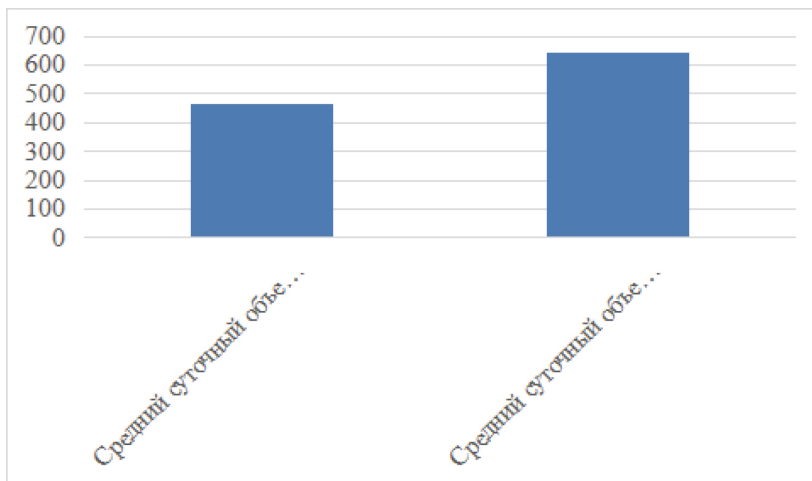


**Рис. 1.** Скорректированный маршрут вывоза ТКО согласно первой схеме (раздельный сбор) «Бульвар архитекторов – Лукашевича»

Также, любой из предложенных маршрутов можно было бы оптимизировать за счет внедрения технологии сбора данных о заполняемости контейнеров.

Согласно представленному на рисунке 2 в среднем суточный объем накопления ТКО равен 61,7% от общего объема резервуара и в случае с резервуарами для раздельного сбора ТКО – 58,6%. При этом в 504 случаях было зарегистрировано превышение объема ТКО относительно вместимости резервуаров. И в 246 слу-

чаях зарегистрировано предельная заполняемость резервуаров (в промежутке от 700 до 750 л и от 900 до 1100 в резервуарах для РСМ). В 1425 случаях на момент сбора ТКО резервуары были наполнены менее, чем на 50%, что говорит о неэффективности использования мусороборочных машин.

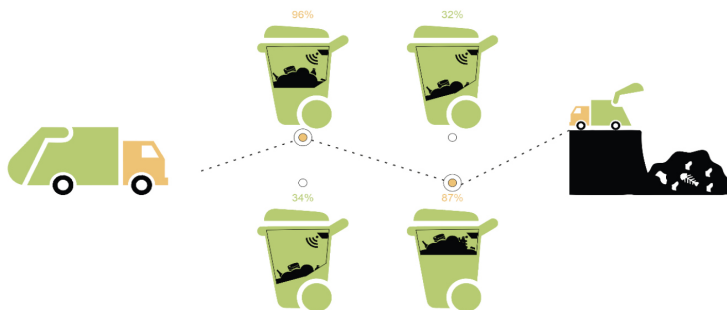


**Рис. 2.** Средний суточный объем накопления ТКО на маршруте улиц Бульвар Архитекторов – Лукашевича

Одним из решений этой проблемы может стать внедрение устройства, считывающего накопление ТКО. Благодаря данному оборудованию появляется возможность контролировать наполнение контейнеров в режиме реального времени, что позволяет корректировать маршруты мусоровозов, не тратя временные и материальные ресурсы. Так же программа позволит изменять схему забора ТКО исходя из скорости заполнения контейнеров на тех или иных участках.

Механизм работы данного устройства представлен на рисунке 3.

На контейнер монтируется датчик, оснащенный беспроводным модулем для передачи данных. По ходу заполнения контейнера, датчик передает информацию на сервер программы, который находится под наблюдением диспетчера.



**Рис. 3.** Схема работы устройства, считывающего наполнение емкости контейнера

Владея полной информацией о наполнении контейнеров, диспетчер ведет управление транспортными потоками. Для подобных датчиков используются долговечные батарейки или, в качестве альтернативного источника питания, рассматриваются солнечные батареи с накопительным элементом, позволяющие бесперебойно работать всей системе. Все это говорит об эффективности внедрения технологии оповещения заполнения контейнеров. Таким образом, благодаря устройству, сбор ТКО значительно упрощается, практически исключаются холостые выезды и решение не влечет за собой существенных расходов, в том числе и эксплуатационных [19].

Датчики наполняемости контейнеров уже широко используются в Европе. Впечатляет пример города Ноттингема – после внедрения системы фиксации наполняемости контейнеров количество рейсов мусоровозов удалось сократить в десять раз без ущерба для качества услуги. Если раньше машины совершали в среднем 600 рейсов в месяц, то после установки гаджета – всего 60. Однако следует отметить, что Европейские аналоги подобного устройства достаточно дорогие, но в последние несколько лет появилась возможность внедрять отечественные модели, которые на порядок дешевле европейских. Так компания «Wasteout» предлагает свои устройства, представленные на рисунке 4 по цене в 6,5 тыс. рублей.





**Рис. 4.** Аппаратная часть «Wasteout»

Основные характеристики подобного прибора:

- для передачи данных используется беспроводная сеть 2G/GPRS;
- для измерения в контейнере используется ультразвуковой датчик-дальномер;
- все оборудование работает в интервале температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+75^{\circ}\text{C}$ ;
- корпус датчика водо- и пыленепроницаемый. Соответствует классу IP56;
- низкое энергопотребление позволяет эксплуатировать датчик в течении 5 лет.

Преимущества данной технологии. У регионального оператора появляется:

- реальный механизм контроля уборки коммунального мусора, региональный оператор получит доступ к системе и сможет в режиме online контролировать частоту уборки, пополнение контейнеров, фактические объемы транспортируемых отходов и т.д.;
- возможность оптимизации собственных затрат за счет справедливой оплаты транспортировки отходов;

- возможность сокращения собственных затрат за счет оптимизации численности персонала.

У перевозчиков появляется:

- возможность экономии расходов за счет «умной» логистики, система прогнозирует реальное наполнение контейнеров к моменту сбора отходов, поэтому может строить маршрут только по заполненным площадкам;
- специальный режим «завершающего рейса» позволяет собрать остатки на маршрутах уборки необходимым для этого количеством машин;
- возможность в момент выезда на маршрут точно запланировать меру заполнения мусоровозов, тем самым обеспечить их максимально возможную загрузку.

У органов государственной власти появляется:

- возможность получить, в рамках государственного надзора, неограниченный и оперативный (в режиме «онлайн») доступ к информации о накоплении и качестве уборке ТКО;
- возможность получать полную и точную статистическую информацию о фактическом накоплении ТКО на территории России в разнообразных аналитических разрезах;
- возможность получить репутационный эффект от внедрения в России уникального проекта из области Интернета Вещей (IoT).

Горожанам – чистые и опрятные контейнерные площадки для мусора. Отсутствие захламливания территории, неприятных запахов, крыс и инфекций.

Установив подобное, считывающие, устройство на каждый из резервуаров по сбору ТКО, обеспечив мусоровозы оборудованием, способным транслировать информацию, поступающую с устройств напрямую и бесперебойную работу программного обеспечения, у регионального оператора, пользователей услугами регионального оператора и административных управляющих структур появится возможность в режиме реального времени на-

блюдать за текущей ситуацией, связанной со сбором и вывозом ТКО в регионе.

Итак, транспортные затраты при первой схеме с использованием мусоровозной установки HidroMas, 18м<sup>3</sup> с возможностью раздельного сбора мусора на шасси SCANIA (СКАНИЯ) P360 6X4 равна 13177,545 рублей. При второй схеме с использованием мусоровозной установки ZOELLER, 18м<sup>3</sup> на шасси SCANIA (СКАНИЯ) P360 6X4 в количестве двух единиц равны 23944,52 рубля.

Таблица 1.

**Фрагмент данных сбора информации о наполнении контейнеров для сбора ТКО по маршруту «Бульвар Архитекторов – Лукашевича»**

Адрес	Месяц	День	Суточный объем накопления ТКО, л				Адрес	Месяц	День	Суточный объем накопления ТКО, л			
			Бак №1	Бак №2	Бак №3	Бак №4				Бак №1	Бак №2	Бак №3	Бак №4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ул. Архитекторов бульвар, 3/4 (Баки № 1, 2 – по 750 л, сетка для раздельного сбора – 1100л)	Май	1	400	350	600	-	ул. Архитекторов бульвар, 4 к1 (Баки № 1, 2, 3 – по 750 л, сетка для раздельного сбора – 1100л)	Май	1	750	750	750	900
		2	750	750	950	-			2	400	600	700	950
		3	250	350	350	-			3	300	350	525	350
		4	600	600	700	-			4	350	450	450	700
		5	300	350	525	-			5	250	350	350	525
		6	350	450	450	-			6	400	350	600	450
		7	400	350	600	-			7	750	750	750	900
		8	750	750	950	-			8	250	350	350	950
		9	500	350	350	-			9	400	600	700	350
		10	750	750	900	-			10	300	350	525	600
		11	300	350	625	-			11	350	450	450	625
		12	350	450	650	-			12	400	350	600	650
		13	250	350	450	-			13	750	750	750	950
		14	400	400	800	-			14	500	350	350	800
		15	300	350	425	-			15	750	750	750	825

Исходя из сравнения эксплуатационных транспортных затрат при использовании первой и второй схем сбора ТКО, представленном в таблице 2, можно сделать вывод, что на конкретном маршруте выгоднее использовать первую схему.

Таблица 2.

**Сравнение эксплуатационных транспортных затрат при использовании первой и второй схем сбора ТКО**

Статья эксл. затрат	Затраты (1 схема), руб./сут	Затраты (2 схема), руб./сут	Затраты (1 схема), руб./год	Затраты (1 схема), руб./год
1	2	3	4	5
ФОТ	2915,25	5830,5	1064066,25	2128132,5
Страховые отчисления	874,57	1749,15	319219,875	638439,75
Затраты на топливо	614,7	1229,4	224365,5	448731
Затраты на смазочные и эксплуатационные материалы	189,01	378,02	68988,65	137977,3
Затраты на запасные части и материалы	103,5	207	37777,5	75555
Затраты на восстановление износа и ремонт шин	51,75	103,5	18888,75	37777,5
Амортизация подвижного состава	6253,2	10497,6	2282418	3831624
Накладные расходы	2200,35	3999,03	803130,31	1459647,41
Итого	13202,35	23994,21	4818857,75	8757886,65

Разность эксплуатационных транспортных затрат в год при сравнении первой и второй схем равна:

$$8757886,65 - 4818857,75 = 3939028,9 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости новой единицы техники для осуществления первой схемы вывоза ТКО равен:

$$19300000/3939028,9 = 4,91 \text{ года.}$$

Таким образом, срок полной окупаемости новой мусоровозной установки HidroMac, 18м<sup>3</sup> с возможностью отдельного сбора мусора на шасси SCANIA (СКАНИЯ) P360 6X4 составит 4 года 11 месяцев.

### **Вывод**

Исходя из данных собранных на протяжении одного календарного месяца на участке из 30 адресов было выявлено, что в конкретном случае использование двухсекционных мусоросборников экономически целесообразно, а срок окупаемости внедрения

данной техники будет равен порядка 4 лет и 11 месяцев. Ежегодная экономия составит 3939028,9 руб.

Рассчитать экономическую выгоду в случае внедрения датчиков наполнения емкости контейнера для сбора ТКО практически невозможно, без опытных исследований. Однако основываясь на тех данных, что были собраны на протяжении месяца, то в более, чем 45% случаев контейнеры не заполнены даже наполовину, также в 504 случаях было зарегистрировано превышение объема ТКО относительно вместимости резервуаров и в 246 случаях зарегистрировано предельная заполняемость резервуаров, что пагубно сказывается на окружающей среде.

Технология датчиков позволит избежать холостых ездов и наоборот, в случаях, когда резервуар близок к переполнению, датчик оповестит оператора о необходимости сбора ТКО на данном участке.

### *Список литературы*

1. Агаев Т.Б, Гав Ф.Ф., Рахманов М.Л. Актуальные вопросы управления и экономики в сфере организации раздельного сбора и обработки твердых коммунальных отходов / Вестник РАЕН. 2019. Т.19, №1. С. 35-43.
2. Аникин Б.А. Аутсорсинг. Создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций / Б.А. Аникин, О.Б. Аникин, Т.А. Родкина. – М.: Инфра-М, 2016. 187 с.
3. Глеба О.В., Чудакова К.А. Раздельный сбор отходов в России: проблемы и пути решения / Аграрное и земельное право. 2020. №2 (182). С. 56-59.
4. Деяшкина О.Л. Твердые бытовые отходы» / Отраслевые ведомости, г. Москва, 2012. №8. С.34.
5. Дорогов Д.С. Перспективные направления транспортного обслуживания системы сбора, доставки и утилизации твердых коммунальных отходов / Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и мо-

- лодых учёных. Министерство образования и науки Российской Федерации; Правительство Омской области; Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2018. С. 280-283.
6. Левкин, Г.Г. Основы логистики: учебник / Г. Г. Левкин, А. М. Попович. – М. Берлин: Директ-Медиа, 2015. 387 с.
  7. Мочалин С.М., К.Б. Белозерова Применение принципов логистики в организации доставки грузов / Мир транспорта и технологических машин. 2010. №1 (28) С. 55-58.
  8. Мочалин С.М., Заруднев Д.И. Исследование влияния грузоподъемности подвижного состава на экономические показатели автомобильных перевозок / Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2009. №1 (11) С.67-74.
  9. Мочалин С.М., Заруднев Д.И. Анализ проблемы выбора подвижного состава в транспортной логистике / Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2008. №1 (7). С. 66-69.
  10. Мубаракшина Ф.Д., Гусева А.А. Современные проблемы и технологии переработки мусора в России и за рубежом / Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2011. №4 (8). С. 91-98.
  11. Плотников А.А., Николаев А.С. Автоматизация отслеживания уровня отходов в мусорных контейнерах / Издательство: Олимп. Московский институт электронной техники, г. Москва, 2019. №10. С.21-23.
  12. Плохих Ю.В. Промежуточные итоги перехода на новую систему обращения с твердокоммунальными отходами / Актуальные тренды в экономике и финансах: материалы Международной научно-практической конференции, 19 ноября 2019 г. Омск, 2019. С. 80-83.
  13. Соловьев А.Ю. О разработке программно-аппаратного комплекса контроля бытовых отходов в жилых районах / Современные наукоемкие технологии, г. Москва, 2018. №7. С. 108-113

14. Шубов Л.Я., Доронкина И.Г., Борисова О.Н. Проблема твердых бытовых отходов – глобальная проблема 21 века / Сервис в России и за рубежом, 2011. №1. С. 258-263.
15. Кофман А., Анри-Лабрадер А. Методы и модели исследования операций. Целочисленное программирование. М.: Мир, 1977. 432с.

### *References*

1. Agaev T.B., Gav F.F., Rakhmanov M.L. *Aktual'nyye voprosy upravleniya i ekonomiki v sfere organizatsii razdel'nogo sbora i obrabotki kommunal'nykh otkhodov* [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences]. М., 2019, no 1, pp. 35-43.
2. Anikin B.A. *Autsorsing. Sozdaniye vysokoeffektivnykh i produktivnykh organizatsiy* [Outsourcing. Building Highly Effective and Productive Organizations] / Anikin B.A., Anikin O.B., Rodkin T.A. (ed.). М., 2016. 187 p.
3. Gleba O.V., Chudakova K.A. *Razdel'nyy sbor otkhodov v Rossii: problemy i puti resheniya. Agrarnoye i zemel'noye pravo* [Separate waste collection in Russia: problems and solutions. Agrarian and land law] . М., 2020, no 2, pp. 56-59.
4. Deyashkina O.L. *Tverdye bytovyye otkhody. Otrasleyvyye vedomosti* [Solid domestic waste. Industry statements]. Moscow, 2012, no 8, 34 p.
5. Dorogov D.S. *Perspektivnyye napravleniya obsluzhivaniya transportnykh sistem sbora, dostavki i ispol'zovaniya studentami kommunal'nykh otkhodov Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya molodykh uchonykh: sbornik nauchnykh trudov II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, aspirantov i molodykh uchonykh* [Perspective directions of transport service of the system of collection, delivery and disposal of municipal solid waste / Fundamental and applied research of young scientists: a collection of scientific papers of the II International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists]. М., 2018, pp. 280-283.

6. Levkin, G.G. *Osnovy logistiki: uchebnik* [Fundamentals of Logistics: Tutorial] / Levkin, G.G., Popovich A.M. (ed.). M., 2015. 387 p.
7. Mochalin S.M., K.B. Belozerova *Primeneniye printsipa logistiki v organizatsii dostavki gruzov / Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [Application of the principles of logistics in the organization of delivery of goods / World of transport and technological machines]. M., 2010, no 1, pp. 55-58.
8. Mochalin S.M., Zarudnev D.I. *Issledovaniye vliyaniya gruzopod'yemnosti podvizhnogo sostava na ekonomicheskkiye pokazateli avtomobil'nykh perevozok* [Study of the influence of the carrying capacity of rolling stock on the economic indicators of road transport]. M., 2009, no 1, pp. 67-74.
9. Mochalin S.M., Zarudnev D.I. *Analiz problemy vybora podvizhnogo sostava v transportnoy logistike* [Analysis of the problem of choice of rolling stock in transport logistics]. M., 2008, no 1, pp. 66-69.
10. Mubarakshina F.D., Guseva A.A. *Sovremennyye problemy i tekhnologii pererabotki musora v Rossii i za rubezhom* [Modern problems and technologies of waste processing in Russia and abroad]. M., 2011, no 4, pp. 91-98.
11. Plotnikov A.A., Nikolaev A.S. *Avtomatizatsiya otslezhivaniya urovnya otkhodov v musornykh konteynerakh* [Automation of monitoring the level of waste in garbage containers]. M., 2019, no 10, pp. 21-23.
12. Plokhikh U.V. *Promezhutochnyye itogi perekhoda na novuyu sistemu obrashcheniya s tverdokommunal'nymi otkhodami / Aktual'nyye trendy v ekonomike i finansakh: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Intermediate results of the transition to a new system of solid municipal waste management / Actual trends in economics and finance: materials of the International Scientific and Practical Conference]. M., 2019, pp. 80-83.
13. Solovyov A.U. *O razrabotke programmno-apparatnogo kompleksa kontrolya bytovykh otkhodov v zhilykh rayonakh* [On the development of a software and hardware complex for the control of household waste in residential areas]. M., 2019, no 7, pp. 108-113.



14. Shubov L.Y., Doronkina I.G., Borisova O.N. *Problema tverdykh bytovykh otkhodov – global'naya problema 21 veka* [The problem of municipal solid waste is a global problem of the 21st century]. М., 2011, no 1, pp. 258-263.
15. Kofman A., Henri-Labradère A. *Methods and models of operations research. Integer programming*. М.: Mir, 1977. 432 p

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Кухарев Егор Александрович**, аспирант

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет*

*пр-кт. Мира, 5 г. Омск, Омская область, 644080, Российская Федерация*

*egortang95@mail.ru*

**Мочалин Сергей Михайлович**, профессор кафедры «Экономика, логистика и управление качеством», профессор кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», доктор технических наук

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет*

*пр-кт. Мира, 5 г. Омск, Омская область, 644080, Российская Федерация*

*tochalin\_sm@mail.ru*

**Заруднев Дмитрий Иванович**, доцент кафедры «Экономика, логистика и управление качеством», кандидат технических наук

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет*

*пр-кт. Мира, 5 г. Омск, Омская область, 644080, Российская Федерация*

*kowalski@mail.ru*

## DATA ABOUT THE AUTHORS

**Egor A. Kuharev**, Graduate student

*Siberian State Automobile and Road University  
5, Mira Str., Omsk, Omsk region, 644080, Russian Federation  
egortang95@mail.ru  
SPIN-code: 1896-0793  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4897-0674>  
ResearcherID: 2914640*

**Sergey M. Mochalin**, Professor of the department «Economics, logistics and quality management», professor of the department «Organization of transportation and traffic safety», deputy director of the institute «Motor transport, oil and gas and construction equipment» for scientific activities, leading researcher, doctor of technical sciences

*Siberian State Automobile and Road University  
5, Mira Str., Omsk, Omsk region, 644080, Russian Federation  
mochalin\_sm@mail.ru*

**Dmitry I. Zarudnev**, Associate Professor of the Department «Economics, Logistics and Quality Management», Candidate of Technical Sciences

*Siberian State Automobile and Road University  
5, Mira Str., Omsk, Omsk region, 644080, Russian Federation  
kowalski@mail.ru*

Поступила 22.06.2023

После рецензирования 30.06.2023

Принята 17.07.2023

Received 22.06.2023

Revised 30.06.2023

Accepted 17.07.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-26-35

УДК 004.041



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

## УЛУЧШЕННОЕ ЛОГИРОВАНИЕ ОШИБОК ПРИ РАБОТЕ С МОДУЛЕМ SELENIUM НА ЯЗЫКЕ PYTHON

*Р.Р. Крапивин, М.Р. Хамидулин*

*В статье рассматривается способ логирования (сохранения) ошибок, возникающие в результате работы модуля selenium, в случае возникновения непредвиденной или наоборот, предполагаемой ошибки, сохранить все данные о ней для будущего решения этой ошибки.*

**Цель:** разработка метода для сохранения непредвиденных и предполагаемых ошибок возникающие в работе модуля selenium.

**Метод или методология проведения работы:** в статье ведется разработка модуля, способный сохранять текст ошибки, в каком месте кода она возникла, её время и изображение страницы браузера в момент возникновения ошибки.

**Результат:** разработан модуль по логированию ошибок selenium.

**Ключевые слова:** ошибка; selenium; Python; chrome driver; лог; сохранение

**Для цитирования.** Крапивин Р.Р., Хамидулин М.Р. Улучшенное логирование ошибок при работе с модулем selenium на языке Python // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 3. С. 26-35. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-26-35

Original article | Operation of Road Transport

## IMPROVED ERROR LOGGING WHEN WORKING WITH THE SELENIUM MODULE IN PYTHON

*R.R. Krapivin, M.R. Khamidulin*

*The article discusses the method of logging (saving) errors resulting from the operation of the selenium module, in case of an unexpected*

or, conversely, an assumed error, save all data about it for future solutions to this error.

**Purpose:** development of a method for saving unexpected and expected errors that occur during the operation of the selenium module.

**Method or methodology of work:** the article is developing a module capable of saving the error text, where in the code it occurred, its time and the image of the browser page at the time of the error.

**Result:** the selenium error planning module has been developed.

**Keywords:** error; selenium; Python; chrome driver; log; save

**For citation.** Krapivin R.R., Khamidulin M.R. Improved Error Logging when Working with the Selenium Module in Python. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 26-35. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-26-35

## Введение

Обнаружение и устранение ошибок в работе модуля selenium весьма повседневная и рутинная задача каждого разработчика программного обеспечения. Из-за того, что динамичные сайты имеют непредвиденные сценарии работы, возникают ошибки, которые не позволяют выполнять работу программ парсинга корректно. Для решения подобных непредвиденных ошибок используют логирование.

Логирование – это фиксация негативных сценариев работы веб-ресурса, помогающая разработчику их обрабатывать, вовремя исправлять баги системы, предотвращать появление ошибок или сбоев в будущем.

В python так и в самом модуле selenium есть множество способов фиксации таких ошибок, но порой не понятно, как ошибка могла возникнуть, даже имея на руках зафиксированное событие, не всегда получается его обработать и предотвратить появление в будущих запусках программы. Для этого требуется сохранять изображение страницы окна браузера на момент возникновения ошибки, запись в логах, в какое время и на какой строчке возникла ошибка.

**Цель работы:** разработать метод, сохранения ошибки с изображением окна браузера на момент возникновения ошибки

Для реализации такого метода, сначала необходима какая-то структура, где будут выполняться тесты парсинга, например авторизация на популярном сайте разработчиков: ru.stackoverflow.com (рис. 1).

```

log error.py > ...
1
2 from selenium import webdriver
3
4 def open_driver():
5     global driver
6     driver = webdriver.Chrome()# Открываем окно браузера chrome driver
7     driver.maximize_window()# делает окно браузера на весь экран
8
9 def auf_site():
10    url = 'https://ru.stackoverflow.com/users/login?src=head&returnurl=https%3a%2f%2fru.stackoverflow.com%2f'
11    driver.get(url)# переход по ссылке авторизации
12    driver.find_element_by_xpath('//*[@id="email"]').send_keys('')# ввод почты
13    driver.find_element_by_xpath('//*[@id="password"]').send_keys('')# ввод пароля
14    driver.find_element_by_xpath('//*[@id="submit-button"]').click()# нажимаем войти
15
16 def main():
17     open_driver()
18     auf_site()
19
20 if __name__ == "__main__":
21     main()
  
```

Рис. 1. Код python для авторизации на сайте ru.stackoverflow.com.

Перед тем как авторизоваться, сайт будет иметь форму показанную на рисунке 2:

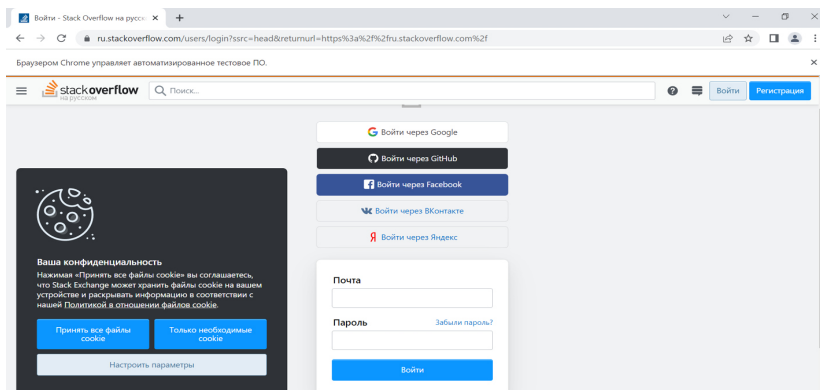


Рис. 2. Страница авторизации.

После успешной авторизации сайт будет выглядеть как показано на рисунке 3.

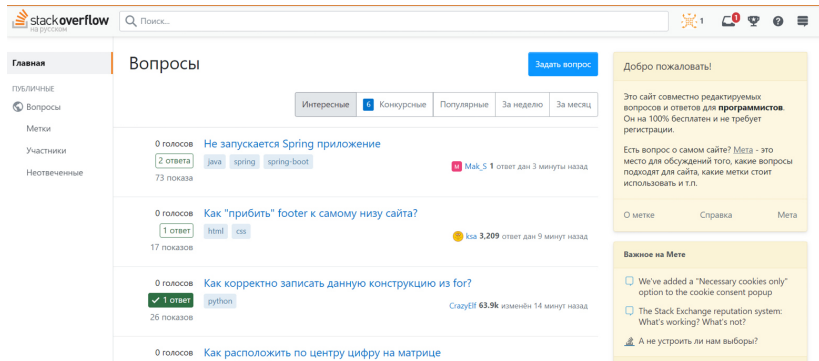


Рис. 3. Вид сайта после успешной авторизации.

Имя программу, которая способная проходить простейшую авторизацию, вводя почту и пароль, даже тут могут возникнуть ошибки, например:

1. Сайт не доступен.
2. Поменялась структура старлица авторизации.
3. Слишком долгое ожидание от сайта.

В реальных проектах, происходят вещи гораздо сложнее и количество ошибок в таких проектах растет в арифметической (иногда в геометрической) прогрессии. Для успешного логирования ошибок создадим функцию, которая будет срабатывать при возникновении ошибок (рис. 4).

```
def save_error(error):
    from datetime import datetime
    import sys
    import os

    datetime_error = datetime.now().strftime("%d-%m-%Y %H:%M")
    exc_type, exc_obj, exc_tb = sys.exc_info() # получаем номер строки кода, где возникла ошибка
    file_name = os.path.split(exc_tb.tb_frame.f_code.co_filename)[1]
    error_string = "ERROR : Date: {}, File Name : {}, Line no : {}, Error Msg: {}".format(datetime_error, file_name, exc_tb.tb_lineno, error)# запись

    file_log = open("error_log.log", "a", encoding="utf-8")
    file_log.write(error_string)
    file_log.close()

    driver.save_screenshot(f'Error auf modul {datetime_error}.jpg')# сохраням изображение страницы на момент ошибки
    driver.quit()# закрываем экземпляр selenium chrome driver
```

Рис. 4. Функция логирования ошибок

Что в ней происходит:

1. На вход функции поступает текст ошибки
2. Импортируются встроенные библиотеки
3. Программа фиксирует время ошибки и помещает её в переменную `datetime_error`
4. Переменная `exc_td` храни номер линии кода, где возникла ошибка
5. `File_name` хранит имя исполняющего файла, т.е. `log error.py`
6. `Error_string` формирует строку, содержащую информацию об ошибке, во сколько она была сохранена, на какой линии кода возникла, текст ошибки
7. Далее эта строка записывается в текстовый файл с расширением `log`, где она будет храниться
8. После всех операций, сохраняется изображение окна страницы на месте, где возникла ошибка
9. Закрывается образ `chrome drive`

Чтобы ошибка была сохранена, обернем все в блок `try` `except` (рис. 5).

```
def main():  
    try:  
        open_driver()  
        auf_site()  
    except Exception as error:  
        save_error(error)
```

Рис. 5. Установка блока `try except`.

Итак, нужно проверить функцию, для этого искусственно вызовем ошибку в методе, где устанавливается пароль заменив строку

```
driver.find_element_by_xpath('//*[@id="password"]').send_keys('тут пароль')
```

на

```
driver.find_element_by_xpath('//ищем не существующее').send_keys('тут пароль')
```

Запускаем тест и имеем:

1. Запись в файле логов (рис. 6).
2. Изображение окна браузера на момент ошибки (рис. 7).

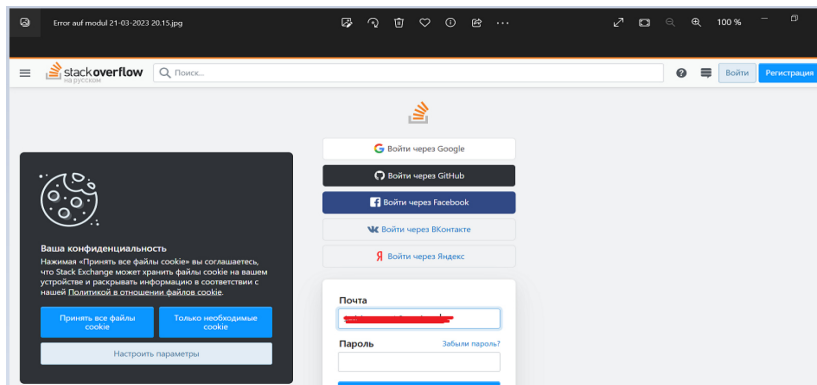


Рис. 6. Запись в логах ошибок

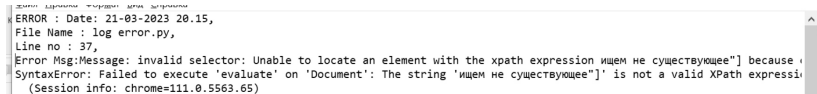


Рис. 7. Изображение окна браузера, где возникла ошибка

## Результаты работы

Разработано программный метод для улучшенного логирования ошибок для модуля selenium, позволяющий сохранять не только текст ошибки, но и изображение места, где эта ошибка произошла для лучшей обработки непредвиденных ошибок. Такой метод можно использовать в любом участке кода, проекта и систем. В перспективе, развивая дальше такой метод, можно заполнять данные об ошибке в базу данных, не оставляя локальных файлов.

## Список литературы

1. Логинова Е.В. Необходимость изучения информационных потоков предприятия / Е.В.Логинова, Т.А. Сарыева // Проблемы современной науки и образования, 2017. – № 2. С. 45-48.



2. Методы и модели исследования сложных систем и обработки больших данных: Монография / И. Ю. Парамонов, В. А. Смагин, Н. Е. Косых, А. Д. Хомоненко; под редакцией В. А. Смагина и А. Д. Хомоненко. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 236 с.
3. Бенгфорт, Б. Прикладной анализ текстовых данных на Python. Машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка / Б. Бенгфорт. – СПб.: Питер, 2019. – 368 с.
4. Пономарева Л.А., Чискидов С.В., Ронжина И.А., Голосов П.Е. Проектирование компьютерных обучающих систем: Монография. М-во образования и науки РФ, РАНХиГС, МГПУ ИЦО. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2018. 120 с.
5. Прокофьева Е.Н. Оценка качества управления информационными потоками в организациях / Е.Н. Прокофьева, А.В. Вострикова // Вестник РМАТ, 2017. – 330 с.
6. Прохоренок Н.А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 704 с.
7. Самойлова И. А. Технологии обработки больших данных / Молодой ученый. - 2017. - № 49 (183). - С. 26-28.
8. Модели и методы исследования информационных систем: монография / А.Д. Хомоненко, А.Г. Басыров, В.П. Бубнов [и др.]. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 204 с.
9. Канаев К.А., Фалеева Е.В., Пономарчук Ю.В. Сравнительный анализ форматов обмена данными, используемых в приложениях с клиент-серверной архитектурой // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-25. – С. 5569-5572.
10. Златопольский Д.М. Основы программирования на языке Python. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 284 с.
11. Виноградова Е.Ю. Интеллектуальные информационные технологии – теория и методология построения информационных систем: монография / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011. – 263 с.
12. Белкова А. Л. Осваиваем работу с реляционными базами в MS Excel 2013 / А.Л. Белкова, С.Н. Леора // Теория и практика об-

- разования в современном мире: материалы VI Междунар. науч. конф. – Санкт-Петербург: Заневская площадь, 2014. – С. 349-356.
13. Уорсли, Дж. PostgreSQL. Для профессионалов / Дж. Уорсли, Дж. Дрейк. - М.: СПб: Питер, 2002. - 496 с.
  14. Hans-Jürgen Schönig Mastering PostgreSQL 13 - Fourth Edition: Build, administer, and maintain database applications efficiently with PostgreSQL 13. - Packt Publishing, – 2020. - 476 p.
  15. Baji Shaik, Avinash Vallarapu Beginning PostgreSQL on the Cloud: Simplifying Database as a Service on Cloud Platforms. – Apress, - 2018. - 381 p.

#### References

1. Loginova E.V. Necessity of studying information flows of an enterprise / E.V. Loginova, T.A. Sarieva // Problems of Modern Science and Education, 2017. - № 2. - pp. 45-48.
2. Methods and models of research of complex systems and big data processing: Monograph / I.Y. Paramonov, V.A. Smagin, N.E. Kosykh, A.D. Khomonenko; edited by V. A. Smagin and A. D. Khomonenko. - St. Petersburg: Lan', 2020. - 236 p.
3. Bengforth, B. Applied textual data analysis in Python. Machine learning and creating natural language processing applications / B. Bengforth. - St. Petersburg: Peter, 2019. - 368 p.
4. Ponomareva L.A., Chiskidov S.V., Ronzhina I.A., Golosov P.E. Designing computer learning systems: Monograph. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Russian Academy of National Economy and Public Administration, Moscow State Pedagogical University. Tambov: Consulting company Yukom, 2018. 120 p.
5. Prokofieva E.N. Assessment of the quality of information flow management in organizations / E.N. Prokof'eva, A.V. Vostrikova // Vestnik RMAT, 2017. - 330 p.
6. Prohorenok N.A. Python 3 and PyQt. Development of applications. - St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2012. - 704 p.
7. Samoylova I. A. Technologies of big data processing / Young scientist. - 2017. - № 49 (183). - pp. 26-28.

8. Models and methods of research of information systems: monograph / A.D. Khomonenko, A.G. Basyrov, V.P. Bubnov [et al]. - Saint Petersburg: Lan', 2019. - 204 p.
9. Kanaev K.A., Faleeva E.V., Ponomarchuk Y.V. Comparative analysis of data exchange formats used in applications with client-server architecture // Fundamental Research. - 2015. - № 2-25. - pp. 5569-5572.
10. Zlatopolsky D.M. Fundamentals of programming in the Python language. - Moscow: DMK Press, 2017. - 284 p.
11. Vinogradova E. Yu. Intelligent information technology - theory and methodology of building information systems: monograph / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural State. Economics University. - Ekaterinburg: Publishing house of the Ural State University of Economics, 2011. - 263 p.
12. Belkova A.L. Mastering the work with relational databases in MS Excel 2013 / A.L. Belkova, S.N. Leora // Theory and practice of education in the modern world: proceedings of the VI International. scientific. conf. - St. Petersburg: Zanevskaya Square, 2014. - pp. 349-356.
13. Worsley, J. PostgreSQL. For professionals / J. Worsley, J. Drake. - M.: SPb: Peter, 2002. - 496 p.
14. Hans-Jürgen Schönig Mastering PostgreSQL 13 - Fourth Edition: Build, administer, and maintain database applications efficiently with PostgreSQL 13. - Packt Publishing, – 2020. - 476 p.
15. Baji Shaik, Avinash Vallarapu Beginning PostgreSQL on the Cloud: Simplifying Database as a Service on Cloud Platforms. – Apress, - 2018. - 381 p.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Крапивин Роман Русланович**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
Jerichotyran1@yandex.ru*

**Хамидуллин Марат Раисович**, доцент, кандидат экономических наук

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*

*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*

*Российская Федерация*

*nyaika\_prom@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Roman R. Krapivin**, Student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*Jerichotyran1@yandex.ru*

**Marat R. Khamidullin**, PhD in Economics

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*nyaika\_prom@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3326-0955>*

Поступила 02.04.2023

После рецензирования 15.04.2023

Принята 20.04.2023

Received 02.04.2023

Revised 15.04.2023

Accepted 20.04.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-36-49

УДК 004.623



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ФРАЗ В БАЗУ ДАННЫХ

*Г.А. Гареева, М.Р. Хамидуллин,  
Р.Р. Нурутдинов, Р.Я. Шайхутдинов*

*При создании современных автомобилей помимо аналоговых и механических устройств, очень широко применяются и цифровые технологии.*

*В статье рассмотрен процесс разработки программного обеспечения для групповой выгрузки текстовых фраз в базу данных на языке программирования C# и с использованием фреймворка Windows Presentation Framework, что целесообразно применять для облегчения задач разработки процедур диагностики автомобиля.*

**Цель** – разработка программного обеспечения для групповой выгрузки текстовых фраз в базу данных на языке программирования C# и с использованием фреймворка Windows Presentation Framework (WPF).

**Метод или методология проведения работы:** в статье рассмотрен проект по разработке WPF приложения для групповой выгрузки текстовых фраз в базу данных.

**Результаты:** была разработана программа с UI интерфейсом для автоматизации выгрузки фраз в базу данных.

**Область применения результатов:** полученные результаты целесообразно применять для облегчения задач разработки процедур диагностики автомобиля.

**Ключевые слова:** программное обеспечение; база данных; фраза; перевод; WPF; выгрузка; UI; интерфейс; программирование; разработка

**Для цитирования.** Гареева Г.А., Хамидуллин М.Р., Нурутдинов Р.Р., Шайхутдинов Р.Я. Разработка программного обеспечения для групповой локализации фраз в базу данных // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 36-49. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-36-49

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE GROUP LOCALIZATION OF PHRASES IN THE DATABASE

**G.A. Gareeva, M.R. Khamidullin,  
R.R. Nurutdinov, R.Y. Shaikhutdinov**

*When creating modern cars, in addition to analog and mechanical devices, digital technologies are also very widely used.*

*The article considers the process of software development for group unloading of text phrases into a database in the C# programming language and using Windows Presentation Framework, which is reasonable to apply to facilitate the tasks of developing car diagnostics procedures.*

**The goal** is to development of software for group uploading of text phrases to a database in the C# programming language and using the Windows Presentation Framework (WPF).

**The method or methodology of the work:** *the article discusses a project to develop a WPF application for group uploading of text phrases to a database.*

**Results:** *a program with a UI interface has been developed to automate the unloading of phrases into the database.*

**Scope of the results:** *the obtained results should be used to facilitate the tasks of developing car diagnostic procedures.*

**Keywords:** *software; database; phrase; translation; WPF; upload; UI; interface; programming; development*

**For citation.** *Gareeva G.A., Khamidullin M.R., Nurutdinov R.R., Shaikhutdinov R.Y. Development of Software for the Group Localization of Phrases in the Database. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 36-49. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-36-49*

## **Введение**

При создании современных автомобилей на производстве, помимо аналоговых и механических устройств, очень широко применяются и цифровые технологии. Применение электронных блоков управления для разных компонентов автомобиля повышает надёжность, упрощает конфигурирование и разработку узлов. В создании электронных блоков управления активно используются наработки как отечественных, так и зарубежных партнёров. Это позволяет сэкономить ресурсы и время на разработке своих решений с нуля.

Диагностика подразумевает под собой определённый набор данных, хранящих в себе информацию о различных параметрах автомобиля, таких как количество чего-либо в различных единицах измерения, всевозможные статусы и состояния, инструкции к различным процедурам, действиям. Вся эта информация имеет смысловую привязку к языку, то есть она должна быть локализована для всех пользователей программного обеспечения.

## **Материалы и методы**

Для реализации программного обеспечения для выгрузки текстовых фраз локализации в базу данных выбран язык C# и его фреймворк Windows Presentation Framework (WPF).

C# в сочетании с WPF имеет большой набор инструментов и хорошую гибкость для реализации задач подобного плана. В связи с выбором языка программирования C#, в качестве среды разработки был выбран Visual Studio Community 2019. Это обу-

словлено тем, что Visual Studio имеет нативную поддержку C# и его фреймворков, а также очень хорошо себя показывает не только на стадиях проектирования программного обеспечения, но и отладке готовой программы.

Для облегчения процесса разработки проект было решено поделить на 3 части (рис. 1, 2).

В части Client расположена форма для взаимодействия пользователя с программой, а также её программная часть, управляющая поведением интерфейса и взаимодействием с другими частями программы.

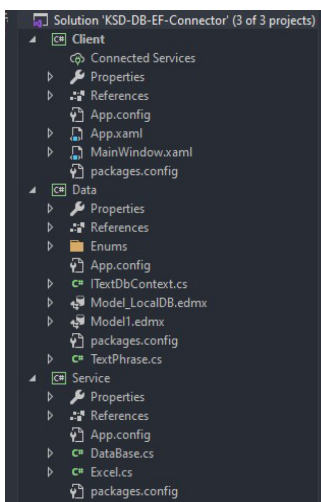


Рис. 1. Структура проекта программного обеспечения

Раздел Data содержит в себе вспомогательные файлы для обеспечения работы расширений, связанных с взаимодействием с базами данных.

Помимо этого, здесь располагаются классы выбора типа подключения (локальная или глобальная база данных), режим загрузки фраз (с обновлением или без), а также прописана структура обработки фразы (рис. 3).



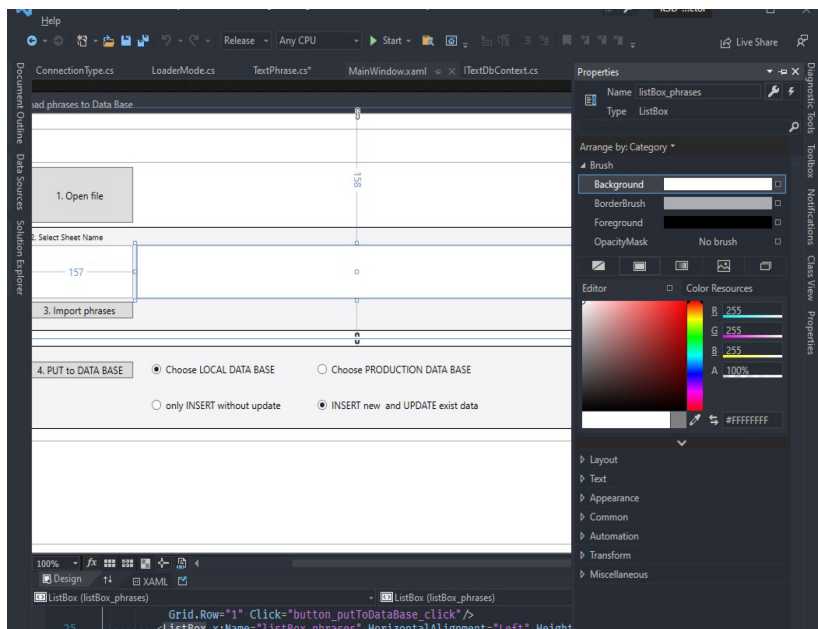


Рис. 2. Окно проектирования главной формы программы

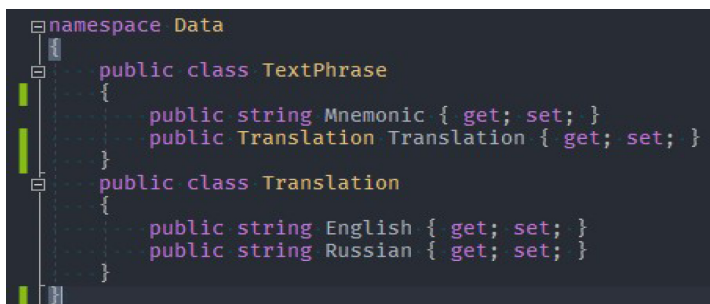


Рис. 3. Класс, описывающий структуру хранения фразы

Так как требуется поддержка всего двух языков, русского и английского, то и база данных, и данная программа рассчитаны на работу с двумя типами переводов. Обе локализации объединяются под единым кодом – мнемоникой.

Список добавленных фраз формируется в таблице Excel, соответственно программа должна уметь читать данные из этого формата файлов. Фрагмент взаимодействия с базой данных и файлами формата Excel реализован в разделе Service.

Помимо чтения и записи строк локализации на данном этапе происходит обработка текста на основе необходимых требований. Так как интерфейс GradeX Runtime представляет собой HTML страницу, то кавычки внутри текстовых фраз могут нарушить работы программного обеспечения. Чтобы избавиться от этой проблемы был также реализован метод, ищущий в считанных строчках кавычки и некоторые другие символы, так или иначе влияющие на работоспособность, и заменяющий их на HTML-коды (рис. 4, 5).

```
public string ReplaceQuotesAndApos(string InputStr)
{
    string OutputStr = "";
    for (int i = 0; i < InputStr.Length; i++)
    {
        switch (InputStr[i])
        {
            case '\\':
                OutputStr += "&prime;";
                break;
            case '\":
                OutputStr += "&Prime;";
                break;
            case '<':
                OutputStr += "&lt;";
                break;
            case '>':
                OutputStr += "&gt;";
                break;
            default:
                OutputStr += InputStr[i];
                break;
        }
    }
    return OutputStr;
}
```

Рис. 4. Фрагмент кода, заменяющий символы на HTML-коды

Таким образом, для разработки программного обеспечения для выгрузки текстовых фраз локализации было решено применять C# и его фреймворк WPF.

```

        _dbContext.Local.Database.ExecuteSqlCommand(String.Format("UPDATE
TRANSLATIONS SET MESSAGE='{1}' WHERE MESSAGE_ID={0} AND LOCALE_ID=1",
message_db.MESSAGE_ID.ToString(), ReplaceQuotAndApos
(phrase.Translation.English)));

```

**Рис. 5.** Строка загрузки строк в базу данных с вызовом обработки строки ReplaceQuotAndApos()

Для удобства на этапе разработки программа была поделена на 3 части: Client – интерфейс, Data – поддержка расширений и хранение данных, Service – чтение данных из таблиц Excel и запись в базу данных.

Помимо чтения и записи программа так же может обрабатывать текстовые фразы, проводя над ними различные операции.

## Результаты

После завершения разработки процедуры диагностики следует сгруппировать все новые текстовые фразы локализации в одном Excel файле (рис. 6).

	A	B	C
1	ECU.MD1.IDENT.SWNUMBER	ECU Software Number	Программный номер ЭБУ
2	ECU.MD1.IDENT.SWVNUMBER	ECU Software Version Number	Версия программно номера ЭБУ
3	ECU.MD1.IDENT.RSCODE	Repair Shop Code	Код сервисного центра
4			
5			
6			

**Рис. 6.** Строки локализации, сгруппированные в Excel таблице

Программа выгрузки фраз чувствительна к формату заполнения Excel таблицы, поэтому необходимо придерживаться ряд требований.

Первый столбец содержит код-мнемонику, указывающую на конкретную строку перевода; обязательных требований к формату мнемоники нет, но желательно придерживаться одного формата, второй столбец содержит строчку английской локализации, третий столбец содержит строчку русской локализации.

Так же можно использовать разные листы Excel таблицы, если необходимо логически делить массивы строк. При запуске программы появляется окно, изображённое на рисунке 7.

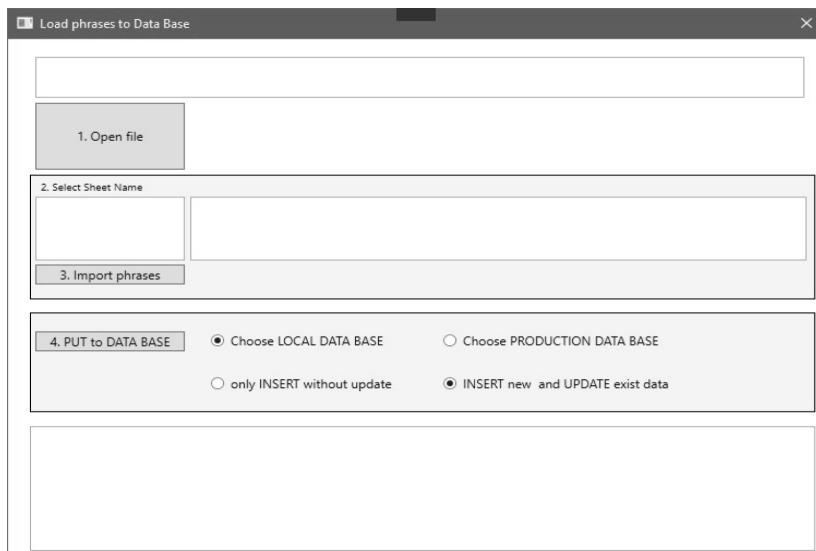


Рис. 7. Программа для загрузки текстовых фраз в базу данных

Основные элементы управления:

- ✓ текстовое поле уведомлений (сверху) – отображает уведомления о статусе чтения и выгрузки фраз;
- ✓ «open file» – открывает окно выбора файла со списком строк локализации;
- ✓ «select sheet name» – секция выбора листов в Excel файле, если в файле больше одного листа, то можно выбрать конкретный;
- ✓ «import phrases» запускает функцию выгрузки фраз;
- ✓ «put to data base» – секция для настройки параметров выгрузки: «choose local data base» и «choose production data base» – выбор базы данных, локальная база данных предназначена для отладки переводов, глобальная для использования непосредственно клиентом;

- ✓ «only insert without update»и «insert new and update exist data» – вставить новые фразы, без обновления старых, или обновить старые включительно;
- ✓ текстовое поле логов – отображает статус загрузки каждой отдельной строки (добавлена, обновлена или ошибка).

После выбора параметров программа формирует соответствующий SQL запрос с данными и отправляет его в базу данных (рис. 8).

```

}
break;
case ConnectionType.local_side_DB:
{
    _dbContext_local.Database.ExecuteNonQuery(String.Format("INSERT INTO MESSAGES(MNEMONIC, MESSAGE_ID, APPROVAL_STATE, NON_TRANSLATABLE, ORIGINAL_LOCALE_ID, MESSAGE_TYPE) VALUES ({0}', {1}, 2, 0, 1, 2);", phrase.Mnemonic, messageId.ToString()));
    _dbContext_local.Database.ExecuteNonQuery(String.Format("INSERT INTO TRANSLATIONS (MESSAGE_ID, LOCALE_ID, MESSAGE, REVISION, IN_TRANSLATION, MESSAGE_TYPE) VALUES ({0}, 1, '{1}', 0, 0, 2);", messageId.ToString(), ReplaceQuotesAndApos(phrase.Translation.English)));
    _dbContext_local.Database.ExecuteNonQuery(String.Format("INSERT INTO TRANSLATIONS (MESSAGE_ID, LOCALE_ID, MESSAGE, REVISION, IN_TRANSLATION, MESSAGE_TYPE) VALUES ({0}, 17, '{1}', 0, 0, 2);", messageId.ToString(), ReplaceQuotesAndApos(phrase.Translation.Russian)));
}
break;

```

**Рис. 8.** Фрагмент кода выгрузки, отвечающий за создание новой записи в локальной базе данных

## Выводы

В данной статье представлена UI программа для групповой выгрузки текстовых фраз в базу данных. Таким образом, было разработано программное обеспечение для выгрузки текстовых фраз локализации в базу данных со следующим алгоритмом действий: сначала формируется Excel таблица со списком фраз, после этого данный файл прикрепляется в программе и производится настройка запроса к базе данных – выбирается тип базы данных и параметры загрузки фраз. После выгрузки фраз при работе с Grade-X они автоматически подтягиваются из базы данных и встраиваются в интерфейс. Данную разработку целесообразно применять для облегчения задач разработки процедур диагностики автомобиля.

## Список литературы

1. Ахметов Л.М. Разработка системы анализа влажности и температуры в помещении на базе микроконтроллера // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IV международной научной конференции.

- 22-23 апреля 2021 г. Часть 1: материалы конференции. – Волгоград: ООО «Конверт», - 2021. – 248 с.
2. Ахметов Л.М., Биков Д.И., Хамидуллин М.Р. Разработка системы для анализа и разгрузки дорожного трафика с применением искусственного интеллекта // International Journal of Advanced Studies, 11(1), 2021, С. 87-98.
  3. Биков Д.И., Насибулин Р.О., Гареева Г.А. Потенциал и перспективы использования технологии интернет вещей // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей международной научной конференции. 30-31 января 2021 г. - Казань: ООО «Конверт», - 2021. – С.188-189.
  4. Бич, Мартин Микроконтроллеры семейства XC166. Вводный курс разработчика / Мартин Бич, Дэвид Гринхилл. - М.: ДМК Пресс, Додэка XXI, 2016. - 200 с.
  5. Кечиев Л. Н. IBIS-модели и их применение в задачах ЭМС / Л.Н. Кечиев. - М.: Грифон, 2016. - 638 с.
  6. Крапивин Р.Р., Гареева Г.А. Получение доступа к данным путем авторизации в аккаунт с помощью библиотеки Requests в языке Python // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IV международной научной конференции. 22-23 апреля 2021 г. Часть 1. - Волгоград: ООО «Конверт», - 2021. – С. 206-208.
  7. Правоткин И.А. Настройка и запуск программ на Python на удалённом хостинге // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности сборник научных статей по итогам двенадцатой международной научной конференции. Казань, 2020 Издательство: ООО «Конверт». - С. 78-80 с.
  8. Тугов В.В. Проектирование автоматизированных систем управления: учебное пособие / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Н.С. Шаров Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 172 с.
  9. Khamidullin M.R., Mardanshin R.G., Prozorov A.V., Karimov R.I. The Introduction of QR-Codes in Production Processes // Journal

of Environmental Treatment Techniques. 2019, Special Issue on Environment, Management and Economy. P. 1097-1100.

10. David Love. Tkinter GUI Programming by Example. – Packt Publishing, 2018. – 340 p.

### *References*

1. Akhmetov L.M. Razrabotka sistemy analiza vlazhnosti i temperatury v pomeshchenii na baze mikrokontrollera [Development of a system for analyzing humidity and temperature in a room based on a microcontroller]. *Innovatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statei IV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 22-23 aprelya 2021 g. Chast' 1.: materialy konferentsii.* – Volgograd: OOO «Konvert», - 2021. – 248 p.
2. Akhmetov L.M., Bikov D.I., Khamidullin M.R. Razrabotka sistemy dlya analiza i razgruzki dorozhnogo trafika s primeneniem iskusstvennogo intellekta [Development of a system for analyzing and unloading road traffic using artificial intelligence]. *International Journal of Advanced Studies*, 2021, 11(1), pp.87-98.
3. Bikov D.I., Nasibulin R.O., Gareeva G.A. Potentsial i perspektivy ispol'zovaniya tekhnologii internet veshchei [Potential and prospects for the use of Internet of things technology]. *Prioritetnye napravleniya innovatsionnoi deyatel'nosti v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statei mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 30-31 yanvarya 2021 g.* - Kazan': OOO «Konvert», - 2021. – pp. 188-189.
4. Bich, Martin *Mikrokontrollery semeistva XC166. Vvodnyi kurs razrabotchika* [Developer introductory course]/ Martin Bich, Devid Grinckhill. M.: DMK Press, Dodeka XXI, 2016. - 200 p.
5. Kechiev, L. N. *IBIS-modeli i ikh primeneniye v zadachakh EMS* [IBIS-models and their application in EMC tasks]. - M.: Grifon, 2016. - 638 p.
6. Krapivin R.R., Gareeva G.A. Poluchenie dostupa k dannym putem avtorizatsii v akkaunt s pomoshch'yu biblioteki Requests v yazyke Python [Gaining access to data by logging into an account using the Regesc library in the Pothon language]. *Innovatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: sbornik nauchnykh*

- statei IV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 22-23 aprelya 2021 g. Chast' I.* - Volgograd: OOO «Konvert», - 2021. – pp. 206-208.
7. Pravotkin I.A. Nastroyka i zapusk programm na Python na udalennom khostinge [Setting up and running programs on Python on a remote hosting]. *Prioritetnye napravleniya innovatsionnoi deyatel'nosti v promyshlennosti sbornik nauchnykh statei po itogam dvenadtsatoi mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii.* Kazan', 2020 Izdatel'stvo: OOO «Konvert» pp.78-80.
  8. Tugov V.V. *Proektirovanie avtomatizirovannykh sistem upravleniya : uchebnoe posobie* [Design of automated control systems: tutorial] / V.V. Tugov, A.I. Sergeev, N.S. Sharov. Sankt-Peterburg: Lan', 2019. 172 p.
  9. Khamidullin M.R., Mardanshin R.G., Prozorov A.V., Karimov R.I. The Introduction of QR-Codes in Production Processes. *Journal of Environmental Treatment Techniques.* 2019, Special Issue on Environment, Management and Economy. pp. 1097-1100.
  10. David Love. Tkinter GUI Programming by Example. Packt Publishing, 2018. 340 p.

### **ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ**

**Гареева Гульнара Альбертовна**, заведующий кафедрой информационных систем, кандидат педагогических наук, доцент  
*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
[gagareeva1977@mail.ru](mailto:gagareeva1977@mail.ru)

**Хамидуллин Марат Раисович**, доцент, кандидат экономических наук  
*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
[nauka\\_prom@mail.ru](mailto:nauka_prom@mail.ru)



**Нурутдинов Рияз Ринатович**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*  
*Российская Федерация*  
*nriyaz@mail.ru*

**Шайхутдинов Ринас Ягъфасович**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*  
*Российская Федерация*  
*iaqfas@mail.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Gulnara A. Gareeva**, Head of the Department of Information Systems, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*  
*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814,*  
*Russian Federation*  
*gagareeva1977@mail.ru*  
*Scopus Author ID: 36801593200*  
*ResearcherID: M-1728-2015*  
*SPIN-code: 3279-8465*

**Marat R. Khamidullin**, PhD in Economics

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*  
*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814,*  
*Russian Federation*  
*nayka\_prom@mail.ru*

**Riyaz R. Nurutdinov**, student

*Kazan National Research Technical University named after  
A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814,  
Russian Federation*

*nriyaz@mail.ru*

**Rinas Y. Shaikhutdinov**, student

*Kazan National Research Technical University named after  
A.N. Tupolev-KAI.*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814,  
Russian Federation*

*agfas@mail.ru*

Поступила 07.04.2023

После рецензирования 25.04.2023

Принята 01.05.2023

Received 01.04.2023

Revised 25.04.2023

Accepted 01.05.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-50-67

УДК 629.364



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНАХ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

***Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков,  
В.А. Ракитин, В.С. Петров***

*Доминирование России на мировом рынке энергоресурсов определяют масштаб и перспективы развития газотранспортной инфраструктуры для обеспечения непрерывного цикла поставки газа от месторождений до конечных потребителей. Условия эксплуатации объектов добычи, переработки, транспортировки, хранения и распределения газа связаны с воздействием факторов внешней среды, влияние которых в значительной мере варьирует из-за протяжённости газопроводов, охватывающих все климатические районы страны. Рост протяжённости новых и необходимость ремонта действующих участков по результатам внутритрубной диагностики способствуют увеличению объёма погрузочно-разгрузочных операций и складирования труб, поэтому исследования по совершенствованию методов определения потребности в автомобильных кранах при организации технологических процессов строительства и ремонта магистральных газопроводов актуальны.*

*Целью исследования является повышение эффективности эксплуатации автомобильных кранов в процессах капитального ремонта и строительства магистральных газопроводов.*

*Научную новизну выполненных исследований составляют закономерности формирования стоимости и трудоёмкости погруз-*

ки в зависимости от грузоподъёмности автомобильного крана и параметров груза.

Методология исследования основана на системном подходе, методах анализа технической эксплуатации автомобилей и апробированных методиках обработки данных.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве обоснованных рекомендаций для организации подготовительных работ на объектах капитального ремонта и строительства магистральных газопроводов, что повышает эффективность процессов, оптимизирует структуру автопарка и снижает стоимость выполнения технологических операций.

**Ключевые слова:** магистральные газопроводы; капитальный ремонт; строительство; оптимизация; транспортная работа; технологические операции; автомобильный кран; грузоподъёмность; эффективность

**Для цитирования.** Захаров Н.С., Сапоженков Н.О., Ракитин В.А., Петров В.С. Определение потребности в автомобильных кранах при организации строительства и ремонта магистральных газопроводов // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 50-67. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-50-67

Original article | Operation of Road Transport

## AUTOMOBILE CRANES QUANTITY DETERMINATION FOR MAIN GAS PIPELINES CONSTRUCTION AND REPAIR

***N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov,  
V.A. Rakitin, V.S. Petrov***

*Russia's dominance in the global energy market is predetermined by the scale and development prospects of gas transmission infrastructure to ensure a continuous cycle of gas supply from fields to*

*end consumers. Operating conditions of gas production, processing, transportation, storage and distribution facilities are associated with the influence of environmental factors, which varies greatly due to the length of pipelines covering all climatic regions of the country. The growth in the length of new pipelines and the need to repair existing pipelines based on the results of in-line diagnostics contribute to an increase in the volume of loading and unloading operations and the storage of pipes, therefore, studies on improving methods for determining the need for truck cranes when for constructions organizing technological processes and repair of main gas pipelines are relevant.*

*The purpose of the study is to determine the efficiency of truck cranes operation in the process of main gas pipelines overhaul and construction.*

*The scientific novelty is formed by the patterns of formation of the cost and labor intensity of loading, depending on the load capacity of a truck crane and the unloading pipes parameters.*

*The research methodology is based on a systematic approach, methods for analyzing the technical operation of vehicles and proven data processing techniques.*

*The recommendations made as a result of this study have been implemented to organize preparatory work at major main gas pipelines overhaul facilities and construction, which increases the efficiency of processes, optimizes the structure of special vehicles and reduces the cost of technological operations.*

**Keywords:** *main gas pipelines; overhaul; construction; optimization; transport work; technological operations; truck crane; lifting capacity; efficiency*

**For citation.** *Zakharov N.S., Sapozhenkov N.O., Rakitin V.A., Petrov V.S. Automobile Cranes Quantity Determination for Main Gas Pipelines Construction and Repair: International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 50-67. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-50-67*

## Введение

Россия занимает первое место в мире по разведанным запасам газа, а протяжённость магистральных газопроводов в составе единой газотранспортной сети превышает 178 тыс. км [1]. Тенденция к увеличению протяженности трубопроводов способствует росту объёмов работ по техническому обслуживанию и ремонту ввиду объективной необходимости инспектирования актуального состояния газотранспортной инфраструктуры и замены повреждённых участков из-за деградации показателей технического состояния, достижения предельного срока службы и влияния других факторов, препятствующих безопасной эксплуатации магистральных газопроводов на действующих участках при увеличении общей протяжённости за счёт строительства новых объектов. Стратегическое значение трубопроводов требует проведения планового капитального ремонта в составе операций по регулярному техническому обслуживанию для поддержания заданной надёжности и предотвращения аварийных ситуаций с частичной или полной остановкой подачи газа, поэтому эффективность системы транспортного обеспечения технологических операций по строительству и ремонту имеет особую значимость для своевременного выполнения заданных объёмов работ с минимальными затратами (Рис. 1).

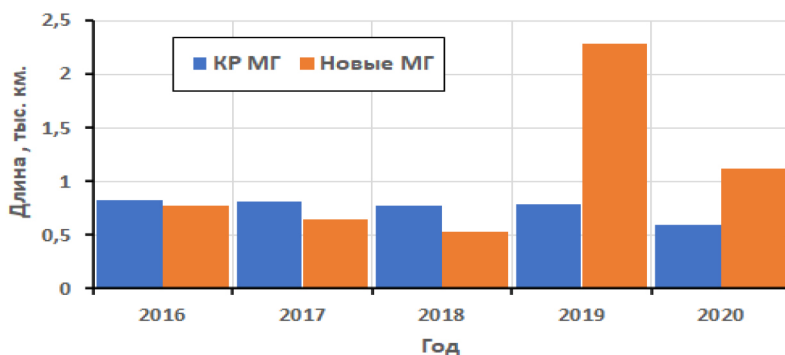
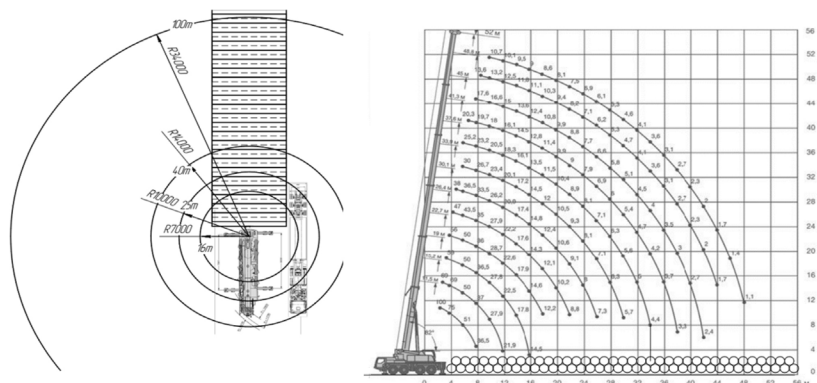


Рис. 1. Среднегодовая динамика ввода в эксплуатацию новых участков и капитального ремонта действующих в ПАО «Газпром» [1]

При организации работ по ремонту и строительству газопроводов на земле возводятся временные склады для хранения и подготовки труб, поэтому удельная стоимость использования оборудования для выполнения погрузочно-разгрузочных работ в существенной мере влияет на экономические показатели технологических процессов. Процесс капитального ремонта включает в себя несколько этапов: транспортировку труб на места временного складирования, погрузочно-разгрузочные операции, транспортировку к месту проведения работ, после чего осуществляется замена повреждённых труб на новые [2, 7, 9, 11]. В настоящее время автомобильные краны для выполнения погрузочно-разгрузочных операций выбираются исходя из загруженности подвижного состава без учёта способа складирования, сроков ремонта и количества труб на объектах [12–13]. Вылет стрелы автомобильного крана определяется в соответствии с правилами Ростехнадзора [2, 3–6], где указывается грузовая устойчивость на основе характеристик, рассчитанных для текущего положения стрелы перпендикулярно к ребру минимальной устойчивости крана (Рисунок 2).



**Рис. 2.** Анализ грузовысотных характеристик автомобильных кранов

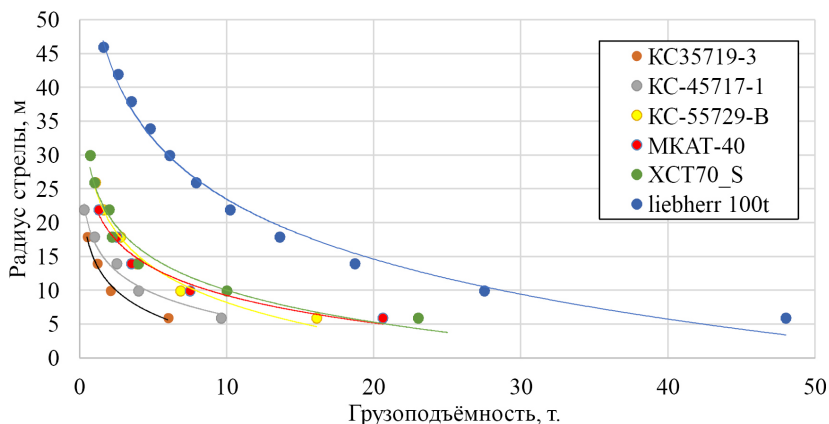
Увеличение грузоподъёмности способствует снижению трудоёмкости процесса погрузки и разгрузки труб за счёт увеличения

вылета стрелы, но при этом повышается стоимость машино-часа и увеличивается сложность выполнения технологических операций, так как по мере роста грузоподъёмности усложняются процессы приведения из транспортного в рабочее положение, растёт стоимость оборудования и предъявляются более высокие требования к квалификации задействованного персонала [10]. Таким образом, для эффективной организации транспортного обеспечения при подборе автомобильных кранов для работы на местах капитального ремонта и строительства магистральных газопроводов требуется дополнительная оценка численных значений показателей грузоподъёмности с учётом временных и сметных ограничений [8, 16, 17].

В соответствии с ГОСТ 3144–2012, к магистральным относят трубы с диаметром более 114 мм., при этом трубы малых диаметров используются в инженерных коммуникациях на объектах распределения и регулирования, а непосредственно для магистральных газопроводов применяются трубы, диаметр которых варьирует в пределах 508–1420 мм с толщиной стенок от 7 до 48 мм. Практика показывает, что транспортировка газа на большие расстояния преимущественно осуществляется через трубы с высокой пропускной способностью диаметром 1420 мм.[14–16], что в совокупности с воздействием климатических условий эксплуатации, особенностей грунта, деформации сварных соединений и методов балластировки в местах прокладки формирует основной поток требований по замене. Складирование таких труб осуществляется в два ряда с ограничением высоты в 3 метра для оптимального использования пространства, обеспечения устойчивости и предотвращения аварийных ситуаций [11], поэтому зависимость оптимальной грузоподъёмности автомобильных кранов от количества труб и протяжённости ремонтных участков может быть установлена на основе ключевых показателей эксплуатационных свойств и грузовысотных характеристик. Для установления закономерностей формирования стоимости вы-



полнения технологических операций были выбраны наиболее популярные автомобильные краны в составе 9 размерных групп, грузоподъемность которых варьирует в диапазоне от 4 до более, чем 100 тонн. Начальные значения грузоподъемности верхнего оборудования соответствуют специальным автомобилям на базовом шасси колёсных грузовых автомобилей шоссейного или вездеходного типа, в то время как для крупнотоннажных кранов применяются специальные многоосные платформы повышенной проходимости с улучшенной маневренностью за счёт нескольких управляемых осей.



**Рис. 3.** Зависимость грузоподъемности от радиуса стрелы

Для определения стоимости погрузки с учётом количества труб и грузоподъемности автомобильных кранов далее необходимо сравнить численные значения показателей эксплуатационных свойств исследуемых моделей:

1. Грузоподъемность: максимальный вес, который кран способен поднимать и транспортировать груз.
2. Радиус действия: максимальное расстояние, на которое кран может поднимать и перемещать трубы при фактическом вылете стрелы.

3. Устойчивость: надёжность фиксации во время подъема и транспортировки труб с учётом ограничений по требованиям безопасности.

Радиус стрелы определяется как расстояние между центром крана и крайней точки стрелы, поэтому максимальное количество труб для складирования без дополнительного перемещения крана рассчитывается с учётом ограничений по номинальной грузоподъёмности по мере увеличения вылета (Рисунок 3).

В этой связи для оценки производительности крана на первом этапе необходимо определить время цикла:

$$T = t_1 + t_2 + t_3, \quad (1)$$

где  $t_1$  – время вертикального перемещения стрелы;

$t_2$  – время на поворот стрелы;

$t_3$  – время на закрепление груза

Далее рассчитывается грузоподъёмность крана на вылете:

$$G = m + 0,2, \quad (2)$$

где  $m$  – масса трубы

Грузоподъёмность автомобильного крана на вылете позволяет определить коэффициент использования крана:

$$k_g = \frac{m}{G}, \quad (3)$$

Производительность без учёта времени на переезд:

$$P = 3600 \cdot G \cdot \frac{K_g}{t}, \quad (4)$$

Количество труб для погрузки с учётом грузоподъёмности на максимальном вылете стрелы:

$$K_0 = \frac{R}{D} \cdot n, \quad (5)$$

где  $R$  – максимальный радиус вылета стрелы;

$D$  – диаметр трубы;

$n$  – количество рядов по высоте

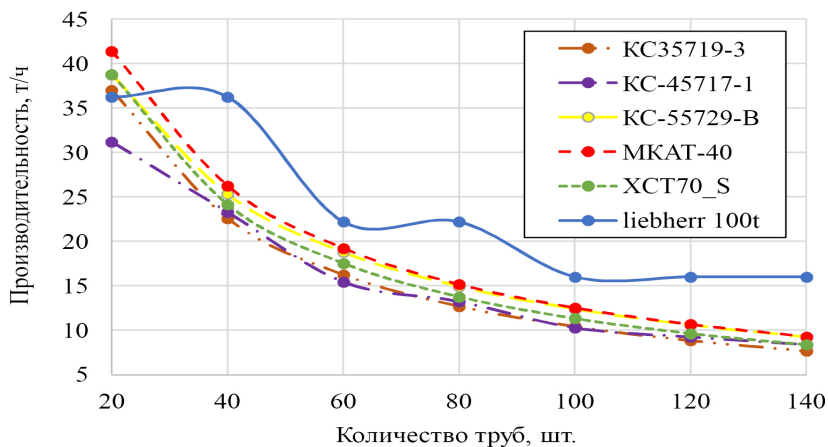
Таким образом, формируются исходные данные для оценки удельной производительности автомобильных кранов при выполнении погрузочно-разгрузочных операций (Таблица 1).

Таблица 1.

**Оценка численных значений показателей эксплуатации  
автомобильных кранов**

Параметр	KC35719-3	KC-45717-1	KC-55729-B	МКАТ-40	XCT70_S	liebherr 100t
Время цикла, с.	154,35	162,29	191	161,60	160,5	160,33
Производительность при одном переезде, т/ч	102,37	97,36	82,73	97,78	98,45	98,55
Количество труб, без переезда	10	14	20	20	22	48
Всего переездов	9,6	6,85	4,8	4,8	4,36	2
Расстояние переезда, м	7,20	10,20	14,38	14,08	15,65	34,01
Время выдвижения стрелы, с	20,95	39,60	76,23	59,79	75,29	120,88
Время переезда, с	136,13	171,94	216,58	219,85	246,56	275,35

Результаты оценки производительности для исследуемых моделей колёсных кранов позволяют определить время выполнения погрузочно-разгрузочных операций в зависимости от количества труб (Рис. 4).



**Рис. 4.** Зависимость производительности от количества труб

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением грузоподъёмности растёт стоимость погрузки, однако, по мере увеличения количества труб тенденция меняется. В этой связи, для повышения точности оценки полученные в результате аппроксимации уравнения преобразованы в итоговую модель закономерности формирования стоимости в зависимости от грузоподъёмности автомобильного крана и количества труб [13]:

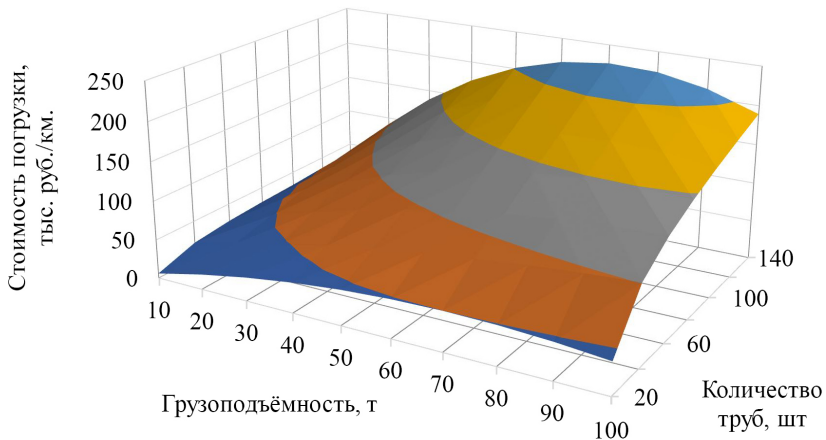
$$P_m = (a_1 \cdot G^2 + b_1 \cdot G + c_1) \cdot K^2 + (a_2 \cdot K^2 + b_2 \cdot K + c_2) \cdot K + (a_3 \cdot K^2 + b_3 \cdot K + c_3), \quad (7)$$

где  $a, b, c$  – параметры модели;

$G$  – грузоподъёмность;

$K$  – количество труб

Разработанная модель используется для оценки стоимости погрузки 1 км. трубы в зависимости от грузоподъёмности и количества труб на объекте, в результате чего рассчитывается оптимальное количество автомобильных кранов и продолжительность технологических операций по организации погрузочно-разгрузочных работ с учётом календарных планов по объёму работ (Рисунок 5).



**Рис. 5.** Модель зависимости удельной стоимости технологических операций от грузоподъёмности и количества труб

Исследования показали, что применение крупнотоннажных кранов наиболее целесообразно при организации складирования большого количества труб в местах длительного хранения, железнодорожных хабах и промежуточных логистических центрах снабжения, поэтому для обслуживания временных складов такие краны подходят только в случаях масштабных проектов по ремонту и строительству либо при жёстких ограничениях по времени выполнения технологических операций, что требует дополнительных затрат на доставку, подготовку поверхности основания, развёртывание и перевод из транспортного в рабочее положение. В других случаях использование автомобильных кранов меньшей грузоподъёмности оказывается эффективнее, так как увеличение времени выполнения технологических операций из-за необходимости осуществления дополнительных переездов и ограничений по вылету стрелы при том же количестве труб незначительно отражается на стоимости, что с учётом затрат на перемещения до объекта, возможности развёртывания без критичных требований к качеству поверхности и пониженной ставки машино-часа позволяет при сопоставимых расходах ускорить погрузочно-разгрузочные работы без существенного увеличения итоговой стоимости, поэтому при распределённой системе транспортного обеспечения ПАО «Газпром» такие краны рекомендуется закреплять за компрессорными станциями с учётом запланированных объёмов по капитальному ремонту аварийно-восстановительных служб, результатов периодической внутритрубной диагностики, среднего возраста и условий эксплуатации труб на контролируемых участках.

Таким образом, применение разработанной модели на стадиях планирования календарных объёмов работ, выполнения инженерных изысканий и согласования проектных ограничений позволяет оптимизировать затраты на выполнение погрузочно-разгрузочных операций в процессах капитального ремонта и строительства магистральных газопроводов на основе повышения эффективности эксплуатации автомобильных кранов в составе парка транспортных и транспортно-технологических машин. Полученные

результаты могут быть использованы для разработки объективных рекомендаций по формированию структуры транспортного обеспечения в зависимости от протяжённости трубопроводов и совершенствования методов определения целесообразности использования услуг сторонних организаций с учётом объёма работ, грузовысотных характеристик автомобильных кранов и удалённости промежуточных мест сканирования труб от объектов транспортной сети. Дальнейшие исследования направлены на сбор и анализ данных для моделирования показателей эксплуатации автомобильных кранов в зависимости от методов прокладки трубопроводов и масштабирования методики формирования парка специальных транспортных средств. Экономический эффект образуется за счёт повышения удельной производительности при обеспечении соответствия параметров работы верхнего оборудования заданному объёму технологических работ.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

### *Список литературы*

1. Единая система газоснабжения России // ПАО Газпром : [сайт]. – 2023. –URL: <https://www.gazprom.ru/about/production/transportation/>
2. Гатауллин В. З. Выбор рациональной структуры парка автомобильных кранов // European journal of economics and management sciences. 2018. №1. – С. 61-65.
3. ГОСТ 10692-2015. Трубы стальные, чугунные и соединительные детали к ним. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с.
4. Дзюба Д. С. Оптимизация технологического комплекса капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов // Территория Нефтегаз. 2012. №6. С. 88-89.

5. Жадановский Б.В., Синенко С.А., Мирошникова И.М. Организация строительно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ в строительстве автомобильными кранами // Системные технологии. 2018. №2 (27). С. 41-47.
6. Колпаков А. В., Новичков В. Н. Оптимизация погрузочно-разгрузочных работ как фактор повышения производительности труда на автотранспортных предприятиях // Сервис в России и за рубежом. 2018. №3 (81). – С. 147–151
7. Кoryтoв М. С. О перемещении груза автокраном вдоль заданной траектории при ограничении количества одновременно управляемых координат // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2009. №2 (24). – С. 105-112.
8. Мамаев К.М. Математическое моделирование нагрузок автокрана и возможность расширения его характеристик грузоподъемности // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2011. №4. – С. 61-65.
9. Ремизов Д. И., Дзюба Д. С. К вопросу оптимизации капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов // Территория Нефтегаз. 2012. №5. С. 72-73.
10. Совершенствование проектирования капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов / Велиюлин И. И. [и др.] // Территория Нефтегаз. 2009. №12. С. 44-48.
11. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Особенности моделирования логистических систем // International Journal of Advanced Studies. 2019. Т. 9, No 4. С. 27-31.
12. Агапова Е.Г., Попова Т.М. Имитационная модель участка транспортной сети // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10, No 4. С. 139-144
13. Huseyin M. C., Qualitative Risk of Gas Pipelines, American Journal of Energy Engineering. Vol. 3, 2015, pp. 53-56. <https://doi.org/10.11648/j.ajee.20150303.14>
14. Kitaev S. V., Darsalia N. M., Baykov I. R., Smorodova O. V. The main gas pipelines defects analyzing by operation period and extension //

- Oil and Gas Studies, 2019, pp. 93–99. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-6-93-99>
15. Maksimychev O. I., Ostroukh A. V., Pastukhov D. A., Nuruev Y. E.-O., Karelina M. Y., Zhankaziev S. V. Automated control system of road construction works // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. № 9. C. 6441–6446.
  16. Makarova A.N., Zakharov N.S. The Regularity Model of the Average Daily Mileage and Trip Length Influence on Actual Frequency of Car Engineering Servicing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. – pp. 032040.
  17. Zakharov N.S., Makarova A.N., Buzin V.A. Basic Simulation Models of Car Failure Flows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. – pp. 042084.

### *References*

1. Unified gas supply system of Russia, PAO Gazprom, 2023. –URL: <https://www.gazprom.ru/about/production/transportation/>
2. Gataullin V. Z. Vybor ratsional'noy struktury parka avtomobil'nykh kranov [The choice of a rational structure of the truck cranes fleet]. *European journal of economics and management sciences*. 2018. №1. – pp. 61–65.
3. GOST 10692-2015. Truby stal'nye, chugunnye i soedinitel'nye detali k nim [Pipes steel, pig-iron and connecting details for them.]. *M.: Standartinform*, 2015. 12 p.
4. Dzyuba D. S. Optimizatsiya tekhnologicheskogo kompleksa kapital'nogo remonta lineynoy chasti magistral'nykh gazoprovodov [Optimization of the technological complex for the linear part of the main gas pipelines overhaul]. *Territoriya Neftegaz* [Territory Neftegaz]. 2012. №6. pp. 88–89.
5. Zhadanovskiy B.V., Sinenko S.A., Miroshnikova I.M. Organizatsiya stroitel'no-montazhnykh i pogruzochno-razgruzochnykh rabot v stroitel'stve avtomobil'nykh kranami [Organization of installation and unloading works in construction by truck cranes]. *Sistemnye tekhnologii* [System Technologies]. 2018. №2 (27). pp. 41–47.



6. Kolpakov A. V., Novichkov V. N. Optimizatsiya pogruzochno-razgruzochnykh rabot kak faktor povysheniya proizvoditel'nosti truda na avtotransportnykh predpriyatiyakh [Optimization of loading and unloading operations as a factor in increasing labor productivity at motor transport enterprises]. *Servis v Rossii i za rubezhom* [Russia's and abroad service]. 2018. №3 (81). – pp. 147–151
7. Korytov M. S. O peremeshchenii gruzha avtokranom vdol' zadannoy traektorii pri ogranichenii kolichestva odnovremenno upravlyaemykh koordinat [About the movement of cargo by a truck crane along a given trajectory with the limiting of simultaneously controlled coordinates number]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskije nauki* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Engineering sciences]. 2009. №2 (24). – pp. 105–112.
8. Mamaev K. M. Matematicheskoe modelirovanie nagruzok avtokrana i vozmozhnost' rasshireniya ego kharakteristik gruzopod'emnosti [Mathematical modeling of truck crane loads and its load capacity characteristics expanding possibility]. *Vestnik DGTU. Tekhnicheskije nauki* [Bulletin of DSTU. Technical science]. 2011. №4. – pp. 61–65.
9. Remizov D. I., Dzyuba D. S. K voprosu optimizatsii kapital'nogo remonta lineynoy chasti magistral'nykh gazoprovodov [On the issue of the main gas pipeline's linear part overhaul optimizing]. *Territoriya Neftegaz* [Territory Neftegaz]. 2012. №5. pp. 72–73.
10. Veliyulin I. I., Reshetnikov A. D., Kolotovskiy P. A., Arbuzov M. V., Shafikov R. R. Sovershenstvovanie proektirovaniya kapital'nogo remonta lineynoy chasti magistral'nykh gazoprovodov [Improving the design of the main gas pipeline's linear part overhaul]. *Territoriya Neftegaz* [Territory Neftegaz]. 2009. №12. pp. 44-48.
11. Shakirov A. A., Zaripova R. S. Osobennosti modelirovaniya logisticheskikh sistem [Features of logistics systems modeling]. *International Journal of Advanced Studies*. 2019. T. 9, No 4. pp. 27-31.
12. Agapova E. G., Popova T. M. Imitatsionnaya model' uchastka transportnoy seti [Simulation model of the transport network section]. *International Journal of Advanced Studies*. 2020. T. 10, No 4. pp. 139–144

13. Huseyin M. C., Qualitative Risk of Gas Pipelines, *American Journal of Energy Engineering*. Vol. 3, 2015, pp. 53-56. <https://doi.org/10.11648/j.ajee.20150303.14>
14. Kitaev S. V., Darsalia N. M., Baykov I. R., Smorodova O. V. The main gas pipelines defects analyzing by operation period and extension. *Oil and Gas Studies*, 2019, pp. 93–99. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-6-93-99>
15. Maksimychev O. I., Ostroukh A. V., Pastukhov D. A., Nuruev Y. E.-O., Karelina M. Y., Zhankaziev S. V. Automated control system of road construction works. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Т. 11. № 9. pp. 6441–6446.
16. Makarova A.N., Zakharov N.S. The Regularity Model of the Average Daily Mileage and Trip Length Influence on Actual Frequency of Car Engineering Servicing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. – pp. 032040.
17. Zakharov N.S., Makarova A.N., Buzin V.A. Basic Simulation Models of Car Failure Flows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. – pp. 042084.

### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Захаров Николай Степанович**, заведующий кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин», доктор технических наук, профессор  
*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*  
Ул. Володарского 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация  
[eom@tyuiu.ru](mailto:eom@tyuiu.ru)

**Сапоженков Николай Олегович**, доцент кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин», кандидат технических наук  
*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*  
Ул. Володарского 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация  
[eom@tyuiu.ru](mailto:eom@tyuiu.ru)

**Ракитин Владимир Александрович**, соискатель кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин»  
*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*  
*Ул. Володарского 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация*  
*eom@tyuiu.ru*

**Петров Вячеслав Сергеевич**, студент кафедры «Автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин»  
*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*  
*Ул. Володарского 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация*  
*slava99-04@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Nikolai S. Zakharov**, Head of the department “Service of cars and technological machines”, Doctor of technical sciences, Professor  
*Tyumen Industrial University*  
*st. Volodarskogo 38, Tyumen, 625000, Russian Federation*  
*eom@tyuiu.ru*

**Nikolai O. Sapozhenkov**, Associate Professor of the Department “Service of cars and technological machines”, Candidate of Technical Sciences  
*Tyumen Industrial University*  
*st. Volodarskogo 38, Tyumen, 625000, Russian Federation*  
*eom@tyuiu.ru*

**Vladimir A. Rakitin**, Competitor of the Department “Service of cars and technological machines”, doctor of technical sciences, professor  
*Tyumen Industrial University*

*st. Volodarskogo 38, Tyumen, 625000, Russian Federation  
eom@tyuiu.ru*

**Vyacheslav S. Petrov**, Student of the Department of Road Transport,  
Construction and Road Machinery  
*Tyumen Industrial University  
st. Volodarskogo 38, Tyumen, 625000, Russian Federation  
slava99-04@mail.ru*

Поступила 01.05.2023

После рецензирования 15.05.2023

Принята 23.05.2023

Received 01.05.2023

Revised 15.05.2023

Accepted 23.05.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-68-81

УДК 656.13



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

## ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В МЕСТАХ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

*И.В. Бородулин, О.С. Гасилова,  
А.А. Мальцева, Б.А. Сидоров*

*Проанализировано движение транспортных средств в местах разделения транспортных потоков. Определен скоростной режим движения транспортных средств по полосам движения на регулируемом пересечении в местах разделения транспортных потоков. Зафиксировано, что в местах разделения транспортных потоков число формирующихся «пачек» увеличивается. Движение сформированных «пачек» движущихся автомобилей обуславливает скоростной режим транспортных средств. Эксперимент показал, что скорость движения по полосам различна. На полосе движения с большим количеством сформировавшихся «пачек» скорость движения автомобилей меньше, чем на полосе с меньшим количеством «пачек». Установлено, что наличие «пачек», особенно в местах разделения транспортных потоков, приводит к большому разбросу диапазона изменения скорости движения транспортных средств на пересечении. Наибольшее значение скоростного режима движения транспортных средств при движении на экспериментальном участке находится в пределах 15-20 км/ч, а наименьшее меньше 5 км/ч.*

*Цель – определение факторов, влияющих на изменение скоростного режима движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков.*

**Метод или методология проведения работы:** в работе использовались статистические методы обработки натурного эксперимента.

**Результаты:** определены диапазоны изменения скорости движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков по полосам движения и причины их изменения.

**Область применения результатов:** полученные результаты целесообразно применять при разработке мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения в местах разделения транспортных потоков и организации дорожного движения на пересечениях.

**Ключевые слова:** улично-дорожная сеть; регулируемое пересечение; транспортный поток; скорость движения транспортных средств; транспортное средство

**Для цитирования.** Бородулин И.В., Гасилова О.С., Мальцева А.А., Сидоров Б.А. Оценка неравномерности движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 68-81. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-68-81

Original article | Operation of Road Transport

## ASSESSMENT OF THE UNEVENNESS OF THE MOVEMENT OF VEHICLES IN THE PLACES OF SEPARATION OF TRAFFIC FLOWS

*I.V. Borodulin, O.S. Gasilova,  
A.A. Mal'tseva, B.A. Sidorov*

*The movement of vehicles in the places of separation of traffic flows is analyzed. The high-speed mode of movement of vehicles along traffic lanes at a regulated intersection in the places of traffic flow separation has been determined. It is recorded that the number of formed*

*“bundles” increases in the places of separation of transport flows. The movement of the formed “packs” of moving cars determines the speed mode of vehicles. The experiment showed that the speed of movement along the lanes is different. In a lane with a large number of formed “bundles”, the speed of cars is less than in a lane with a smaller number of “bundles”. It is established that the presence of “bundles”, especially in the areas of separation of traffic flows, leads to a large variation in the range of changes in the speed of vehicles at the intersection. The highest value of the speed mode of vehicles when driving on the experimental section is within 15-20 km/h, and the lowest is less than 5 km/h.*

**Purpose** – *determination of the factors influencing the change in the speed regime of vehicles in the places of separation of traffic flows.*

**Methodology** *statistical methods of processing a full-scale experiment were used in the work.*

**Results:** *the ranges of changes in the speed of vehicles in places where traffic flows are separated by lanes and the reasons for their changes are determined.*

**Practical implications:** *the obtained results should be used in the development of measures to ensure road safety in places of separation of traffic flows and the organization of traffic at intersections.*

**Keywords:** *street and road network; regulated intersection; traffic flow; vehicle speed; vehicle*

**For citation.** *Borodulin I.V., Gasilova O.S., Mal'tseva A.A., Sidorov B.A. Assessment of the Unevenness of the Movement of Vehicles in the Places of Separation of Traffic Flows. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 68-81. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-68-81*

Неравномерность движения транспортных средств зависит от разных факторов: геометрических характеристик улично-дорожной сети, наличия препятствий для движения транспортных средств, проведения ремонтных работ на дороге, интенсивности

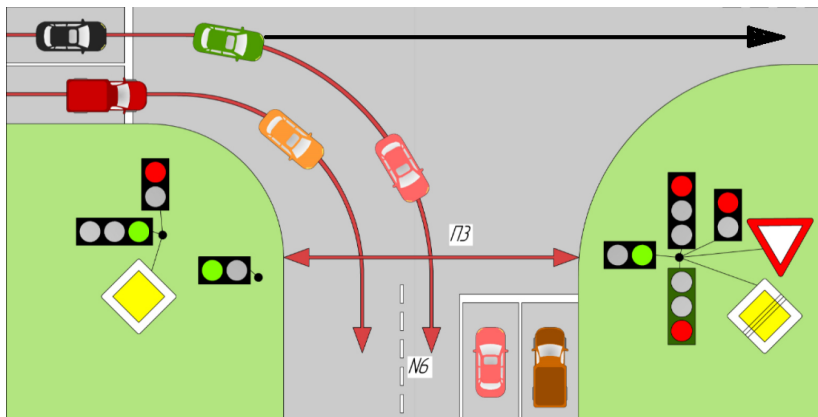
движения транспортных средств, состава транспортного потока, пешеходных потоков и др.

Наиболее характерными участками улично-дорожной сети, где происходит изменение неравномерности движения транспортных средств, являются пересечения. При регулировании движения транспортных средств на пересечениях учитываются интенсивность движения и потоки насыщения. Неравномерность движения транспортных средств является одним из важных факторов, обеспечивающих безопасность дорожного движения. Однако ее влияние на безопасность дорожного движения при существующих методиках расчета режимов работы светофорной сигнализации не вычленено и таким образом не учитывается [1-4].

Неравномерность движения транспортных средств проявляется в виде формирования на улично-дорожной сети групп автомобилей, называемых «пачками». Движение транспортных средств в этих «пачках» характеризуется изменяющимися расстояниями между транспортными средствами и скоростью движения в «пачке» [6-8]. Поскольку скорость движения является одним из важнейших факторов, влияющих на возникновение дорожно-транспортных происшествий, то определение скоростного режима движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков является актуальной задачей [12-15].

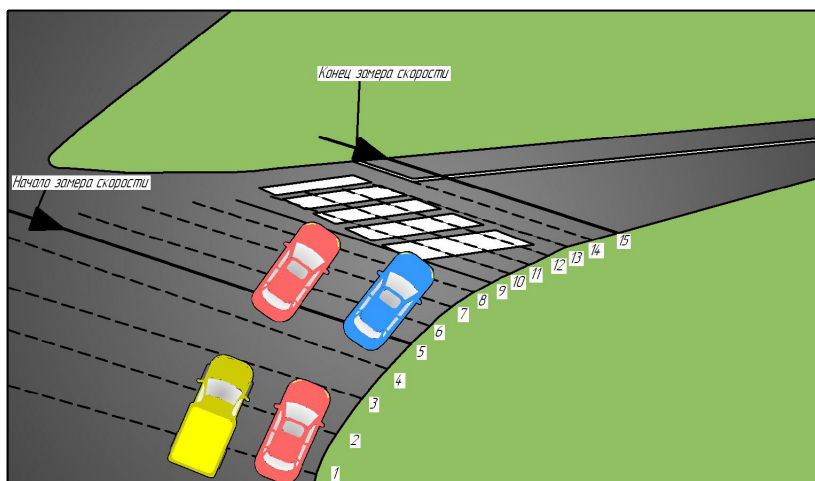
Изучение скоростного режима движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков проводилось на пересечении ул. Сибирский тракт – пер. Базовый в г. Екатеринбург. Время проведения исследования – осень 2022 года. Поскольку скорость движения зависит от интенсивности движения и плотности транспортного потока [10-12], натурные исследования проводились в рабочие дни (понедельник, среда, пятница) в часы «пик» в направлении № 6, движение в котором осуществляется по двум полосам (рисунок 1).





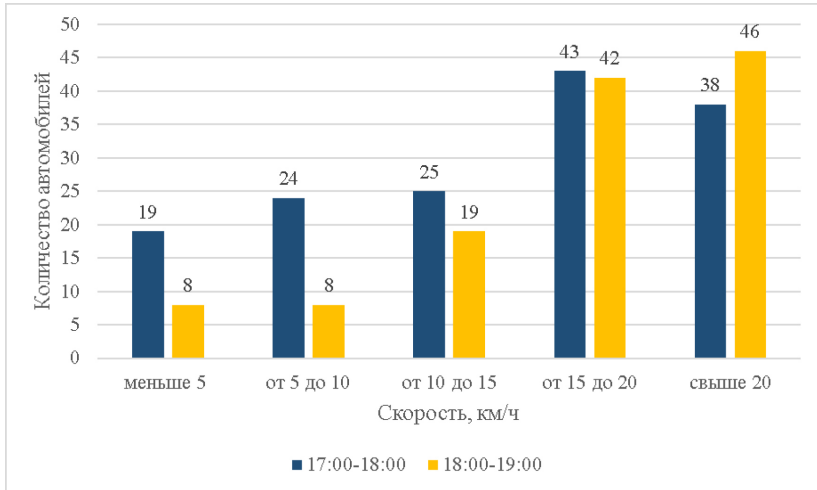
**Рис. 1.** Исследуемые направления движения на пересечении ул. Сибирский тракт – пер. Базовый

Скорость движения транспортных средств определялась на участке улично-дорожной сети длиной 15 м в местах разделения транспортных потоков. Участок улично-дорожной сети был разделен на отрезки длиной 1 м (рисунок 2).

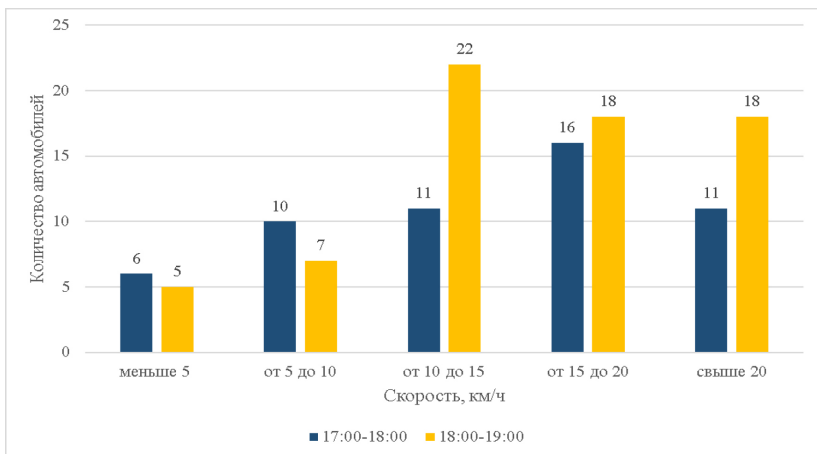


**Рис. 2.** Участок улично-дорожной сети для определения скорости движения транспортных средств

Результаты обработки видеоматериалов по определению скорости движения транспортных средств на участке улично-дорожной сети с 17.00 до 19.00 часов представлены на рисунках 3-6.



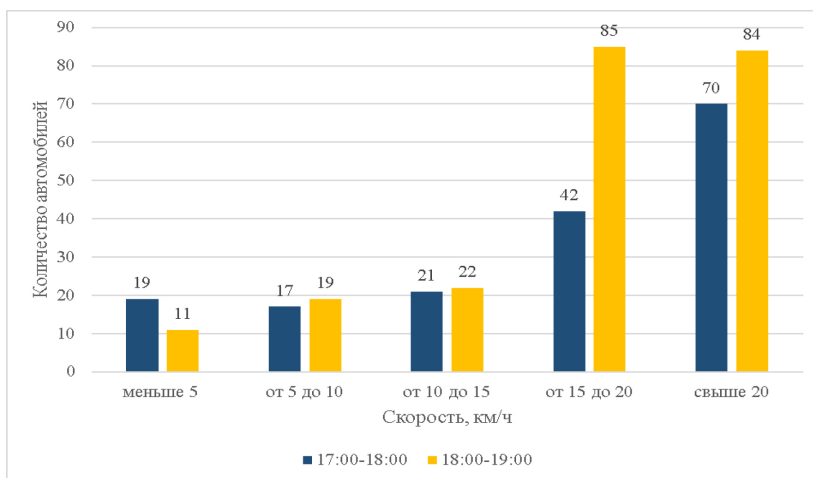
**Рис. 3.** Динамика изменения скоростного режима движения транспортных средств по 1 полосе с «пачками»



**Рис. 4.** Динамика изменения скоростного режима движения транспортных средств по 2 полосе с «пачками»

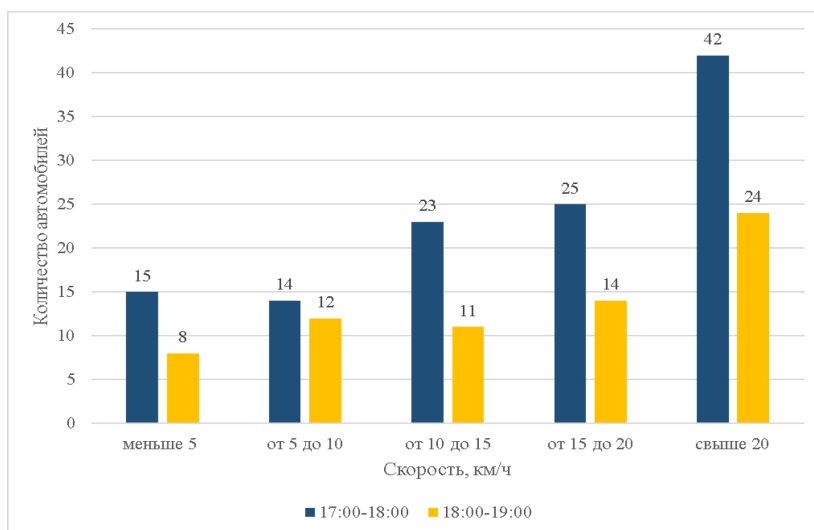
Рисунок 3 показывает, что число транспортных средств, проходящих в разное время, неодинаковое. На разрешающий сигнал светофора по 1 полосе при наличии «пачек» со скоростью свыше 20 км/ч проходит 84 транспортных средства (30%) из 272 автомобилей. Примерно с такой же скоростью (от 15 до 20 км/ч) проходит 85 автомобилей (31 %). Остальные автомобили (39 %) от общего количества проходят данный участок улично-дорожной сети со значительно меньшей скоростью движения.

Рисунок 4 показывает, что число транспортных средств, проходящих в разное время, разное. На разрешающий сигнал светофора по 2 полосе при наличии «пачек» со скоростью свыше 20 км/ч проходит 29 транспортных средств (23 %) из 124 автомобилей. Примерно с такой же скоростью (от 15 до 20 км/ч) проходит 34 автомобиля (27 %). Остальные автомобили (50 %) от общего количества проходят данный участок улично-дорожной сети со значительно меньшей скоростью движения. Отличительной особенностью движения по 2 полосе при наличии «пачек» является то, что самое большое число транспортных средств движется со скоростью от 10 до 15 км/ч.



**Рис. 5.** Динамика изменения скоростного режима движения транспортных средств по 1 полосе без «пачек»

Рисунок 5 показывает, что число транспортных средств, проходящих в разное время, имеет разное значение. На разрешающий сигнал светофора по 1 полосе без «пачек» со скоростью выше 20 км/ч проходит 154 транспортных средства (40 %) из 390 автомобилей. Примерно с такой же скоростью (от 15 до 20 км/ч) проходит 127 автомобиля (32 %). Остальные автомобили (28 %) от общего количества проходят данный участок улично-дорожной сети со значительно меньшей скоростью движения.



**Рис. 6.** Динамика изменения скоростного режима движения транспортных средств по 2 полосе без «пачек»

Рисунок 6 показывает, что число транспортных средств, проходящих в разное время, отличается. На разрешающий сигнал светофора по 2 полосе без «пачек» со скоростью выше 20 км/ч проходит 66 транспортных средства (35 %) из 188 автомобилей. Примерно с такой же скоростью (от 15 до 20 км/ч) проходит 39 автомобиля (21 %). Остальные автомобили (44 %) от общего количества проходят данный участок улично-дорожной сети со значительно меньшей скоростью движения.

Анализ проведенных исследований показал, что организация дорожного движения в местах разделения транспортных потоков приводит к увеличенному числу транспортных средств, движущихся в «пачках». На исследуемом пересечении по 2 полосам без «пачек» со скоростью свыше 20 км/ч проходит 220 автомобилей; с «пачками» 113 автомобилей, автомобили, движущиеся одновременно с «пачками» в потоке, двигаются с меньшей скоростью при прохождении экспериментального участка, чем автомобили, движущиеся без «пачек».

Обработка результатов исследования позволяет сделать вывод о том, что диапазон скоростей движения транспортных средств, движущихся в местах разделения транспортных потоков, задается скоростью движения автомобилей в «пачках».

Мероприятия по обеспечению безопасности дорожного движения в местах разделения транспортных потоков должны учитывать наличие «пачек» в транспортных потоках.

### *Список литературы*

1. Гасилова О.С. Анализ интенсивности движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков / Гасилова О.С., Бородулин И.В., Старков В.В. // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2022. № 2 (76). С. 250-254.
2. Гасилова О.С. Методика обеспечения безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях при наличии поворотных потоков: дис. ... канд. техн. наук 05.22.10 / Гасилова Ольга Сергеевна. Санкт-Петербург, 2021. 140 с.
3. Зырянов В.В. Организация дорожного движения: учебное пособие / В.В. Зырянов, Н.А. Синеокая. Ростов-на-Дону: Ростовский гос. строит. ун-т, 2014. 92 с.
4. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 2001. 247 с.

5. Метсон Т.М. Организация движения / Т.М. Метсон, У.С. Смит, Ф.В. Хард; пер. с англ. Р.Л. Гончаровой и др.; под ред. А.П. Алексеева. М.: Научно-техн. изд-во Мин-ва авт. тр-та и шоссейных дорог РСФСР, 1960. 463 с.
6. Организация дорожного движения: учеб. пособие для учреждений высш. проф. образования / И.Н. Пугачев, А.Э. Горев, А.И. Солодкий, А.В. Белов; под ред. А. Э. Горева. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 240 с.
7. Плотников А.М. Методология обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10 / Плотников Анатолий Михайлович. Санкт-Петербург, 2016. 35 с.
8. Федеральный закон от 29.12.2017 № 443-ФЗ (ред. от 21.12.2021) «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_286793/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286793/)
9. Gorev A., Gasilova O., Sidorov B. Prerequisite for accident-free traffic at signal-controlled intersections // Architecture and Engineering. 2021. vol. 6. № 1. P. 73-80.
10. Pistsov A., Zakharov D. Analysis of methods of providing public transport priority in cities // WIT Transactions on the Built Environment. 27. Сер. "Urban and Maritime Transport XXVII" 2021. P. 291-298.
11. Karmanov D., Zakharov D., Fadyushin A. Evaluation of changes in traffic parameters for various types of traffic signal regulation // Transportation research procedia. 2018. P. 274-280.
12. Highway capacity manual 2010 // Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA. 2010.
13. Morozov V., Iarkov S. The application of lane occupancy parameter for solving tasks of traffic management // Transportation research procedia. 2018. P. 520-526.
14. Webster F. V., Wardrop J. P. Capacity of Urban intersection // Traffic Egging and Control, vol. 4 № 7, 1962, P. 17-21.

15. Zakharov D.A., Karmanov D.S., Fadyushin A.A., Chistyakov A.N. Simulation modeling of traffic for various types of traffic lights regulation in conditions of intensive traffic of vehicles // Journal of mechanical engineering research and developments. 2018. vol. 4. № 4. P. 58-61.

### *References*

1. Gasilova O.S., Borodulin I.V., Starkov V.V. Analiz intensivnosti dvizheniya transportnykh sredstv v mestakh razdeleniya transportnykh potokov [Analysis of the intensity of vehicle traffic in places where traffic flows are separated]. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University], 2022, no. 2 (76), pp. 250-254.
2. Gasilova O.S. *Metodika obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na reguliruemyykh peresecheniyakh pri nalichii povorotnykh potokov* [Methodology for ensuring road safety at regulated intersections in the presence of turning flows]. Saint-Petersburg, 2021. 140 p.
3. Zyryanov V.V., Sineokaya N.A. *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya* [Traffic management]. Rostov-on-Don: Rostovskiy gos. stroit. un-t, 2014. 92 p.
4. Klinkovshteyn G.I., Afanas'ev M.B. *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya* [Traffic management]. Moscow: Transport, 2001. 247 p.
5. Metson T.M., Smit U.S., Khard F.V. *Organizatsiya dvizheniya* [Organization of movement]. Moscow: Nauchno-tekhn. izd-vo Min-va avt. tr-ta i shosseynykh dorog RSFSR, 1960. 463 p.
6. Pugachev I.N., Gorev A.E., Solodkiy A.I., Belov A.V. *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya* [Traffic management]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2013. 240 p.
7. Plotnikov A.M. Metodologiya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na reguliruemyykh peresecheniyakh ulichno-dorozhnykh setey megapolisov [Methodology for ensuring traffic safety on regulated sections of megacities' street and road networks]. Saint-Petersburg, 2016. 35 p.
8. Federal'nyy zakon ot 29.12.2017 № 443-FZ (red. ot 21.12.2021) «*Ob organizatsii dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii i o vnesenii*

- izme-neniy v ot-del'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law No. 443-FZ of 29.12.2017 (as amended on 31.07.2020) On the organization of road traffic in the Russian Federation and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_286793/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286793/)
9. Gorev A., Gasilova O., Sidorov B. Prerequisite for accident-free traffic at signal-controlled intersections. *Architecture and Engineering*. 2021. vol. 6. № 1. pp. 73-80.
  10. Pistsov A., Zakharov D. Analysis of methods of providing public transport priority in cities. *WIT Transactions on the Built Environment*. 27. Ser. "Urban and Maritime Transport XXVII". 2021. pp. 291-298.
  11. Karmanov D., Zakharov D., Fadyushin A. Evaluation of changes in traffic parameters for various types of traffic signal regulation. *Transportation research procedia*. 2018. pp. 274-280.
  12. Highway capacity manual 2010. *Transportation Research Board, National Research Council*. Washington, D.C., USA. 2010.
  13. Morozov V., Iarkov S. The application of lane occupancy parameter for solving tasks of traffic management. *Transportation research procedia*. 2018. pp. 520-526.
  14. Webster F. V., Wardrop J. P. Capacity of Urban intersection. *Traffic Engineering and Control*, vol. 4 № 7, 1962, pp. 17-21.
  15. Zakharov D.A., Karmanov D.S., Fadyushin A.A., Chistyakov A.N. Simulation modeling of traffic for various types of traffic lights regulation in conditions of intensive traffic of vehicles. *Journal of mechanical engineering research and developments*. 2018. vol. 4. № 4. pp. 58-61.

## ДАнные об авторе

**Бородулин Игорь Викторович**, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт и транспортная инфраструктура»  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»  
ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Свердловская область, 620100, Российская Федерация  
[igor.borodulin2012@yandex.ru](mailto:igor.borodulin2012@yandex.ru)



**Гасилова Ольга Сергеевна**, доцент кафедры «Автомобильный транспорт и транспортная инфраструктура», кандидат технических наук  
*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»*  
*ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Свердловская область, 620100, Российская Федерация*  
*gasilovaolga1983@gmail.com*

**Мальцева Анастасия Алексеевна**, студентка 1 курса магистратуры кафедры «Автомобильный транспорт и транспортная инфраструктура»  
*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»*  
*ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Свердловская область, 620100, Российская Федерация*  
*maltsevaana@m.usfeu.ru*

**Сидоров Борис Андреевич**, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт и транспортная инфраструктура», кандидат технических наук, доцент  
*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»*  
*ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Свердловская область, 620100, Российская Федерация*  
*sidorovba@m.usfeu.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Igor V. Borodulin**, postgraduate student of the Department of Automobile transport and transport infrastructure  
*Ural State Forestry Engineering University*  
*37, Siberian tract, Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620100, Russian Federation*  
*igor.borodulin2012@yandex.ru*

**Olga S. Gasilova**, Associate Professor of the Department of Automobile transport and transport infrastructure, Candidate of Technical Sciences

*Ural State Forestry Engineering University*

*37, Siberian tract, Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620100,*

*Russian Federation*

*gasilovaolga1983@gmail.com*

*SPIN-code: 8272-9958*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6767-2544>*

*Scopus Author ID: 57223044589*

**Anastasia A. Maltseva**, 1st year graduate student of the Department of Automobile transport and transport infrastructure

*Ural State Forestry Engineering University*

*37, Siberian tract, Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620100,*

*Russian Federation*

*maltsevaaa@m.usfeu.ru*

*SPIN-code: 5573-3669*

**Boris A. Sidorov**, Head of the Department of Automobile transport and transport infrastructure, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*Ural State Forestry Engineering University*

*37, Siberian tract St., Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620100,*

*Russian Federation*

*sidorovba@m.usfeu.ru*

*SPIN-code: 8208-5870*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2067-1771>*

*Scopus Author ID: 57223044718*

Поступила 01.05.2023

После рецензирования 15.05.2023

Принята 22.05.2023

Received 01.05.2023

Revised 15.05.2023

Accepted 22.05.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-82-94

УДК 658.3:004.056.5



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ В КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

*Т.В. Аветисян, К.И. Львович, Э.М. Львович*

*В существующих условиях в различных компаниях можно наблюдать повышение сложности автоматизации многих процессов. Поэтому появляется необходимость в распределенных автоматизированных системах. Они требуются для работы в условиях ограничения управления в режиме реального времени и связи в процессах производства. В киберфизических системах подразумевается полностью синергетическая интеграция вычислений и управления с физическими устройствами и процессами. Помимо этого, внедрение киберфизической системы в автоматизированные системы предприятия даст возможности для объединения автоматизированного управления технологическими процессами. За счет автоматизированного управления производством и предприятием в целом, можно сформировать управляемую систему, от заказа до реализации. Предлагается сформировать учебно-исследовательскую систему для работы с киберфизической системой. Интеллектуальная поддержка специалистов внутри киберфизических систем связана с соответствующими требованиями к эффективности. Представлена иллюстрация схемы учебно-исследовательской системы для управления персоналом в киберфизической системе. Показана схема обучающей подсистемы. Инструментальное обследование внутри исследовательской подсистемы дает возможности для того, чтобы реализовать*

*создание структуры информационного обеспечения. Представлена иллюстрация схемы исследовательской подсистемы анализа. Показана структуры для проведения автоматизированного моделирования процессов внутри киберфизической системы.*

**Ключевые слова:** управление; исследовательская система; персонал; киберфизическая система; автоматизация

**Для цитирования.** Аветисян Т.В., Львович К.И., Львович Э.М. Учебно-исследовательская система управления персоналом в киберфизической системе // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 82-94. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-82-94

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## EDUCATIONAL AND RESEARCH PERSONNEL MANAGEMENT SYSTEM IN THE CYBERPHYSICAL SYSTEM

***T.V. Avetisyan, K.I. Lvovich, E.M. Lvovich***

*In the existing conditions in various companies, it is possible to observe an increase in the complexity of automation of many processes. Therefore, there is a need for distributed automated systems. They are required to work under conditions of limited real-time control and communication in production processes. Cyberphysical systems imply a fully synergetic integration of computing and control with physical devices and processes. In addition, the introduction of a cyber-physical system into the automated systems of the enterprise will provide opportunities for combining automated process control. Due to the automated management of production and the enterprise as a whole, it is possible to form a managed system, from order to implementation. It is proposed to form an educational and research system for working with the cyberphysical system. The intellectual support of specialists within cyber-physical systems is related to the corresponding efficiency requirements. An illustra-*

*tion of the scheme of an educational and research system for personnel management in a cyberphysical system is presented. The diagram of the training subsystem is shown. Instrumental examination within the research subsystem provides opportunities to implement the creation of an information support structure. An illustration of the scheme of the research subsystem of analysis is presented. Structures for conducting automated modeling of processes inside a cyberphysical system are shown.*

**Keywords:** *management; research system; personnel; cyberphysical system; automation*

**For citation.** *Avetisyan T.V., Lvovich K.I., Lvovich E.M. Educational and Research Personnel Management System in the Cyberphysical System. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 82-94. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-82-94*

## **Введение**

При рассмотрении киберфизических систем требуется анализировать входящие в них объекты с точки зрения их инвариантности. Когда анализируются киберфизические системы, то для них по исследовательским и учебным процессам должна быть обеспечена интеграция. Такие процессы поддерживаются в автоматизированной системе, которая рассматривается как учебно-исследовательская система. С киберфизической системой работают соответствующие специалисты. Требуется проводить работы по обеспечению их квалификации, реализовывать поддержку принимаемых решений на практике, обучать персонал. При этом учитывается наличие автоматизированного рабочего места того сотрудника, который работает с киберфизической системой.

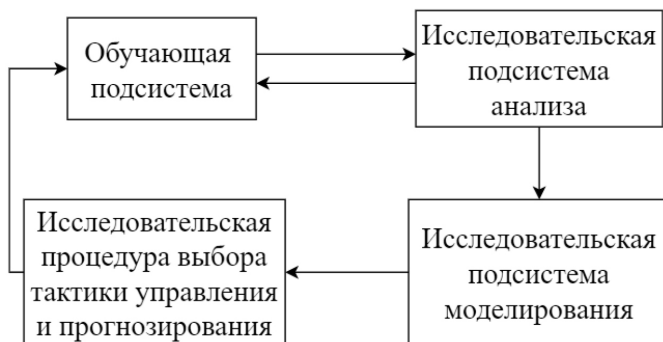
Целью данной работы является разработка предложений для управления персоналом в киберфизической системе.

## **Особенности учебно-исследовательской системы**

Можно сформировать учебно-исследовательскую систему для работы с киберфизической системой. В ней будут несколько мо-

дулей. Первый из них связан с прогнозированием состояния киберфизической системы. Во втором модуле используются исследовательские подсистемы, связанные с моделированием. Третий модуль содержит обучающую подсистему (рис. 1).

Интеллектуальная поддержка специалиста в киберфизических системах характеризуется соответствующими требованиями к эффективности. Это определяет требования к тому, какая будет структура в учебно-исследовательской системе (УИС). Если определяется эффективность специалиста, то разрабатываются обучающие процедуры, осуществляется их интеграция с процессами сбора и обработки информации, применяются различные виды инструментального обеспечения, проводится прогнозирование значений различных показателей в киберфизической системе, поддерживаются диалоговые процедуры.



**Рис. 1.** Иллюстрация схемы учебно-исследовательской системы для управления персоналом в киберфизической системе

По процессам того, как будет осуществляться сбор информации внутри киберфизической системы необходимо обеспечивать поддержку инструментального обеспечения. Оно связано с предметно-ориентированными модулями. Такие модули отличаются от инвариантных модулей внутри системы.

В системе применяются библиотеки моделей и типовые схемы управления, которые позволяют отслеживать соответствующие

виды состояния такой системы, изменения в ней. Есть информационно-справочные материалы.

Соответствующие виды учебных элементов необходимо предусмотреть в обучающей подсистеме (рис. 2). При этом их требуется объединять в учебные задания. По ним важно осуществлять выбор, определять объемы требуемой информации.

Варианты обучающих средств (ВОС) могут быть разными. Важно их использовать таким образом, чтобы эффективным образом реализовывались основные этапы функционирования системы с учетом структуры обучающих процедур. Должна быть логическая связь между соответствующими ВОС. Они характеризуются множеством подзаданий и базовыми семантическими компонентами. По каждому из этапов необходимо выделять выбранные ВОС в ходе формирования РОП. В этой связи можно говорить о том, что формируется задача, которая направлена на проведение процессов оптимизации в рамках обучающих процедур.



Рис. 2. Иллюстрация схемы обучающей подсистемы

Предлагается исследовательская подсистема, предназначенная для осуществления анализа (рис. 3). На ее базе инструментальное обследование дает возможности для того, чтобы реализовать создание структуры информационного обеспечения. Информационно-справочный материал применяется с тем, чтобы дать описание рассматриваемой системы с учетом того, какая была проведена первичная обработка информации.



Рис. 3. Иллюстрация схема исследовательской подсистемы анализа



Метод логического моделирования предлагается использовать для того, чтобы по принимаемым решениям обеспечивать интеллектуальную поддержку. В подобных процедурах реализуется комбинация процедур, связанных с анализом, мониторингом и выбором схем действий, методов, связанных с осуществлением классификации на базе компонентов вычислительной техники.

На рис. 4 дана иллюстрация исследовательской подсистемы, которая предназначена для того, чтобы вести моделирование различных процессов. Инструментальное обеспечение применяется для того, чтобы рассматривать параметры и показатели в ходе сбора информации. После этого происходят процессы, которые направлены на первичную обработку информации. Это дает возможности для того, чтобы автоматизированным образом осуществлять процедуры формирования моделей.

Процедуры анализа происходящих внутри киберфизической системы процессов направлены на то, чтобы вести указание по показателям. Они будут определять поведение людей, когда существуют соответствующие объективные данные.

Применение математических моделей обусловлено тем, что должен быть поиск по оптимальным значениям функциональных воздействий. При этом должно быть совмещение процедур, связанных с тем, как формируется задача управления процессами внутри киберфизических систем с тем, какие будут требоваться имитационные методы решений. С их учетом следует вести комбинацию по модельным и экспертным оценкам.

Процессы внутри киберфизической системы характеризуются особенностями, которые будут оказывать влияние на то, какие будут выбраны подходы при моделировании:

- 1) вероятностный характер процессов, связанных с воздействием на киберфизические системы;
- 2) многоэтапность и многошаговость процессов обработки информации;
- 3) использование большого числа переменных, которые связаны с процессами воздействия;

4) ограниченные возможности, связанные с тем, как будет происходить постановка активных экспериментов.

Должны решаться несколько задач при автоматизированном моделировании процессов, происходящих внутри киберфизической системы: осуществление синтеза структуры модели; реализация математического описания; проведение процедур, связанных с идентификацией параметров внутри модели.

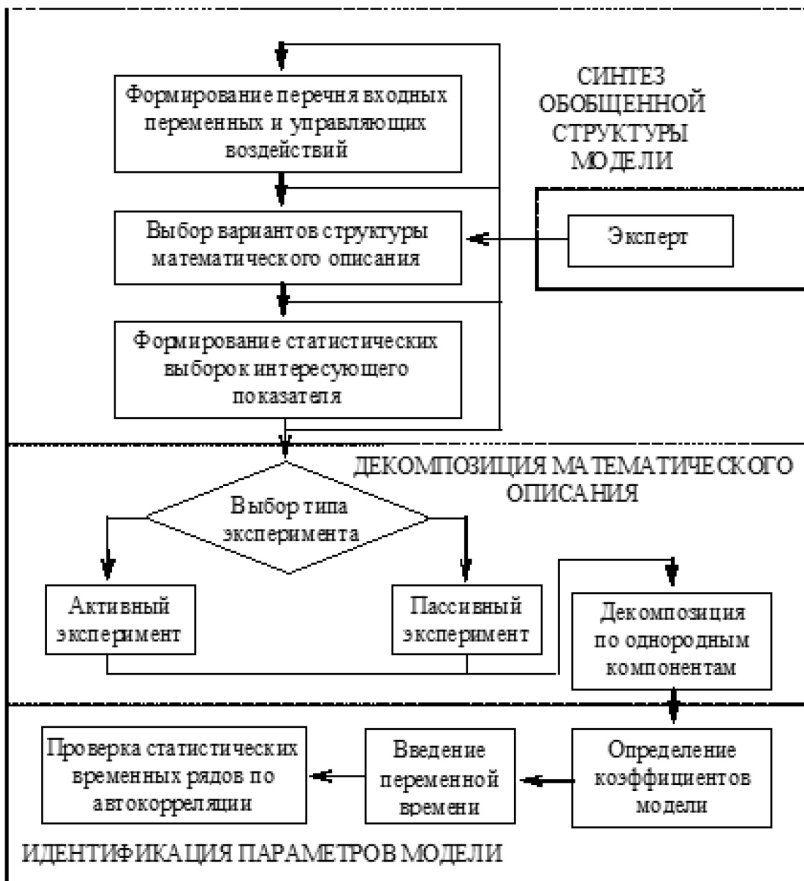


Рис. 4. Иллюстрация структуры для проведения автоматизированного моделирования процессов внутри киберфизической системы

При обеспечении рациональной организации автоматизированной учебно-исследовательской системы необходимо ориентироваться на то, чтобы осуществлять выбор по компонентам, которые относятся к 4 группам: элементы вычислительной техники; элементы аппаратуры для проведения исследований внутри киберфизической системы; средства, позволяющие осуществлять сопряжение между аппаратными и вычислительными средствами; программные модули, которые предназначены для того, чтобы осуществлять обработку различной информации.

Задачу, связанную с оптимальным выбором по компонентам учебно-исследовательской системы с точки зрения формализованной постановки, можно рассматривать в виде задачи дискретной оптимизации при соответствующих ограничениях. Чтобы осуществлять процессы ее решения можно рассматривать в виде приемлемых рандомизированные алгоритмы, связанные с проведением многоальтернативной оптимизации. То, насколько будут эффективны решения, которые получаются на основе разрабатываемых алгоритмов, заметным образом будет определяться начальным вариантом. С тем, чтобы получать начальный вариант, мы предлагаем опираться на наглядно-образную модель задачи.

### **Выводы**

Для того, чтобы внутри киберфизических систем обеспечивать рост эффективности, связанной с принятием решений, предлагается применение учебно-исследовательской системы. Следует отметить, что на настоящий момент нет методик, связанных с их формированием. Данная система строится на базе того, что используются принципы интеграции учебных и исследовательского процессов. Применяются подходы, направленные на поддержку принятия решений специалистов. Разрабатываются обучающие процедуры, связанные с проведением математического моделированием и управления киберфизической системой на основе модельной и экспертной информации.

### *Список литературы*

1. Исакова М.В., Горбенко О.Н. Об особенностях систем управления персоналом // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 168-171.
2. Павлова, Ю. В. Управление персоналом в организации: современные подходы к построению системы управления персоналом // Актуальные научные исследования в современном мире – 2020. – № 8-3(64). – С. 5-11.
3. Львович И.Я., Преображенский А.П. О характеристиках обучающих систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 11. С. 179-180.
4. Ватаманюк И.В., Яковлев Р.Н. Алгоритмическая модель распределенной системы корпоративного информирования в рамках киберфизической системы организации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7, № 4(27). – С. 32-33. – <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.026>.
5. Talasbayeva A. B. Training of personnel management as systems // Managing a modern organization: experience, problems and prospects. – 2018. – No. 9. – P. 173-178.
6. Сулима С. В., Медетова А. Г. Роль и значение системы управления персоналом в системе управления организацией // Евразийское Научное Объединение. – 2018. – № 3-3(37). – С. 184-187.
7. Андреева А. Б., Михайлова А. В. Подходы к понятию «оценка персонала» в системе управления персоналом // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике. – 2015. – № 3(5). – С. 355-356.
8. Ким Е. В., Ольхова Л. А. Повышение эффективности функционирования системы управления персоналом в современных организациях на основе инновационных персонал-технологий // Наука и общество. – 2019. – № 2(34). – С. 61-64.
9. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).

10. Рихтер Т.В., Белоус А.В. Автоматизация процесса учета оборудования на предприятии // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 2. С. 69-85.

### *References*

1. Isakova M.V., Gorbenko O.N. Ob osobennostyah sistem upravleniya personalom [On the features of personnel management systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2014. No. 12. pp. 168-171.
2. Pavlova, YU. V. Upravlenie personalom v organizacii: sovremennye podhody k postroeniyu sistemy upravleniya personalom [Personnel management in an organization: modern approaches to building a personnel management system]. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2020. – № 8-3(64). – Pp. 5-11.
3. L'vovich I.YA., Preobrazhenskij A.P. O harakteristikah obuchayushchih system [About the characteristics of training systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2013. No. 11. pp. 179-180.
4. Vatamanyuk I.V., YAKovlev R.N. Algoritmicheskaya model' raspredelenoj sistemy korporativnogo informirovaniya v ramkah kiberfizicheskoy sistemy organizacii [Algorithmic model of a distributed corporate information system within the cyber-physical system of the organization]. *Modeling, optimization and information technology*. – 2019. – Vol. 7, No. 4(27). – pp. 32-33. – <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.026>
5. Talasbayeva A. B. Training of personnel management as systems [Training of personnel management as systems]. *Managing a modern organization: experience, problems and prospects*. – 2018. – No. 9. – P. 173-178.
6. Sulima S. V., Medetova A. G. Rol' i znachenie sistemy upravleniya personalom v sisteme upravleniya organizaciej [The role and importance of the personnel management system in the organization management system]. *Eurasian Scientific Association*. – 2018. – № 3-3(37). – Pp. 184-187.
7. Andreeva A. B., Mihajlova A. V. Podhody k ponyatiyu “ocenka personala” v sisteme upravleniya personalom [Approaches to the concept of “personnel assessment” in the personnel management system].

*Current directions of scientific research: from theory to practice.* – 2015. – № 3(5). – Pp. 355-356.

8. Kim E. V., Ol'hova L. A. Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya sistemy upravleniya personalom v sovremennyh organizatsiyah na osnove innovatsionnyh personal-tekhnologij [Improving the efficiency of the functioning of the personnel management system in modern organizations based on innovative personnel technologies]. *Science and Society.* – 2019. – № 2(34). – Pp. 61-64.
9. Mel'nikova T.V., Pitolin M.V., Preobrazhenskij YU.P. Modelirovanie obrabotki bol'shikh massivov dannyh v raspredelennyh informacionno-telekommunikatsionnyh sistemah [Modeling of processing large data arrays in distributed information and telecommunication systems]. *Modeling, optimization and information technologies.* 2022. T. 10. № 1 (36).
10. Rihter T.V., Belous A.V. Avtomatizatsiya processa ucheta oborudovaniya na predpriyatii [Automation of the process of equipment accounting at the enterprise]. *International Journal of Advanced Studies.* 2022. Vol. 12. No. 2. pp. 69-85.

## **ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ**

**Аветисян Татьяна Владимировна**, преподаватель колледжа, специалист проектного отдела ВИБТ

*Колледж ВИБТ; Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
[vtatyana\\_avetisyan@mail.ru](mailto:vtatyana_avetisyan@mail.ru)

**Львович Ксения Игоревна**, преподаватель, кандидат технических наук

*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
Komkovvvt@yandex.ru*

**Львович Эмма Михайловна**, младший научный сотрудник проектного отдела, кандидат экономических наук, доцент  
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
Komkovvvt@yandex.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Tatiana V. Avetisyan**, college lecturer, project specialist  
*College is an autonomous non-profit educational organization of higher education Voronezh Institute of High Technologies; Voronezh Institute of High Technologies*  
*73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation*  
*vtatyana\_avetisyan@mail.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>*

**Ksenia I. Lvovich**, Teacher, Candidate of Technical Sciences  
*Voronezh Institute of High Technologies*  
*73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation*  
*Komkovvvt@yandex.ru*

**Emma M. Lvovich**, Junior Researcher of the Project Department, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor  
*Voronezh Institute of High Technologies*  
*73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation*  
*Komkovvvt@yandex.ru*

Поступила 25.05.2023

После рецензирования 15.06.2023

Принята 20.06.2023

Received 25.05.2023

Revised 15.06.2023

Accepted 20.06.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-95-114

УДК 51-74



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

*Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович,  
И.Я. Львович, Р.А. Блинов*

*Основная задача сетей – транспортировка информации от ЭВМ-отправителя к ЭВМ-получателю. В большинстве случаев для этого нужно совершить несколько пересылок. Проблему выбора пути решают алгоритмы маршрутизации. Алгоритм маршрутизации должен обладать вполне определенными свойствами: надежностью, корректностью, стабильностью, простотой и оптимальностью. Последнее свойство не так прозрачно, как это может показаться на первый взгляд, все зависит от того, по какому или каким параметрам производится оптимизация. Эта задача иногда совсем не проста даже для сравнительно простых локальных сетей. Среди параметров оптимизации может быть минимальная задержка доставки, максимальная пропускная способность, минимальная цена, максимальная надежность или минимальная вероятность ошибки. В данной работе рассматриваются реактивные, проактивные и гибридные протоколы маршрутизации. При осуществлении их выбора мы опирались на метод анализа иерархий. Исходя из результатов, которые получены в ходе моделирования сети с трафиком видео конференции была построена матрица для каждого из исследуемых критериев. Было проведено сравнение протоколов с точки зрения возможности потери информации. Результаты*



*исследований могут быть полезны в ходе построения современных компьютерных сетей.*

**Ключевые слова:** *компьютерная сеть; маршрутизация; протокол; управление; оптимизация*

**Для цитирования.** *Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Львович И.Я., Блинов Р.А. Анализ эффективности применения протоколов маршрутизации в компьютерных сетях // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 3. С. 95-114. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-95-114*

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## ANALYSIS OF ROUTING PROTOCOLS EFFECTIVENESS IN COMPUTER NETWORKS

*Avetisyan T.V., Ya.E. L'vovich,  
I.Ya. L'vovich, R.A. Blinov*

*The main task of networks is to transport information from the sending computer to the receiving computer. In most cases, you need to make several transfers to do this. The problem of choosing a path is solved by routing algorithms. The routing algorithm must have well-defined properties: reliability, correctness, stability, simplicity and optimality. The latter property is not as transparent as it may seem at first glance, it all depends on which or which parameters are optimized. This task is sometimes not at all easy even for relatively simple local networks. Optimization parameters may include minimum delivery delay, maximum throughput, minimum price, maximum reliability, or minimum error probability. In this paper, reactive, proactive and hybrid routing protocols are considered. When making their choice, we relied on the method of hierarchy analysis. Based on the results obtained during the simulation of a network with video conference traffic, a matrix was constructed for each of the criteria studied. The protocols were compared in terms*

*of the possibility of information loss. The results of the research can be useful in the course of building modern computer networks.*

**Keywords:** *computer network; routing; protocol; management; optimization*

**For citation.** *Avetisyan T.V., L'vovich Ya.E., L'vovich I.Ya., Blinov R.A. Analysis of Routing Protocols Effectiveness in Computer Networks. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 95-114. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-95-114*

## **Введение**

Данная работа посвящена исследованию быстродействия реактивных, проактивных и гибридных протоколов маршрутизации в беспроводной мобильной одноранговой сети (MANET), а также разработке алгоритма оценки эффективности протоколов маршрутизации. MANET это тип Ad-Hoc сети, которая работает на основании стандарта 802.11 в дискретной и дисперсной среде без единого центра управления [1, 2]. Мобильная одноранговая сеть (МОС) быстро развивается и является важным направлением беспроводной мобильной сети. МОС представляют собой беспроводные сети, в которых мобильные узлы перемещаются и управляют построением маршрутов. В МОС сетевая топология изменяется очень быстро и непредсказуемо, каждый мобильный узел движется без фиксированной точки доступа. Узлы МОС могут передавать информацию с использованием нескольких ретрансляций, причем количество промежуточных узлов может меняться [3, 4]. Узлы должны поддерживать несколько маршрутов. Если мобильные узлы находятся в пределах зоны радиодоступа друг друга, то исходный узел может отправить сообщение напрямую на узел назначения, в противном случае передача будет осуществляться через промежуточные узлы. Поэтому в настоящее время важную роль для обеспечения надежности и эффективной работы в мобильных беспроводных сетях является решение задачи маршрутизации. Эффективное управление маршрутизацией

экономит расходы на построение маршрутов, что ведет к повышению быстродействия сети [5].

Главной задачей в MANET является восстановление связи при ее потере и построение маршрута для абонента при минимальной величине временной задержки для мобильных узлов, находящихся в хаотичном движении. МОС будет неотъемлемой частью следующего поколения сетей из-за своей гибкости, инфраструктуры, простоты в обслуживании [6], автоматического конфигурирования и экономической эффективности [7]. В мобильных одноранговых сетях мобильные узлы должны общаться друг с другом в целях восстановления связи, а также организовывать динамические топологии для мобильности в целях быстрого изменения маршрута и восстановления связей в беспроводной сети.

### Протоколы маршрутизации для сетей, которые основываются на ячеистой топологии

Можно выделить три ключевые категории, относящиеся к протоколам маршрутизации. Они относятся к проактивным, реактивным и гибридным протоколам маршрутизации (рис. 1).

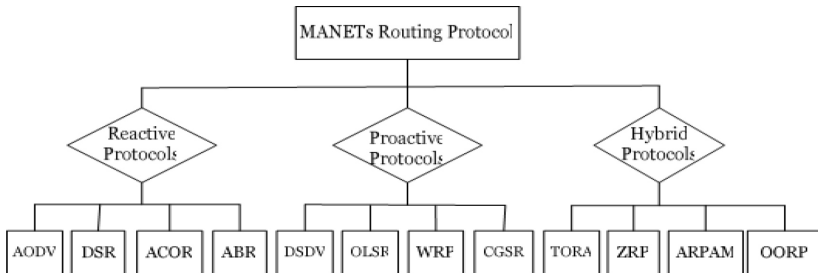


Рис. 1. MANET протоколы маршрутизации

#### 1. Характеристики реактивных протоколов маршрутизации

Беспроводную одноранговую мобильную сеть можно сформировать с помощью портативных устройств. Они могут быть мобильными. Характеристики работоспособности и мобиль-

ности сети могут быть различными и не всегда достигается стабильность [8]. Если есть мобильная беспроводная сеть, в которой рассматривается ячеистая топология, то это является важным. Постоянное изменение в топологии сети связано с тем, что существует подвижность в узлах [9]. Не всегда просто вести отслеживание по такой топологии. Для того, чтобы достигать цели, может потребоваться много ресурсов. Для подобных типов сред удобно применять реактивные протоколы маршрутизации. В них дизайн опроса сети формируется по требованию [10]. В связи с постоянным изменением топологии сети нет необходимости всю ее строить. Будет инициирование построения соответствующего маршрута, если узлу требуется маршрут к заданному узлу [11].

Создаваться маршруты, как показывает анализ, будут лишь по требованию в реактивных протоколах маршрутизации. Сообщения типа Route Request (RREQ) и Route Reply (REPL) внутри сетевых структур связаны с соответствующими протоколами.

Можно указать примеры реактивных протоколов маршрутизации: AODV, DSR, ACOR, ABR.

## 2. Характеристики проактивных протоколов маршрутизации

В результате рассмотрения видно, что большая часть в маршрутной информации может рассматриваться в виде избыточной. Анализ показывает, что пока короткоживущие маршруты действительны, они не будут применяться. В ходе практической реализации происходит уменьшение части общего трафика управления [12]. Он будет относиться к актуальным практическим данным. В ходе формирования ненужных маршрутов можно наблюдать увеличение объема трафика. Когда существенным образом будет расти размер сетевой структуры, то это будет особенно это заметно.

То есть, низкая мобильность или часто генерируемый трафик, как показывает анализ, будут соотноситься с проактивными протоколами маршрутизации. Тогда нет смысла в обновлении неиспользуемой информации внутри соответствующих маршрутных

таблиц. Это будет в случае, когда в узлах будет передача данных недостаточно частым образом [13].

Примеры протоколов маршрутизации, являющихся проактивными: OLSR, FSR, DSDV, CGSR.

### 3. Характеристики гибридных протоколов маршрутизации

В ходе моделирования они могут быть объединены в гибридных протоколах маршрутизации. Как показывает анализ, в рассмотренных проактивных и реактивных протоколах маршрутизации можно отметить положительные характеристики [14].

Примеры гибридных протоколов маршрутизации: TORA, HSR, ARPAM, OORP.

В данной работе в качестве исследования были выбраны четыре распространенных на данный момент протокола маршрутизации: AODV, DSR, OLSR, TORA.

### Многокритериальный выбор протокола маршрутизации методом анализа иерархий

Будем пользоваться методом анализа иерархий, чтобы принять решение на базе полученных данных.

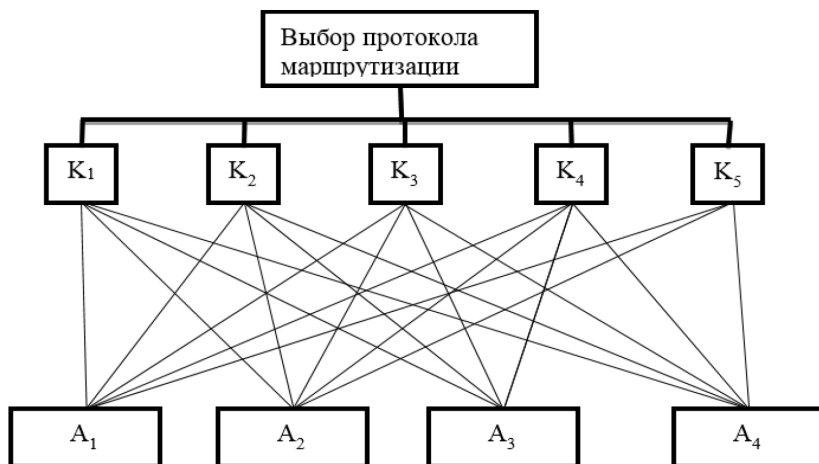


Рис. 2. Иерархия принимаемого решения

На рис. 2 представлен общий вид иерархии по принимаемому решению. В ходе моделирования считается, что  $K_i$  – являются частными критериями выбора,  $A_j$  – рассматриваются в виде возможных альтернатив.

A1 – соответствует протоколу AODV;

A2 – соответствует протоколу DSR;

A3 – соответствует протоколу OLSR;

A4 – соответствует протоколу TORA;

В таблице 1 рассматривается матрица попарных сравнений, которая соответствует второму уровню иерархии. Общая цель определяет критерии. Она направлена на то, чтобы выбрать протокол маршрутизации.

Таблица 1.

**Матрица попарных сравнений критериев**

КРИТЕРИИ	Объем потерянной информации ( $K_1$ )	Степень задержки ( $K_2$ )	Степень загрузки сети ( $K_3$ )	Число ретранслированных пакетов деленное на отправленные ( $K_4$ )	Значение интенсивности входного потока ( $K_5$ )
Объем потерянной информации ( $K_1$ )	1	9	7	7	9
Степень задержки ( $K_2$ )	1/9	1	1/7	1/3	3
Степень загрузки сети ( $K_3$ )	1/7	7	1	5	3
Число ретранслированных пакетов деленное на отправленные ( $K_4$ )	1/7	3	1/5	1	3
Значение интенсивности входного потока ( $K_5$ )	1/9	1/3	1/3	1/3	1

### **Решение задачи многокритериального выбора протокола маршрутизации для модели беспроводной сети с трафиком видео конференции**

Будем использовать результаты, которые получены при моделировании сети с трафиком видео конференции (Таблица 1).

Необходимо учитывать параметр – Значения нормализованных оценок вектора приоритета (предлагается его обозначить  $Z$ ). Рассмотрим то, как будут каждый из анализируемых критериев влиять на результат. Это будет видно из матриц, которые представлены ниже.

Если анализируется критерий «Объем потерянной информации (K1)», то мы можем указать таблицу 2. В ней рассматриваются различные протоколы. Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 7,6.

Таблица 2.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию  
«Объем потерянной информации» (K1)**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	0,79	0,36	0,37	0,13
DSR	1,2	1	0,464	0,47	0,16
OLSR	2,7	2,16	1	1,022	0,35
TORA	2,6	2,1	0,97	1	0,34
Сумма	7,6	6,1	2,8	2,8	

В случае критерия «Степень задержки (K2)» мы можем указать таблицу 3. Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 6,44.

Таблица 3.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив  
по критерию «Степень задержки (K2)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	1,17	1,78	0,83	0,27
DSR	0,84	1	1,51	0,71	0,24
OLSR	0,56	0,66	1	0,46	0,16
TORA	1,2	1,41	2,14	1	0,33
Сумма	3,6	4,25	6,44	3	

В случае, если есть критерий «Степень загрузки сети (K3)», мы можем указать таблицу 4. Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 4,06.

*Таблица 4.*

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию  
«Степень загрузки сети (K3)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	0,87	0,92	1,19	0,24
DSR	1,14	1	1,05	1,36	0,28
OLSR	1,08	0,94	1	1,29	0,26
TORA	0,83	0,73	0,77	1	0,2
Сумма	4,06	3,55	3,74	4,84	

В случае критерия «Число ретранслированных альтернатив, деленные на отправленные (K4)» мы можем указать таблицу 5. Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 5,74.

*Таблица 5.*

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию  
«Число ретранслированных альтернатив, деленные на отправленные (K4)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	0,95	1,55	0,98	0,27
DSR	1,043	1	1,62	1,032	0,28
OLSR	0,644	0,61	1	0,64	0,17
TORA	1,01	0,96	1,56	1	0,27
Сумма	3,69	3,54	5,74	3,66	

В случае критерия «Значение интенсивности входного потока (K5)» мы можем указать таблицу 6. Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 547,619.

Тогда можно получить значения по глобальным приоритета альтернатив AODV (A1), DSR (A2), OLSR (A3), TORA (A4):



Таблица 6.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию  
«Значение интенсивности входного потока (K5)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	2,8	0,315	172,5	0,22
DSR	0,36	1	0,115	62,73	0,08
OLSR	3,17	8,73	1	547,619	0,698
TORA	0,005	0,016	0,0018	1	0,0012
Сумма	4,544	12,49	1,43	783,84	

Анализируя таблицу 7, мы можем увидеть глобальные приоритеты относительно альтернатив. Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 0,69.

Таблица 7.

**Иллюстрация глобальных приоритетов по альтернативам  
TORA (A4), AODV (A1), OLSR (A3), DSR (A2)**

Альтернативы	Критерии					Глобальные приоритеты
	Объем потерянной информации	Степень задержки	Степень загрузки сети	Значение числа ретранслированных пакетов, отнесенное к отправленным	Значение интенсивности по входному потоку	
	Вектора приоритета, представленные численным значением					
AODV	0,13	0,27	0,245	0,27	0,22	0,17
DSR	0,16	0,235	0,28	0,28	0,08	0,19
OLSR	0,35	0,155	0,266	0,17	0,69	0,32
TORA	0,348	0,332	0,206	0,27	0,0012	0,29

Представляет интерес альтернатива, которая связана со значением 0,324954, являющимся максимальным значением в глобальном приоритете. Это соответствует протоколу OLSR.

В исследуемой модели, исходя из результатов, видно, что наименьший объем потерь информации наблюдается при использовании в качестве протокола маршрутизации протокола OLSR (таблица 7). Это связано с тем, что протокол OLSR позволяет минимизировать объем потерь информации путем использования определенного подмножества узлов в сети, называемого предпочтительными ретрансляторами.

Минимальная задержка достигается при использовании в качестве протокола маршрутизации протокола TORA (таблица 7), но при этом увеличилась загрузка на сеть вследствие значительного увеличения служебной информации самого протокола.

Протоколы маршрутизации AODV и DSR показали схожие друг с другом результаты. Это связано с тем, что оба протокола относятся к реактивным протоколам маршрутизации и оба строят таблицы маршрутов по требованию на основе вектора расстояний. Их различие заключается в том, что протокол DSR использует для маршрутизации таблицу маршрутизации источника, а не промежуточных узлов.

Основываясь на шкале относительной важности критериев (таблица 1) и полученных результатах с помощью метода анализа иерархий, в нашей модели предпочтительнее использовать в качестве протокола маршрутизации протокол OLSR.

### **Решение задачи многокритериального выбора протокола маршрутизации для модели беспроводной сети с трафиком FTP сервера**

Проведем анализ результатов, которые были получены в ходе моделирования сети с трафиком видеоконференции. Необходимо использовать соответствующий метод для моделирования. Был выбран метод анализа иерархий.

Таблица 8 может быть проанализирована, если есть критерий «Объем потерянной информации (K1)». Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 4,37.

Таблица 8.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию  
«Объем потерянной информации (K1)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	1,73	0,725	1,142	0,26
DSR	0,57	1	0,417	0,657	0,15
OLSR	1,37	2,39	1	1,57	0,36
TORA	0,87	1,52	0,635	1	0,23
Сумма	3,83	6,65	2,77	4,37	

Таблица 9 будет соответствовать критерию «Задержка (K2)». Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 6,6.

Таблица 9.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив  
по критерию «Задержка (K2)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	1,3	0,546	0,67	0,196
DSR	0,769	1	0,42	0,517	0,151
OLSR	1,829	2,37	1	1,23	0,359
TORA	1,485	1,93	0,81	1	0,292
Сумма	5,083	6,6	2,78	3,42	

Таблица 10.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив  
по критерию «Загрузка сети (K3)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	0,944	1,024	0,992	0,247
DSR	1,059	1	1,085	1,05	0,262
OLSR	0,97	0,92	1	0,969	0,2415
TORA	1,008	0,9	1,032258065	1	0,25
Сумма	4,04	3,8175	4,1410	4,01	

Таблица 10 будет соответствовать критерию «Загрузка сети (K3)». Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 4,1410.

Таблица 11 будет соответствовать критерию «Отношения числа ретранслированных альтернатив к отправленным (K4)». Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 4,0834.

Таблица 11.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию «Отношения количества ретранслированных альтернатив к отправленным (K4)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	0,97	0,71	1,532	0,245
DSR	1,022	1	0,73	1,567	0,25
OLSR	1,4	1,38	1	2,16	0,345
TORA	0,65	0,638	0,464	1	0,16
Сумма	4,0834	3,9924	2,9	6,256	

Таблица 12 будет соответствовать критерию «Интенсивность входного потока (K5)». Видно, что максимальное значение альтернативы не превосходит 9,25.

Таблица 12.

**Иллюстрация оценки значимости альтернатив по критерию «Интенсивность входного потока (K5)»**

	AODV	DSR	OLSR	TORA	Z
AODV	1	1,24	0,233	0,742	0,134
DSR	0,81	1	0,1875	0,5975	0,11
OLSR	4,29	5,33	1	3,19	0,58
TORA	1,35	1,67	0,314	1	0,18
Сумма	7,4456	9,25	1,7342	5,53	

Тогда есть возможности для получения значений по глобальным приоритетам альтернатив TORA (A4), OLSR (A3), DSR (A2), AODV (A1), которые указаны в таблице 13.

Таблица 13.

**Иллюстрация глобальных приоритетов по альтернативам AODV (A1),  
DSR (A2), OLSR (A3), TORA (A4)**

Альтернативы	Критерии					Глобальные приоритеты
	Объем потерянной информации	Степень задержки	Степень загрузки сети	Количество ретранслированных пакетов, деленное на отправленные	Значение интенсивности входного потока	
	Вектор приоритета, представленный численным значением					
AODV	0,26	0,19	0,24	0,244	0,13	0,25
DSR	0,15	0,15	0,26	0,25	0,11	0,18
OLSR	0,36	0,35	0,24	0,34	0,58	0,34
TORA	0,22	0,2	0,249	0,15	0,181	0,228

### Выводы

Проведенное исследование продемонстрировало возможности выбора протоколов маршрутизации при анализе современных компьютерных сетей. Во втором случае при исследовании модели с генерацией ftp трафика наименьшее значение объема потерянной информации получено при использовании в качестве протокола маршрутизации протокола OLSR. При использовании протокола OLSR мы получили наименьшие показатели задержки в сети, отношение ретранслированных пакетов к отправленным, а также меньшее значение объема служебной информации самого протокола, но при этом значение параметра «загрузка сети» было наибольшим. Наибольшее значение объема потерянной информации получено при использовании протокола DSR. Несмотря на схожесть DSR с AODV, значение этого критерия при использовании AODV гораздо ниже. Это обусловлено тем, что при генера-

ции ftp трафика преобладают tcp пакеты, в которых важную роль играет последовательность отправленных данных и их потеря. В исследуемой нами модели сети, преобладает высокая мобильность узлов, что ведет к интенсивному обновлению маршрутных таблиц каждого узла. Однако, в отличие от AODV, который ведет таблицу маршрутов на каждом узле, DSR основывается на таблице маршрутов источника, что ведет к неизбежному росту объема потерянной информации.

При использовании в качестве протокола маршрутизации протокола TORA мы получили схожие результаты, что и с другими протоколами. Однако, значение отношения количества ретранслированных пакетов к отправленным превышает показатели других протоколов. Это связано с гибридной природой протокола и высокой мобильностью исследуемой сети. Так как сеть обладала высокой мобильностью и большим количеством генерируемого трафика, то протоколу приходилось сохранять и использовать маршруты между всеми парами источник – приемник. При этом постоянно, но не все маршруты оказывались актуальными.

Как и при исследовании первой модели мобильной сети с генерацией трафика видео конференции, во второй модели также предпочтительнее использовать в качестве протокола маршрутизации протокол OLSR.

### *Список литературы*

1. Кайсина И. А., Васильев Д. С., Абилов А. В. Анализ эффективности протоколов маршрутизации OLSR и AODV в летающей сети FANET // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 87-90. – <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2017-1-87-90>.
2. Кравченко Я. О., Мальчева Р. В. Анализ алгоритмов и протоколов маршрутизации данных в беспроводных локальных сетях // Информатика и кибернетика. – 2021. – № 3(25). – С. 52-58.
3. Крикунов А. А., Гаврилин Е. А. Анализ объема служебного трафика протокола динамической маршрутизации OSPF при рекон-

- фигурации сети // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 208-212.
4. Муратчаев С. С., Волков А. С., Маргарян Р. А., Бахтин А. А. Разработка адаптивной версии протокола маршрутизации *olsrv2* в сетях MANET // Труды МАИ. – 2022. – № 123. – <https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-13>.
  5. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ особенностей современных беспроводных сенсорных сетей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (41). С. 99-102.
  6. Воженников, А. А. Сравнение протоколов маршрутизации в MANET-сетях // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 1-2(22). – С. 44-46.
  7. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 68-71.
  8. Гаврилин, Е. А. Анализ объема трафика протоколов динамической маршрутизации RIP, OSPF и оценка загрузки каналов // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 192-193.
  9. Жилин В.В. Исследование влияния параметров канала на распознаваемость сигналов в рlc-сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (41). С. 43-48.
  10. Щерба Е. В., Литвинов Г. А., Щерба М. В. Задача обеспечения качества обслуживания на базе протокола маршрутизации OLSR: подходы, алгоритмы, решения // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 55-65. – <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2019-22-1-55-65>
  11. Муратчаев С. С., Волков А. С. Реализация алгоритма кластеризации для решения задач маршрутизации в сетях MANET // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 50-51.

12. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности межканальных помех в сетях ieee 802.11 // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 72-74.
13. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ особенностей приема и передачи сигналов в компьютерных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 75-78.

### *References*

1. Kajsina I. A., Vasil'ev D. S., Abilov A. V. Analiz effektivnosti protokolov marshrutizacii OLSR i AODV v letayushchej seti FANET [Analysis of the effectiveness of OLSR and AODV routing protocols in the FANET flying network]. *Bulletin of IzhSTU named after M.T. Kalashnikov*. – 2017. – Vol. 20, No. 1. – pp. 87-90. – <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2017-1-87-90>.
2. Kravchenko Ya. O., Mal'cheva R. V. Analiz algoritmov i protokolov marshrutizacii dannyh v besprovodnyh lokal'nyh setyah [Analysis of algorithms and protocols for routing data in wireless local area networks]. *Informatics and Cybernetics*. – 2021. – № 3(25). – Pp. 52-58.
3. Krikunov A. A., Gavrilin E. A. Analiz ob'ema sluzhebnogo trafika protokola dinamicheskoy marshrutizacii OSPF pri rekonfiguracii seti [Analysis of the volume of service traffic of the dynamic routing protocol OSPF during network reconfiguration]. *REDS: Telecommunication devices and systems*. - 2017. – Vol. 7, No. 2. – pp. 208-212.
4. Muratchaev S. S., Volkov A. S., Margaryan R. A., Bahtin A. A. Razrabotka adaptivnoj versii protokola marshrutizacii olsrv2 v setyah MANET [Development of an adaptive version of the olsrv2 routing protocol in MANET networks]. *Proceedings of MAI*. – 2022. – No. 123. – <https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-13>
5. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskij Yu.P., Ruzhickij E. Analiz osobennostej sovremennyh besprovodnyh sensornyh setej [Analysis of the features of modern wireless sensor networks]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2022. No. 3 (41). pp. 99-102.



6. Vozhennikov, A. A. Sravnenie protokolov marshrutizacii v MANET-setyah [Comparison of routing protocols in MANET networks]. *Eurasian Union of Scientists*. – 2016. – № 1-2(22). – Pp. 44-46.
7. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskij Yu.P., Ruzhickij E. Osobennosti optimizacii besprovodnyh sistem svyazi [Features of optimization of wireless communication systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2022. No. 1 (40). pp. 68-71.
8. Gavrilin E. A. Analiz ob'ema trafika protokolov dinamicheskoy marshrutizacii RIP, OSPF i ocenka zagruzki kanalov [Analysis of the traffic volume of dynamic routing protocols RIP, OSPF and channel load estimation]. *REDS: Telecommunication devices and systems*. - 2017. – Vol. 7, No. 2. – pp. 192-193.
9. ZHilin V.V. Issledovanie vliyaniya parametrov kanala na raspoznavаемost' signalov v plc-setyah [Investigation of the influence of channel parameters on the recognizability of signals in PLC networks]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2022. No. 3 (41). pp. 43-48.
10. SHCHerba E. V., Litvinov G. A., SHCHerba M. V. Zadacha obespecheniya kachestva obsluzhivaniya na baze protokola marshrutizacii OLSR: podhody, algoritmy, resheniya [The task of ensuring the quality of service based on the OLSR routing protocol: approaches, algorithms, solutions]. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. – 2019. – Vol. 22, No. 1. – pp. 55-65. – <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2019-22-1-55-65>
11. Muratchaev S. S., Volkov A. S. Realizaciya algoritma klasterizacii dlya resheniya zadach marshrutizacii v setyah MANET [Implementation of clustering algorithm for solving routing problems in MANET networks]. *Microwave equipment and telecommunication technologies*. - 2022. – No. 4. – pp. 50-51.
12. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskij Yu.P., Ruzhickij E. Osobennosti mezhkanal'nyh pomekh v setyah ieee 802.11 [Features of interchannel interference in IEEE 802.11 networks]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2022. No. 1 (40). pp. 72-74.
13. L'vovich Ya.E., Preobrazhenskij Yu.P., Ruzhickij E. Analiz osobennostej priema i peredachi signalov v komp'yuternyh setyah [Analy-

sis of features of reception and transmission of signals in computer networks]. Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. 2022. No. 1 (40). pp. 75-78.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Аветисян Татьяна Владимировна**, преподаватель колледжа, специалист проектного отдела ВИВТ  
*Колледж ВИВТ; Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
*vtatyana\_avetisyan@mail.ru*

**Львович Яков Евсеевич**, профессор, доктор технических наук, профессор  
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
*Kotkovvivi@yandex.ru*

**Львович Игорь Яковлевич**, ректор  
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
*info@vivi.ru*

**Блинов Роман Анатольевич**, аспирант  
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация

## DATA ABOUT THE AUTHORS

**Tatiana V. Avetisyan**, project specialist VIVT

*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 E. Lvovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor

*Voronezh Institute of High Technologies*

*73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation*

*Komkovvvt@yandex.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-3763>*

**Igor Ya. Lvovich**, rector

*Voronezh Institute of High Technologies*

*73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation*

*info@vvt.ru*

**Roman A. Blinov**, graduate student of VIVT

*Autonomous non-profit educational organization of Higher Education Voronezh Institute of High Technologies*

*Komkovvvt@yandex.ru*

Поступила 25.05.2023

После рецензирования 15.06.2023

Принята 20.06.2023

Received 25.05.2023

Revised 15.06.2023

Accepted 20.06.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-115-129  
УДК 629.08



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВОЙСТВ ОБРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА АВТОМОБИЛЯ

*Н.С. Каминский, П.Р. Гостэва,  
О.Г. Михайлова, С.М. Узай*

*Смазочные свойства моторных масел имеют большое значение для нормальной работы кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов двигателя. В цилиндро-поршневой группе, где возникают наибольшие силы трения и нагрузки, в следствии чего, качество моторного масла непосредственно влияет на ресурс двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Не меньшее значение имеет постоянное наличие надежной масляной пленки в зоне контакта опорных и шатунных шеек коленчатого вала с подшипниками скольжения. На параметры помимо времени эксплуатации влияют внешние факторы среды, условия эксплуатации и остаточный ресурс двигателя на момент заливки масла. Факторы влияющие на эксплуатацию важны для исследования масел, чтобы в совокупности с данными показателей дать информацию о качестве масла и состоянии автомобиля. Для выведения показателей масел требуется провести лабораторные исследования с помощью специального оборудования, чтобы дать более точную информацию о качестве исследуемого моторного масла.*

***Цель** – Определение остаточного ресурса масла и его влияния на механизмы двигателя автомобиля при эксплуатации.*

***Метод или методология проведения работы.** В статье использовались лабораторные исследования с помощью имеющихся приборов.*

**Результаты.** Получены наиболее информативные параметры, показывающие остаточный ресурс моторных масел и их влияние на ДВС.

**Область применения результатов.** Полученные результаты целесообразно применять при работе с транспортными средствами, в которых используется моторное масло и преждевременного выявления причинно-следственных связей при ремонте ДВС.

**Ключевые слова:** моторные масла; щелочное число; индекс вязкости; элементный химический состав; температура вспышки

**Для цитирования.** Каминский Н.С., Гостева П.Р., Михайлова О.Г., Угай С.М. Исследование остаточных свойств обработанного моторного масла автомобиля // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 115-129. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-115-129

Original article | Operation of Road Transport

## INVESTIGATION OF RESIDUAL PROPERTIES OF TREATED CAR ENGINE OIL

***N.S. Kaminsky, P.R. Gosteva,  
O.G. Mikhailova, S.M. Ugai***

*The lubricating properties of motor oils are of great importance for the normal operation of the crank and gas distribution mechanisms of the engine. In the cylinder-piston group, where the greatest friction forces and loads occur, as a result, the quality of engine oil directly affects the resource of the internal combustion engine (ICE). Of no less importance is the constant presence of a reliable oil film in the contact zone of the support and connecting rod necks of the crankshaft with sliding bearings. In addition to the operating time, the parameters are influenced by external environmental factors, operating conditions and the residual life of the engine at the time of oil filling. Factors affecting*

*the operation are important for the study of oils in order to provide information about the quality of oil and the condition of the car in conjunction with these indicators. To derive oil indicators, it is required to conduct laboratory tests using special equipment in order to give more accurate information about the quality of the engine oil under study.*

**Purpose.** *Determination of the residual oil life and its effect on the mechanisms of the car engine during operation.*

**Method or methodology of work.** *The article used laboratory studies using existing instruments.*

**Results.** *The most informative parameters showing the residual resource of motor oils and their effect on the internal combustion engine are obtained.*

**The scope of the results.** *The obtained results should be used when working with vehicles that use engine oil and premature identification of cause-and-effect relationships during the repair of internal combustion engines.*

**Keywords:** *engine oils; base number; viscosity index; elemental chemical composition; flash point*

**For citation.** *Kaminsky N.S., Gosteva P.R., Mikhailova O.G., Ugai S.M. Investigation of Residual Properties of Treated Car Engine Oil. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 115-129. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-115-129*

Для проведения анализа качественных характеристик масел проверялись два образца: свежий и отработанный продукт. В основе проверки изменение физико-химических характеристик. Причиной поломки двигателя очень часто является некачественное автомобильное масло, кроме того, при использовании продуктов низкого качества существенно снижается ресурс мотора [2]. Проведенный физико-химический анализ масел позволил изучить рабочие характеристик:

- индекс вязкости;
- температуру вспышки;

- щелочное число;
- элементный химический состав

Для определения изменения вязкостных свойств сначала проводился анализ до процесса термоокисления, затем после него. Индекс вязкости оказывает влияние на защитные свойства, направленные на уменьшение образования нагара и соединений углерода, приводящие к коррозии металла. Процесс окисления, идущий при высоких рабочих температурах, изменяет свойства масел, чем ниже показатель таких изменений, тем лучше для силового агрегата. На исследование были взяты парные образцы масел: новое и обработанное, (таблица 1).

Таблица 1.

## Исследуемые масла

Образец масла	Вид масла	Класс вязкости
1. Лукойл Genesis Polartech	Синтетическое	0W40
2. Лукойл SUPER	Полусинтетическое	10W40
3. Totachi Extra Fuel Economy	Синтетическое	0W20
4. Spectrol GM dexos2	Синтетическое	5W30
5. MITSUBISHI MJ-120	Синтетическое	5W30
6. MITSUBISHI MOLY-TRIMER	Синтетическое	5W30

Вязкостью моторного масла называется свойство масляной пленки оставаться на стенках узлов двигателя, обеспечивая качественное смазывание, не допуская прямого контакта рабочих поверхностей, гарантируя долгий срок службы двигателя. Индекс вязкости масла характеризует скорость падения кинематической вязкости с ростом температур. Вязкость не постоянный параметр, изменяющийся согласно перепаду температур. Чем ниже индекс, тем более жидкое состояние и тонкая масляная пленка, способствующая увеличению изнашиванию узлов. При большой вязкости соприкасающимся деталям затруднено движение относительно друг друга. Густая жидкость труднее прокачивается по масляным каналам, приводя к недостатку смазки и увеличению расхода топлива, рисунок 1.

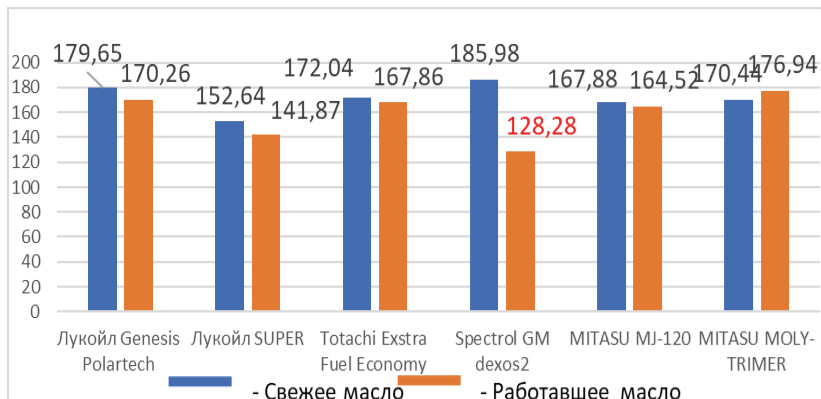


Рис. 1. Индексы вязкости исследуемых образцов

У работавшего масла показатель индекса вязкости ниже по сравнению со свежим. Это объясняется тем, что в процессе работы в масло попадает топливо, пар и растворители, которые делают масло менее вязким. Допустима разница вязкости в пределах 10%. По результатам исследования в образце № 4 разница составляет 31%, что свидетельствует о повреждении двигателя или о низком качестве моторного масла, рисунок 2.

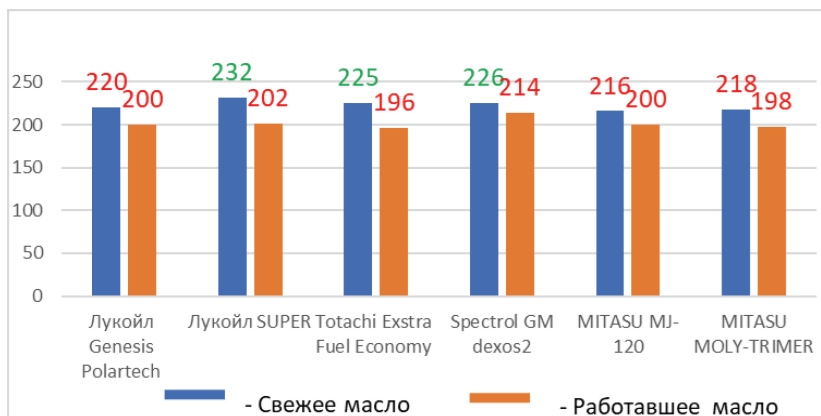


Рис. 2. Температура вспышки исследуемых образцов



Температура вспышки определяет наличие в масле легкокипящих фракций и связана с испаряемостью масла в процессе эксплуатации. У масел с низкими эксплуатационными характеристиками маловязкие фракции быстро выгорают и испаряются, что приводит к повышенному расходу масла и ухудшению его низкотемпературных свойств.

Щелочное число (TBN) отражает определяет способность масла нейтрализовывать вредные кислоты и противодействовать отложениям. TBN большинства масел для бензиновых двигателей обычно имеет значения в пределах 8-9 единиц, для дизельных двигателей около 11-14, рисунок 3.

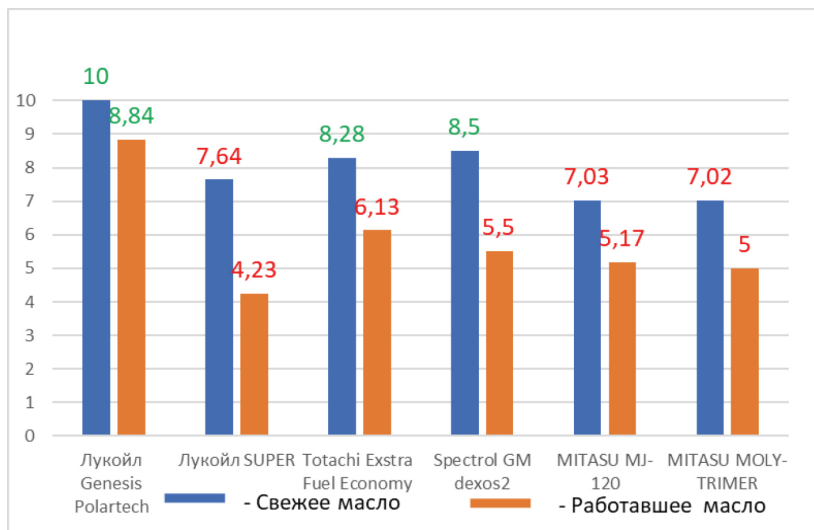


Рис. 3. Щелочное число исследуемых образцов

При эксплуатации общее щелочное число снижается из-за потери свойств нейтрализующих присадок, что приводит к кислотной коррозии и загрязнению внутренних частей двигателя. По разнице щелочного числа между свежим и рабочим маслом можно определить, какое расстояние может проехать автомо-

биль на данном масле или стоит масло заменить. По результатам исследований лучший показатель у образца 1, худший у образца 2.

Элементный состав исследуемых масел проведенный методом спектрального анализа будет представлен на примере одной из пар исследуемых масел (таблица 2).

Таблица 2.

**Элементный состав масла MITASU MOLY-TRIMER**

Содержание элементов (РФ спектр)	MITASU MOLY-TRIMER					
	Свежее базовое		Среднее	Работавшее базовое		Среднее
Al, мг/кг	29,2	38	33,6	68	63,1	65,55
Si, мг/кг	2374,5	2344,7	2359,6	2342,7	2399	2370,85
P, мг/кг	706,1	700,3	703,2	618,5	629	623,75
S, мг/кг	2047,8	2076,5	2062,15	1933,7	1962,1	1947,9
Ca, мг/кг	1936,3	1950,3	1943,3	1875,2	1884,3	1879,75
Cd, мг/кг	4,8	5,5	5,15	4,7	5,1	4,9
Cr, мг/кг	0	0	0	4	4,8	4,4
Mn, мг/кг	0	0	0	0,3	0,5	0,4
Fe, мг/кг	0	0	0	352,7	353,8	353,25
Ni, мг/кг	0,9	1	0,95	5,5	0,7	3,1
Cu, мг/кг	0,7	0,5	0,6	7,8	7,9	7,85
Zn, мг/кг	875,2	886,1	880,65	817,8	833,1	825,45
Mo, мг/кг	86,7	88,6	87,65	87,7	88,4	88,05
Ag, мг/кг	5,2	5,8	5,5	5,2	5,8	5,5
Sn, мг/кг	6,1	2	4,05	9,6	9,7	9,65
Ba, мг/кг	23,6	5,7	14,65	25,5	24,9	25,2
Pb, мг/кг	4,7	5,1	4,9	107,5	108,9	108,2

Интерпретация лабораторный исследований. Повышенное содержание:

Fe результат износа гильз цилиндров, поршневых колец, коленчатого вала, клапанного механизма, шестерен, коромысел, подшипников, масляного насоса.

Ni – выпускные клапана, направляющие клапанов, покрытия шестерней, детали подшипников и турбоагнетателей.

Cu – результат износа направляющих клапанного механизма, маслоохладителя, шатунные и коренные вкладыши, упорных шайб коленвала;

Pb – взаимодействие разложившегося топлива с подшипниками и вкладышами.

Результатами испытаний установлено, что процесс старения моторных масел носит обособленный, определяемый конструктивными особенностями двигателя, системы очистки и охлаждения, режимами и условиями эксплуатации, техническим состоянием топливной аппаратуры, цилиндропоршневой группы, качеством топлива и моторного масла [6].

### **Заключение**

Влияние моторного масла на рабочие характеристики и долговечность узлов и деталей транспортных средств играет значительную роль. По результатам исследований проверены следующие показатели:

- индексы вязкости;
- температура вспышки;
- щелочное число;
- элементарный химический состав.

В ходе исследования было выявлено, что у всех пар масел наблюдается тенденция снижения трех показателей (щелочного числа, температуры вспышки и индекса вязкости) и наличия металлов в процессе эксплуатации масла, что дает нам понять, что все показатели имеют зависимость. Но в тоже время могут быть исключения как в случае вязкости образца 4. Из-за чего хоть у показателей образцов и имеется зависимость, но при этом требуется учитывать комплексное исследования для выявления причинно-следственной связи того, что именно с маслом и из-за чего именно оно находится в определенном состоянии.

Постоянный контроль позволяет рационально использовать ресурс масел в зависимости от характерных особенностей экс-

плуатации техники и своевременно проводить работы по его замене. Так как при диагностике определяются те же показатели, по которым устанавливают пределы работоспособности масла, регулярный анализ отбираемых проб масла даст возможность предотвращать его преждевременную смену и не допускать работу двигателя на масле, которое подлежит замене.

### *Список литературы*

1. Аксенова З. И., Бачурин А. А. Анализ производственно-хозяйственной деятельности автотранспортных предприятий: Учебник для вузов. – М.: Транспорт. – 2010. – 255 с.
2. Арбабян В.Е. Безопасность труда на предприятиях по ремонту автомобилей / В.Е. Арбабян. - М.: Транспорт, 2014. – 123 с.
3. А.С.201768 СССР, МПК 7 G01N 31/05. Оценки и выбраковки моторного масла по капельной пробе / Пасечников Н.С., Хмелева Н.М.
4. Беднарский В.В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебник. - Ростов-на-Дону: Феникс. 2015 - 448 с.
5. Боровских Б.Е., Попов М.Д., Пронштейн М.Я. Справочная книга автомобилиста: Справочник. 4-е изд., перераб. - М.: Лениздат. 1973 - 432 с.
6. Боровских Ю.И., Буралев Ю.В., Морозов К.А., Никифоров В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. - М.: Высшая школа. 1988 - 224 с.
7. Бронштейн Л.А. Организация, планирование и управление автотранспортными предприятиями / Л.А. Бронштейн, К.А. Бельский. – М.: Высшая школа, 2014. – 139 с.
8. Власов В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебное пособие / В.М. Власов. – 2 изд., стер. – М.: Академия, 2014. – 480 с.
9. ГОСТ 4.24-84 «Система показателей качества продукции. Масла смазочные. Номенклатура показателей» // Нефть и нефтепродукты. Масла. Технические условия. Сборник ГОСТов. - М.: Стандартинформ, 2011. <https://docs.cntd.ru/document/1200003559>

10. ГОСТ 10541-2020 «Масла моторные универсальные и для автомобильных карбюраторных двигателей. Технические условия. Universal motor oils and oils for automotive carburetor engines. Specifications». <https://docs.cntd.ru/document/566422803>
11. ГОСТ Р 51634-2000 «Масла моторные автотракторные. Общие технические требования. Motor oils for autotractors. General technical requirements». <https://docs.cntd.ru/document/1200026836>
12. ГОСТ 17479.1-2015 «Масла моторные. Классификация и обозначение. Motor oils. Classification and designation». <https://docs.cntd.ru/document/1200128312>
13. ГОСТ 25770-83 «Масла моторные для быстроходных дизелей транспортных машин. Технические условия. Engine oil for high-speed diesels of transport machines. Specifications». <https://docs.cntd.ru/document/1200003580>
14. ГОСТ 12.0.001-2013 Система стандартов безопасности труда. Основные положения. Occupational safety standards system. Basic rules. <https://docs.cntd.ru/document/1200105195>
15. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Occupational safety standards system. Industrial equipment. General safety requirements. <https://docs.cntd.ru/document/901702428>
16. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. Occupational safety standards system. Means of protection. General requirements and classification. <https://docs.cntd.ru/document/1200000277>
17. Кельдышев В.А. Топливо и смазочные материалы: учебное пособие / В. А. Кельдышев. – Челябинск: ЧГАУ, 2007. – 125 с.
18. Крамаренко Г. В., Барашков И. В. Техническое обслуживание автомобилей. – М.: Транспорт, 1982. – 362 с.
19. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография / В. И. Верецагин, В. С. Янович, Б. И. Ковальский [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.

20. Нигматуллин Р.Г., Нигматуллин В.Р., Нигматуллин И.Р. Диагностика ДВС по анализу моторного масла. – Уфа: ГУП РБ «Уфимский полиграфкомбинат», 2011 – 297 с.
21. Способ экспресс-оценки рабочих свойств работающих моторных масел в полевых условиях методом «масляного пятна» // Патент России № RU2563206С1. 20.09.2015. / Дунаев А.В., Соловьев С.А.
22. Сухова С.Е. Практикум по разработке бизнес – плана и финансовому анализу предприятия / С.Е. Сухова, В.Н. Чернова. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 87 с.
23. Сборник бизнес – планов: учебно–практическое пособие / под ред. Попова В.М. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 34 с.
24. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902132678?marker=656010> (дата обращения: 17.05.2022).
25. Транспорт. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (дата обращения: 17.03.2021).

### *References*

1. Aksenova Z. I., Bachurin A. A. Analysis of production and economic activities of motor transport enterprises: Textbook for universities. – М.: Transport. – 2010. – 255 p.
2. Arbabanyan V.E. Occupational safety at car repair enterprises / V.E. Arbabanyan. - М.: Transport, 2014. – 123 p.
3. A.S.201768 USSR, IPC 7 G01N 31/05. Evaluation and rejection of motor oil using a drop sample / Pasechnikov N.S., Khmeleva N.M.
4. Bednarsky V.V. Car maintenance and repair: Textbook. - Rostov-on-Don: Phoenix. 2015 - 448 p.
5. Borovskikh B.E., Popov M.D., Pronshtein M.Ya. Motorist’s reference book: Handbook. 4th ed., revised. - М.: Lenizdat. 1973 - 432 p.
6. Borovskikh Yu.I., Buralev Yu.V., Morozov K.A., Nikiforov V.M. Car maintenance and repair. - М.: Higher school. 1988 - 224 p.

7. Bronstein L.A. Organization, planning and management of motor transport enterprises / L.A. Bronstein, K.A. Belsky. – M.: Higher School, 2014. – 139 p.
8. Vlasov V.M. Maintenance and repair of automobiles: textbook / V.M. Vlasov. – 2nd ed., erased. – M.: Academy, 2014. – 480 p.
9. GOST 4.24-84 “System of product quality indicators. Lubricating oils. Nomenclature of indicators” // Oil and petroleum products. Oils. Technical conditions. Collection of GOSTs. - M.: Standartinform, 2011. <https://docs.cntd.ru/document/1200003559>
10. GOST 10541-2020 “Universal motor oils and for automobile carburetor engines. Technical conditions. Universal motor oils and oils for automotive carburetor engines. Specifications”. <https://docs.cntd.ru/document/566422803>
11. GOST R 51634-2000 “Motor oils for automobiles and tractors. General technical requirements. Motor oils for autotractors. General technical requirements”. <https://docs.cntd.ru/document/1200026836>
12. GOST 17479.1-2015 “Motor oils. Classification and designation. Motor oils. Classification and design”. <https://docs.cntd.ru/document/1200128312>
13. GOST 25770-83 “Motor oils for high-speed diesel engines of transport vehicles. Technical conditions. Engine oil for high-speed diesels of transport machines. Specifications”. <https://docs.cntd.ru/document/1200003580>
14. GOST 12.0.001-2013 System of occupational safety standards. Basic provisions. Occupational safety standards system. Basic rules. <https://docs.cntd.ru/document/1200105195>
15. GOST 12.2.003-91 System of occupational safety standards. Production equipment. General safety requirements. Occupational safety standards system. Industrial equipment. General safety requirements. <https://docs.cntd.ru/document/901702428>
16. GOST 12.4.011-89 System of occupational safety standards. Protective equipment for workers. General requirements and classification. Occupational safety standards system. Means of protection.

- General requirements and classification. <https://docs.cntd.ru/document/1200000277>
17. Keldyshev V.A. Fuel and lubricants: textbook / V. A. Keldyshev. – Chelyabinsk: ChSAU, 2007. – 125 p.
  18. Kramarenko G.V., Barashkov I.V. Car maintenance. – M.: Transport, 1982. – 362 p.
  19. Methods of control and results of studying the state of transmission and motor oils during their oxidation and tribotechnical tests: monograph / V. I. Vereshchagin, V. S. Yanovich, B. I. Kovalsky [etc.]. – Krasnoyarsk: Sib. federal univ., 2017. – 208 p.
  20. Nigmatullin R.G., Nigmatullin V.R., Nigmatullin I.R. Diagnostics of internal combustion engines using engine oil analysis. – Ufa: State Unitary Enterprise of the Republic of Belarus “Ufa Printing Plant”, 2011 – 297 p.
  21. Method for express assessment of the performance properties of working motor oils in field conditions using the “oil spot” method // Russian Patent No. RU2563206C1. 09.20.2015. / Dunaev A.V., Soloviev S.A.
  22. Sukhova S.E. Workshop on developing a business plan and financial analysis of an enterprise / S.E. Sukhova, V.N. Chernova. – M.: Finance and Statistics, 2001. – 87 p.
  23. Collection of business plans: educational and practical guide / ed. Popova V.M. – M.: Finance and Statistics, 2006. – 34 p.
  24. On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period until 2030. Electronic fund of legal and regulatory technical documentation. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902132678?marker=6560IO> (access date: 05/17/2022).
  25. Transport. Federal State Statistics Service. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (accessed: 03/17/2021).

## **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Каминский Никита Сергеевич**, старший преподаватель кафедры «Отделение машиностроения, морской техники и транспорта»  
*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»*



*п. Аякс 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,  
690922, Российская Федерация  
kaminskii.ns@dvfu.ru*

**Гостэва Павел Романович**, студент кафедры «Отделение машиностроения, морской техники и транспорта»  
*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»  
п. Аякс 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,  
690922, Российская Федерация  
kaminskii.ns@dvfu.ru*

**Михайлова Ольга Геннадьевна**, доцент, канд. политических наук кафедры «Отделение машиностроения, морской техники и транспорта»  
*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»  
п. Аякс 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,  
690922, Российская Федерация*

**Угай Сергей Максимович**, доцент, канд. технических наук кафедры «Отделение машиностроения, морской техники и транспорта»  
*ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»  
ул. Кирова, Д. 49, г. Чита, Забайкальский край, 672010, Российская Федерация*

#### **DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Nikita S. Kaminsky**, Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering, Marine Engineering and Transport  
*Far Eastern Federal University  
Ajax 10, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922,  
Russian Federation  
kaminskii.ns@dvfu.ru*

**Pavel R. Gosteva**, student of the Department of Mechanical Engineering, Marine Engineering and Transport  
*Far Eastern Federal University*  
*Ajax 10, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russian Federation*  
*gosteva.pr@students.dvfu.ru*

**Olga G. Mikhailova**, Associate Professor, Candidate of Political Sciences, Department of Mechanical Engineering, Marine Engineering and Transport  
*Far Eastern Federal University*  
*Ajax 10, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russian Federation*

**Sergey M. Ugai**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences of the Department “Department of Mechanical Engineering, Marine Engineering and Transport”  
*Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences*  
*Kirova Str., 49, Chita, Zabaikalsky Krai, 672010, Russian Federation*

Поступила 25.05.2023

После рецензирования 15.06.2023

Принята 18.06.2023

Received 25.05.2023

Revised 15.06.2023

Accepted 18.06.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-130-148  
УДК 004.932.2



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*А.В. Пятаева, М.А. Мерко, В.А. Жуковская,  
И.А. Пиньчук, М.С. Елисеева*

*Настоящая работа посвящена решению задачи распознаванию подписи с использованием нейронных сетей. Авторами предложено использование сверточных нейронных сетей с целью определения класса подписи. Подписи играют важную роль в финансовых, коммерческих и юридических транзакциях, их распознавание гарантирует безопасность не только информации, но и личности в целом. Применение нейронных сетей для распознавания подписи позволяет достоверно идентифицировать пользователя в автоматизированном режиме. Авторами разработана сверточная нейронная сеть, также предложен алгоритм, который состоит из предобработки изображения, включающей в себя сегментацию фона, шумоподавление и нормализация изображения. Предобработка изображения позволяет повысить качество работы сети. Далее выполняется извлечения вектора признаков, который состоит из глобальных признаков, таких как отношение высоты к ширине подписи, максимальная горизонтальная гистограмма и максимальная вертикальная гистограмма, горизонтальный центр и вертикальный центр подписи, конечные точки подписи, область подписи, обучения нейронной сети с извлеченными признаками, распознавания владельца рукописной подписи и последующее прогнозировании класса подписи.*

*Цель – разработка алгоритма распознавания рукописной подписи с применением нейронных сетей.*

**Метод или методология проведения работы:** в работе использованы методы компьютерного зрения; методы глубокого обучения, а также методы объектно-ориентированного программирования.

**Результаты:** разработан алгоритм распознавания рукописной подписи с применением нейронной сети.

**Область применения результатов:** применение полученных результатов целесообразно в криминалистических анализах документов, так как человек использует подпись на регулярной основе для подписания чеков, юридических документов, контрактов и других бумажных носителей, нуждающихся в защите. Поэтому, когда кто-то пытается скопировать подпись возникает проблема, которая может повлечь за собой нежелательные последствия в виде хищения и дальнейшего использования как персональных данных, так и другой ценной секретной информации.

**Ключевые слова:** распознавание рукописной подписи; машинное обучение; классификация подписи

**Для цитирования.** Пятаева А.В., Мерко М.А., Жуковская В.А., Пинчук И.А., Елисеева М.С. Распознавание рукописной подписи с применением нейронных сетей // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 3. С. 130-148. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-130-148

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## HANDWRITTEN SIGNATURE RECOGNITION USING NEURAL NETWORKS

**A.V. Pyataeva, M.A. Merko, V.A. Zhukovskaya,  
I.A. Pinchuk, M.S. Eliseeva**

*This work is devoted to solving the problem of signature recognition using neural networks. The authors proposed the use of convolutional neural networks to determine the signature class. Signatures play an im-*

portant role in financial, commercial and legal transactions, their recognition guarantees the security of not only information, but the whole person. The use of neural networks for signature recognition allows you to reliably identify a user in an automated mode. The authors have developed a convolutional neural network, and also proposed an algorithm that consists of image preprocessing, including background segmentation, noise reduction, and image normalization. Image preprocessing improves the quality of the network. Next, feature extraction is performed, which consists of global features, such as the ratio of the height to width of the signature, the maximum horizontal histogram and the maximum vertical histogram, the horizontal center and the vertical center of the signature, the endpoints of the signature, the signature area, training a neural network with extracted features, recognition the owner of the handwritten signature and then predicting the class of the signature.

**Purpose** – development of a handwritten signature recognition algorithm using neural networks.

**Methodology:** the methods of computer vision were used in the work; deep learning methods, as well as object-oriented programming methods.

**Results:** developed a handwritten signature recognition algorithm using a neural network.

**Practical implications:** the application of the results obtained is useful in forensic analysis of documents, since a person uses a signature on a regular basis to sign checks, legal documents, contracts and other paper media that need protection. Therefore, when someone tries to copy a signature, a problem arises that can lead to undesirable consequences in the form of theft and further use of both personal data and other valuable secret information.

**Keywords:** handwritten signature recognition; machine learning; signature classification

**For citation.** Pyataeva A.V., Merko M.A., Zhukovskaya V.A., Pinchuk I.A., Eliseeva M.S. Handwritten Signature Recognition using Neural Networks. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 130-148. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-130-148

## **Введение**

В последние годы биометрия стала важным аспектом аутентификации и верификации личности. Биометрические системы в основном используются в двух сценариях: проверка и идентификация. В первом случае пользователь системы утверждает личность и предоставляет биометрический образец. Роль системы проверки состоит в том, чтобы проверить, действительно ли пользователь является тем, за кого себя выдает. В случае идентификации пользователь предоставляет биометрический образец, и цель состоит в том, чтобы идентифицировать его среди всех пользователей, зарегистрированных в системе. Рукописная подпись является особенно важным типом биометрического признака, в основном из-за ее повсеместного использования для проверки личности человека в юридической, финансовой и административной сферах.

Рукописная подпись представляет собой проработанное собственноручное обозначение фамилии, имени или отчества, которое служит для аутентификации личности. Ее свойства уникальны и их практически невозможно воспроизвести, но все же попытки подделки данного атрибута существуют. Одна из причин широкого использования рукописной подписи заключается в том, что процесс сбора образцов не является инклюзивным, и люди знакомы с использованием подписи в своей повседневной жизни [1]. Поскольку все важные документы, такие как формы, контракты, банковские чеки и транзакции по кредитным картам, договоры, доверенности, свидетельства, заверяются подписью, она становится целью мошенников, которые могут осуществить кражу денежных средств и (или) персональных данных. Поэтому возникает потребность в верификации подписи, позволяющей обнаружить фальсификацию и обеспечить защиту данных. У каждого человека есть уникальная подпись, и при подделке она теряет свои ключевые особенности. Таким образом, проверка подписи становится очень важным аспектом безопасности. В

работе для распознавания рукописной подписи по визуальным данным использованы технологии глубоко обучения.

### Технологии распознавания подписи

Поддельные подписи могут быть разделены на случайную, простую и искусную подделку (рис. 1). При случайной подделке у злоумышленника нет информации об истинной подписи пользователя, фальсификатор использует свою подпись. В случае простой подделки злоумышленник знает только имя пользователя. Такая подделка может иметь сходство с настоящей подписью. Искусная подделка выполняется злоумышленником с доступом к имени человека и его личной подписи.

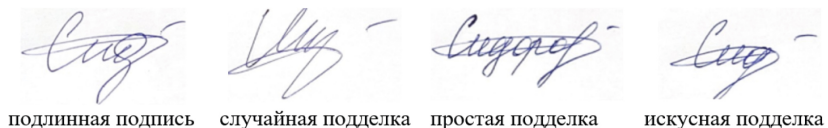


Рис. 1. Примеры подписей

Наибольшую сложность при проверке личности по его подписи представляют собой искусные подделки. В таких умелых подделках мошенник, имея доступ как к имени пользователя, так и к подписи может практиковать имитацию подписи пользователя. Это приводит к подделкам, которые имеют большее сходство с подлинной подписью, и поэтому их труднее обнаружить.

Основной проблемой при распознавании рукописной подписи является высокая изменчивость внутри класса [2–5], то есть подпись одного и того же человека существенно различается раз от раза, а подписи разных персон имеют колоссальную вариативность. По сравнению с физическими биометрическими признаками, такими как отпечаток пальца или радужная оболочка глаза, рукописные подписи одного и того же пользователя часто сильно различаются между образцами. На рисунке 2 представлен пример наложения нескольких образцов подписей одного и того же

человека, выполненных в одно и тоже время теми же чернилами и ручкой.



**Рис. 2.** Наложение различных образцов от одного и того же автора

Проблема распознавания рукописной подписи также усугубляется тем, что при наличии достаточного количества образцов подписи может быть изготовлена подделка с высокой степенью близкого сходства с оригиналом.

Для распознавания рукописной подписи применяются различные подходы. Например, метод опорных векторов [6-8], который основан на теории обучения и статистики, решает проблему построения классификатора, создавая оптимальную разделяющую гиперплоскость в выборочном пространстве или символьном пространстве, которое является пространством изображений высокой размерности отображения ядра. Скрытые марковские модели, описанные в работе [9] представляют статистические модели для сбора скрытой информации из наблюдаемых последовательных символов, а в методе  $k$ -средних [10] множество данных разбивается на определенное количество  $k$  групп, каждая из которых состоит из одной случайной точки, и затем при добавлении каждой новой точки к группе, среднее значение которой является новой точкой. После добавления точки в группу, новое среднее значение данной группы корректируется с учетом новой точки. Таким образом, на каждой стадии  $k$ -средних на самом деле являются среднеарифметическим групп, которые они представляют. Новейшим способом распознавания рукописной подписи



является использование технологий глубоких нейронных сетей, например, применение сиаемской нейронной сети [11], сверточной нейронной сети [12] или рекуррентных сетей [13].

Таким образом, распознавание рукописной подписи является сложной и актуальной задачей.

### **Распознавание рукописной подписи**

В работе для распознавания рукописной подписи использованы глубокие нейронные сети. На первом этапе алгоритма распознавания рукописной подписи выполняется подготовка набора данных. Для этого производится выгрузка данных из датасета, инициализируются классы. После чего устанавливается размер батча и задаются размеры изображения. Алгоритм верификации рукописной подписи представлен на рисунке 3.

При распознавании рукописной подписи существенное значение имеет размер обрабатываемого изображения. Использование изображений подписи небольшого размера приводит к потере важных деталей рукописной подписи, а только благодаря этим деталям и появляется возможность отличить искусственную подделку от подлинной подписи. Кроме того, на изображениях подписи возможно присутствие различных артефактов, связанных с шумами оборудования и условиями съемки. Так, грязь на камерах или линзах сканера, несовершенство освещения сканера и другие артефакты вносят шум в отсканированные изображения подписи. Однако и размеры изображения подписи могут отличаться из-за нарушений в процессе сканирования и захвата изображения. Вместе с тем, высота и ширина подписей варьируются от человека к человеку, и иногда даже один и тот же человек может использовать подписи разного размера. Во-первых, нужно устранить различия в размерах и получить стандартный размер подписи для всех подписей. После этого процесса нормализации все подписи будут иметь одинаковые размеры. Для устранения таких шумов и приведения изобра-

жений к единому размеру используется предварительная обработка изображений. Она повышает качество изображения, устраняя непреднамеренные искажения или улучшая некоторые функции изображения, которые важны для дальнейшей обработки и создания более подходящего изображения, чем оригинал для конкретной задачи. Выполнение этого этапа включает в себя сегментацию фона, фильтрацию шумов и нормализацию изображения.

Для дифференциации пикселей подписи от пикселей фона используется метод пороговой сегментации. Так как в данном случае необходимо определить темные объекты на светлом фоне, пороговое значение, называемое порогом яркости, выбирается соответствующим образом и применяется к пикселям изображения. После предобработки, пиксели подписи будут равны 1, а другие пиксели, принадлежащие фону, будут равны 0. Фильтрация шумов выполнена работает как функция большинства, которая заменяет каждый пиксель его функцией большинства.

Последним этапом предобработки является нормализация изображения. В ходе обработки исходное изображение преобразовывается к размеру  $256 \times 256$ . В процессе нормализации соотношение сторон между шириной и высотой подписи сохраняется.

На выходе получается предобработанное изображения. Извлеченные функции на этом этапе являются входными данными этапа обучения. Для обучения нейронной сети данные делятся на два набора: обучающий и тестовый. Тестовый набор содержит уже предсказанные значения. Он используется для проверки прогнозов, сделанных обучающим набором. По сути, модель обучается на тренировочном наборе и проверяется на тестовом наборе. Кроме того, дается делится на положительные и отрицательные образцы: положительный образцы – подпись оригинальная, а отрицательный образцы – подпись поддельная.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма

Функции в этой системе – это глобальные функции, функции маски и функции сетки. Общие характеристики: предоставляет информацию о конкретных случаях формы подписи, таких как площадь подписи, отношение высоты к ширине подписи, максимальная горизонтальная гистограмма и максимальная вертикальная гистограмма, центр подписи по горизонтали и вертикали, количество локальных максимумов подписи и граничная точка подпись. Горизонтальная гистограмма рассчитывается путем просмотра каждой строки изображения подписи и подсчета количества черных пикселей. Строка с максимальным количеством черных пикселей записывается как максимальная горизонтальная гистограмма. Точно так же вертикальная гистограмма рассчитывается путем просмотра каждого столбца изображения подписи и поиска столбца с максимальным количеством черных пикселей. Далее изображение подписи делится на две равные части и вычисляется центр масс для отдельных частей. После этого применяется горизонтальная линия, проходящая через центр масс каждой части подписи, и рассчитывается площадь сигнатуры выше и ниже центра масс в ограничивающей рамке.

Характеристики маски: предоставляет информацию о направлениях линий подписи, поскольку углы подписи имеют межличностные различия. Функции сетки: предоставление общей информации о внешнем виде подписи. Нормализованный вектор подписи передается в нейронную сеть, которая распознает владельца контрактной подписи, после чего происходит проверка подписи на принадлежность классам «Оригинал» и «Подделка».

### **Набор данных и экспериментальные исследования**

Была создана программная реализация с использованием Anaconda и пакета Python, включая OpenCV [15], matplotlib [16], Keras [17], TensorFlow [17]. Экспериментальные исследования проводились с применением облачных серверов Google Colab с характеристиками процессора Intel(R) Xeon(R) CPU, Intel(R)

Xeon(R) CPU 2.20GHz, Объем памяти 12 GB, Операционная система Windows 10, Графический процессор NVIDIA Tesla T4 с выделенной памятью 16 GB.

Для распознавания рукописных подписей с применением нейронных сетей используется переработанный набор данных «UTSig» [14]. Дейтасет содержит рукописные подписи, полученные от 1650 человек:

- 64 вида рукописных подписей, выполненных разными людьми;
- 12 подлинных подписей на каждого подписавшегося;
- 12 поддельных экземпляров, выполненных по статическому изображению рукописной подписи.

Каждому фальсификатору разрешалось практиковать подпись столько, сколько он пожелает. Каждый фальсификатор имитировал 3 подписи 5 подписавшихся за один день написания. Подлинные подписи, показанные каждому фальсификатору, выбираются случайным образом из 12 подлинных образцов одной подписи. Таким образом, на каждую подлинную подпись приходится в среднем 15 искусных подделок, сделанных 10 фальсификаторами из 10 разных подлинных экземпляров.

Таким образом, получаем, что дейтасет содержит два основных класса: «Оригинал» и «Подделка». В свою очередь, в каждом классе имеется по 64 подкласса. Каждый подкласс содержит в среднем по 12 вариантов изображений рукописной подписи одного человека. Изображения хранятся в формате «PNG» и имеют различное разрешение, зависящее от высоты, ширины и длины рукописной подписи. В ходе обработки исходное изображение преобразовывается к размеру 256×256. На рисунке 4 представлены экземпляры класса «Оригинал» и «Подделка».

В ходе работы был проведен эксперимент, устанавливающий зависимость между скоростью обучения нейронной сети и использованием графического процессора. Обучения без использования графических процессоров занимает в общей сложности

50 минут. В свою очередь, обучение с применением графических процессоров выполняется за 5 минут.



**Рис. 4.** Примеры экземпляров подписей из класса:  
(а) – «Оригинал»; (б) – «Подделка»

Оценка точности модели производится с помощью метрики, такой как Accuracy, предназначенной для задач классификации и рассчитывается классическим способом согласно формуле:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (1)$$

где TP – True Positive, число истинно положительных кадров, то есть кадров, в которых жест распознан верно; TN – True Negative, число истинно негативных кадров; FP – False Positive, число ложно положительных кадров; FN – False Negative, число ложно негативных кадров.

Разработанная сверточная нейронная сеть для распознавания и верификации рукописной подписи, в результате обучения на дейтасете «UTSig», позволяет получить точность распознавания и полученные при этом потери рукописной подписи, показанные на рисунке 5.

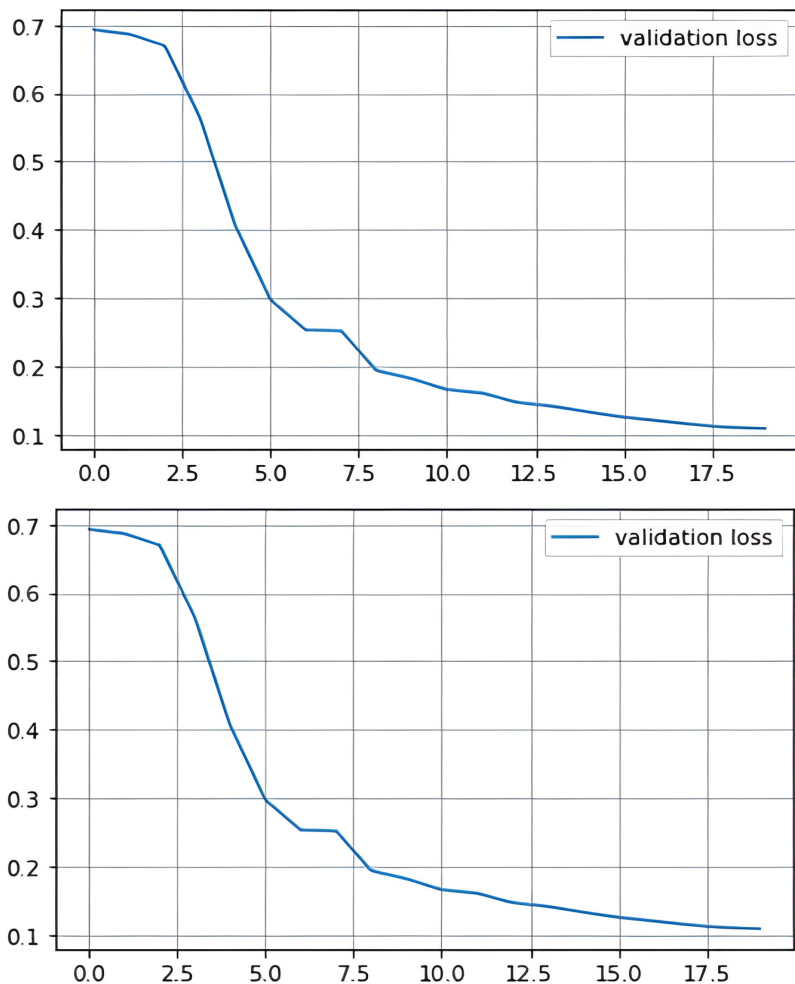


Рис. 5. Точности и потери, полученные при распознавании подписи

Графики на рисунке 5 показывают изменения потерь и точность распознавания рукописной подписи с применением нейронных сетей.

### **Заключение**

Таким образом, решение задачи распознавания и верификации рукописной подписи является сложной и актуальной задачей. Для ее решения разработана сверточная нейронная сеть и предложен алгоритм, который состоит из предобработки изображения, включающей в себя сегментацию фона, шумоподавление и нормализация изображения. Предобработка изображения позволяет повысить качество работы сети. Далее выполняется извлечения вектора признаков, который состоит из глобальных признаков, таких как отношение высоты к ширине подписи, максимальная горизонтальная гистограмма и максимальная вертикальная гистограмма, горизонтальный центр и вертикальный центр подписи, конечные точки подписи, область подписи. Проведено обучение и тестирование разработанной сверточной нейронной сети на наборе данных «UTSig». Из результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что алгоритм распознавания и верификации рукописной подписи позволяет распознавать и верифицировать рукописную подпись.

### ***Список литературы***

1. Plamondon R., Srihari S. N. Online and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2000. – Т. 22. – №. 1. – С. 63-84.
2. Jain A. K., Nandakumar K., Nagar A. Biometric template security // EURASIP Journal on advances in signal processing. – 2008. – Т. 2008. – С. 1-17.
3. Maiorana E. et al. Cancelable templates for sequence-based biometrics with application to on-line signature recognition // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans. – 2010. – Т. 40. – №. 3. – С. 525-538.



4. Rua E. A. et al. Biometric template protection using universal background models: An application to online signature // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2011. – Т. 7. – №. 1. – С. 269-282.
5. Grosso E., Pulina L., Tistarelli M. Modeling biometric template update with ant colony optimization // 2012 5th IAPR International Conference on Biometrics (ICB). – IEEE, 2012. – С. 506-511.
6. Bhunia A. K., Alaei A., Roy P. P. Signature verification approach using fusion of hybrid texture features // Neural Computing and Applications. 2019, vol. 31, p. 8737–8748.
7. Kumar R., Sharma J., Chanda B. Writerindependent off-line signature verification using surroundedness feature // Pattern recognition letter. 2012, vol. 33(3), p. 301–308.
8. Hafemann L. G., Oliveira L. S., Sabourin R. Fixed sized representation learning from offline handwritten signatures of different sizes // International Journal on Document Analysis and Recognition. 2018, vol. 21(3), p.219–232.
9. Yilmaz M., Yanikog B. Score level fusion of classifiers in off-line signature verification // Information Fusion. 2016, vol. 32, p. 109–119.
10. MacQueen J. Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability // Some methods for classification and analysis of multivariate observations. – 1967. – С. 281-297.
11. Jagtap A. B., Sawat D. D., Hegadi R., Hegadi R.S. Verification of genuine and forged offline signatures using Siamese Neural Network (SNN) // Multimedia Tools and Applications. 2020, vol. 79, p. 35109–35123.
12. Jain A., Singh S. K., Singh K. P. Handwritten signature verification using shallow convolutional neural network // Multimedia Tools and Applications. 2020, vol. 79, p. 19993–20018.
13. Ghosh, R. A. Recurrent Neural Network based deep learning model for offline signature verification and recognition system // Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 168.
14. Антонио Джулли, Суджит Пал Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow. - ДМК Пресс, 2017. - 296 с.

15. Matplotlib 3.6.2 documentation // Matplotlib documentation URL: <https://matplotlib.org/stable/index.html> (дата обращения: 05.11.2022).
16. About OpenCV // OpenCV URL: <https://opencv.org/about/> (дата обращения: 05.11.2022).

### *References*

1. Plamondon R., Srihari S. N. Online and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2000. – Т. 22. – №. 1. – С. 63-84.
2. Jain A. K., Nandakumar K., Nagar A. Biometric template security // EURASIP Journal on advances in signal processing. – 2008. – Т. 2008. – С. 1-17.
3. Maiorana E. et al. Cancelable templates for sequence-based biometrics with application to on-line signature recognition // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans. – 2010. – Т. 40. – №. 3. – С. 525-538.
4. Rua E. A. et al. Biometric template protection using universal background models: An application to online signature // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2011. – Т. 7. – №. 1. – С. 269-282.
5. Grosso E., Pulina L., Tistarelli M. Modeling biometric template update with ant colony optimization // 2012 5th IAPR International Conference on Biometrics (ICB). – IEEE, 2012. – С. 506-511.
6. Bhunia A. K., Alaei A., Roy P. P. Signature verification approach using fusion of hybrid texture features // Neural Computing and Applications. 2019, vol. 31, p. 8737–8748.
7. Kumar R., Sharma J., Chanda B. Writerindependent off-line signature verification using surroundedness feature // Pattern recognition letter. 2012, vol. 33(3), p. 301–308.
8. Hafemann L. G., Oliveira L. S., Sabourin R. Fixed sized representation learning from offline handwritten signatures of different sizes // International Journal on Document Analysis and Recognition. 2018, vol. 21(3), p.219–232.

9. Yilmaz M., Yanikog B. Score level fusion of classifiers in off-line signature verification // Information Fusion. 2016, vol. 32, p. 109–119.
10. MacQueen J. Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability // Some methods for classification and analysis of multivariate observations. – 1967. – С. 281-297.
11. Jagtap A. B., Sawat D. D., Hegadi R., Hegadi R.S. Verification of genuine and forged offline signatures using Siamese Neural Network (SNN) // Multimedia Tools and Applications. 2020, vol. 79, p. 35109–35123.
12. Jain A., Singh S. K., Singh K. P. Handwritten signature verification using shallow convolutional neural network // Multimedia Tools and Applications. 2020, vol. 79, p. 19993–20018.
13. Ghosh, R. A. Recurrent Neural Network based deep learning model for offline signature verification and recognition system // Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 168.
14. Antonio Giulli, Sujit Pal Keras library is a deep learning tool. Implementation of neural networks using Theano and TensorFlow libraries. - DMK Press, 2017. - 296 p.
15. Matplotlib 3.6.2 documentation // Matplotlib documentation URL: <https://matplotlib.org/stable/index.html> (accessed 11/05/2022).
16. About OpenCV // OpenCV URL: <https://opencv.org/about/> (accessed 11/05/2022).

### **ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ**

**Пятаева Анна Владимировна**, доцент кафедры Систем искусственного интеллекта ИКИТ СФУ, кандидат технических наук  
*Институт космических и информационных технологий СФУ  
ул. Академика Киренского, 26Б, г. Красноярск, 660074, Российская Федерация [anna4u@list.ru](mailto:anna4u@list.ru)*

**Мерко Михаил Алексеевич**, доцент кафедры Систем искусственного интеллекта ИКИТ СФУ, кандидат технических наук  
*Институт космических и информационных технологий СФУ  
ул. Академика Киренского, 26Б, г. Красноярск, 660074, Российская Федерация [mmerko@sfu-kras.ru](mailto:mmerko@sfu-kras.ru)*

**Жуковская Владислава Андреевна**, студентка 1 курса магистратуры

*Институт космических и информационных технологий СФУ  
ул. Академика Киренского, 26Б, г. Красноярск, 660074, Рос-  
сийская Федерация  
zhukovskaya.vlada00@mail.ru*

**Пиньчук Иван Андреевич**, студент 1 курса магистратуры

*Институт космических и информационных технологий СФУ  
ул. Академика Киренского, 26Б, г. Красноярск, 660074, Рос-  
сийская Федерация*

**Елисеева Мария Сергеевна**, студентка 2 курса магистратуры

*Институт космических и информационных технологий СФУ  
ул. Академика Киренского, 26Б, г. Красноярск, 660074, Рос-  
сийская Федерация*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Anna V. Pyataeva**, Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence Systems IKIT SFU, Candidate of Technical Sciences  
*Siberian Federal University*

*26B, Academician Kirensky, Krasnoyarsk, 660074, Russian  
Federation*

*anna4u@list.ru*

*SPIN-code: 2498-2148*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0140-263X>*

**Mikhail A. Merko**, Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence Systems IKIT SFU, Candidate of Technical Sciences  
*Siberian Federal University*

*26B, Academician Kirensky, Krasnoyarsk, 660074, Russian  
Federation [mmerko@sfu-kras.ru](mailto:mmerko@sfu-kras.ru)*

*SPIN-code: 2305-6520*

**Vladislava A. Zhukovskaya**, 1st year master's student

*Siberian Federal University*

*26B, Academician Kirensky, Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation*

*zhukovskaya.vlada00@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6113-3128>*

**Ivan A. Pinchuk**, 1st year master's student

*Siberian Federal University*

*26B, Academician Kirensky, Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation*

*ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5537-9730>*

**Maria S. Eliseeva**, 2nd year master's student

*Siberian Federal University*

*26B, Academician Kirensky, Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation*

Поступила 11.06.2023

После рецензирования 25.06.2023

Принята 01.07.2023

Received 11.06.2023

Revised 25.06.2023

Accepted 01.07.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-149-162  
УДК 656.224.072



Научная статья | Управление процессами перевозок

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ДАЛЬНЕЙ ПАССАЖИРСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ

*Т.А. Малахова*

*Одним из направлений развития транспортного комплекса Российской Федерации является развитие мультимодальных транспортных технологий и инфраструктуры для обеспечения мультимодальных перевозок. В статье представлена экономическая оценка мероприятий по организации мультимодальных дальних пассажирских перевозок. Показано, что предложенный алгоритм направлен на выполнение основных требований к организации пассажирской перевозки, которые заключаются в получении максимума дохода при выполнении мультимодальной перевозки на направлении, и максимизации количества перевозимых пассажиров с целью лучшего удовлетворения пассажирского спроса*

**Цель.** *Изучить влияние мультимодальных перевозок на повышение пассажирооборота на полигоне АО «ФПК». Поскольку современные требования к системе пассажирских перевозок диктуют необходимость создания мультимодальной транспортной системы на основе интеграции пассажирских сервисов железнодорожного транспорта между собой и с другими видами транспорта необходимо показать важность организации мультимодальных перевозок в соответствии с пассажирским спросом. Рассмотреть вопрос о необходимости определения основных параметров, влияющих на выбор мультимодальных маршрутов.*

**Методы.** *Дополнение существующих подходов к организации мультимодальной перевозки. Методы экономической теории для*

определения эффективности организации дальних мультимодальных пассажирских перевозок.

**Результаты.** Определены критерии мультимодальной перевозки. Предложен алгоритм оценки экономической эффективности организации мультимодального маршрута, позволяющий оценить ожидаемую прибыль от организации перевозки, а также спрогнозировать ее влияние на показатели перевозочного процесса.

**Область применения результатов.** Предложенные в разработанном автором алгоритме рекомендации и подходы могут быть использованы для развития мультимодальных маршрутов. Предложенный алгоритм позволяет еще на этапе предварительного отбора вариантов организации мультимодальной дальней пассажирской перевозки выполнить предварительный анализ ее экономической целесообразности

**Ключевые слова:** мультимодальные перевозки; критерии эффективности; аналитическая отчетность; экономическая целесообразность

**Для цитирования.** Малахова Т.А. Алгоритм оценки экономической эффективности организации мультимодальной дальней пассажирской перевозки // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 149-162. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-149-162

Original article | Transportation Process Management

## ALGORITHM FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION OF MULTIMODAL LONG-DISTANCE PASSENGER TRANSPORTATION

*T.A. Malakhova*

*One of the directions of development of the transport complex of the Russian Federation is the development of multimodal transport technologies and infrastructure to ensure multimodal transportation.*

*The article presents an economic assessment of measures for the organization of multimodal long-distance passenger transportation. It is shown that the proposed methodology is aimed at meeting the basic requirements for the organization of passenger transportation, which are to obtain the maximum income when performing multimodal transportation in the direction, and to maximize the number of passengers transported in order to better meet passenger demand.*

**Purpose** is to study the impact of multimodal transportation on the increase of passenger turnover at the landfill of JSC “FPC”. Since modern requirements for the passenger transportation system dictate the need to create a multimodal transport system based on the integration of passenger rail transport with other modes of transport, it is necessary to show the importance of organizing multimodal transportation in accordance with passenger demand. To consider the matter of necessity to determine the main parameters that affect the choice of multimodal routes.

**Methodology.** Complement existing approaches to the organization of multimodal transportation. Methods of economic theory for determining the effectiveness of the organization of long-distance multimodal passenger transportation.

**Results.** The criteria of multimodal transportation have been defined. An algorithm for assessing the economic efficiency of the organization of a multimodal route is proposed, which allows to estimate the expected profit from transportation organization, as well as predicting transportation impact on transportation process indicators.

**Practical implication.** The recommendations and approaches proposed in the algorithm developed by the author can be used for the development of multimodal routes. The proposed algorithm allows performing a preliminary analysis of its economic feasibility yet at the preliminary selection stage for multimodal long-distance passenger transportation organization.

**Keywords:** multimodal transportation; efficiency criteria; analytical reporting; economic feasibility



***For citation.** Malakhova T.A. Algorithm for Assessing the Economic Efficiency of the Organization of Multimodal Long-Distance Passenger Transportation. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 149-162. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-149-162*

## **Введение**

В Долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» на период до 2030 года мультимодальные перевозки выступают одним из главных условий создания эффективных транспортных систем, поскольку способствуют рациональному распределению пассажиропотоков по видам транспорта [9]. Применение мультимодальных технологий позволяет добиться повышения пассажирооборота, и, следовательно, роста емкости рынка железнодорожных пассажирских перевозок [11-14].

Переход к мультимодальным перевозкам с условием согласования времени пересадки должен происходить с детальной разработкой оптимального расписания движения и тарифной политики, оценкой потребностей пассажиров в удобных и качественных стыковках и пересадках, анализом местных особенностей в каждом населенном пункте, изучения психологии пассажира [3.4].

В настоящее время для увеличения рентабельности пассажирских перевозок задача оптимизации поездных схем в пассажирском железнодорожном сообщении решается в основном с экономической точки зрения. Ведутся исследования принципов построения поездных схем, обеспечивающих максимальную доходность при минимальных издержках [].

## **Выбор критериев привлекательности организации мультимодальных перевозок**

В этой связи актуально создание гибкой, адаптивной системы проактивного комплексного планирования различных вариантов мультимодальных транспортных систем, включающих различные виды транспорта, которая бы обеспечивала ситуационно заданный уровень использования вместимости транспортных средств, при-

нимающих участие в перевозке, а также мобильность пассажиров различных социальных групп с учетом их предпочтений [2,5].

Целями организации мультимодальных пассажирских перевозок являются:

- повышение мобильности населения страны;
- обеспечение большей свободы передвижения и доступа к услугам качественной единой транспортной системы;
- снижение общей стоимости перевозки привлечение за счет этого дополнительных пассажиров;
- социальное и экономическое развитие отдельных регионов.

Запуск удобных мультимодальных маршрутов не позволит допустить снижения пассажиропотока, а в некоторых случаях может привести к его увеличению [7].

В качестве критериев привлекательности организации мультимодальных перевозок с точки зрения организатора перевозки можно использовать основные показатели использования подвижного состава, которые исторически сложились на железнодорожном транспорте и других видах транспорта, участвующих в перевозке.

Наиболее важными параметрами влияющим на возможность организации мультимодальной перевозки предлагается принять населенность вагона и степень использования вместимости вагона.

Для железнодорожного транспорта населенность вагонов определяется:

$$\alpha = \frac{AL}{NL}, \quad (1)$$

где  $AL$  – пассажиро-километры, выполненные поездом на маршруте,  
 $NL$  – вагоно-километры одного поезда.

Степень использования вместимости вагонов

$$\alpha_{\text{исп}} = \frac{AL}{BL} \quad (2)$$

где  $BL$  – предложенные место-километры.

Для автотранспортных перевозок данный показатель называется коэффициентом эффективного использования автотранс-

портного средства или статическим коэффициентом использования пассажировместимости [1.15].

$$У_c = \frac{P_\phi}{P_b}, \quad (3)$$

где  $P_\phi$  – фактический пассажирооборот, пасс-км.

$P_b$  – возможный пассажирооборот при полном использовании вместимости транспортного средства, пасс-км.

Этот объединенный параметр для нескольких видов транспорта в мультимодальной транспортной сети может служить обобщающим показателем, так как только его определенное значение позволяет обеспечить минимальный уровень доходности перевозки. Это соответствует и интересам пассажиров и интересам крупных и мелких хозяйствующих субъектов.

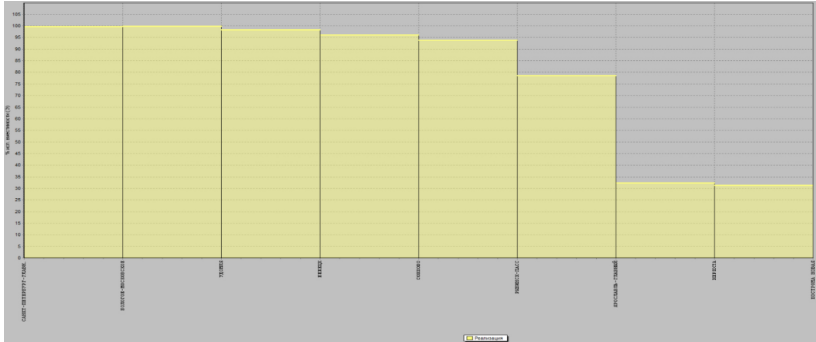
Программно-аналитические комплексы АСУ «Экспресс» позволяют по всем видам сообщений в режиме реального времени получать следующие эксплуатационные характеристики:

- корреспонденция пассажиропотоков;
- объемы перевозок пассажиров;
- объемы посадки-высадки пассажиров по промежуточным станциям;
- населенность вагонов;
- использование вместимости подвижного состава;
- показатели работы вагонов, связанные с перемещением (вагоно-км, вагоно-часы);
- коэффициенты сменяемости мест.

Информационно-аналитические возможности системы «Экспресс-3» в режиме реального времени позволяют проследить динамику населенности вагона и обеспечивают архивирование данных по месяцам, кварталам и годовым периодам [6].

Кроме того, система «Экспресс-3» дает возможность получить данные о населенности и проценте использования вместимости для каждой станции участка за месяц и цифры по посадке-высадке пассажиров на каждой станции и коэффициенту сменяемости

мест по всей сети дорог в соответствии с желаемыми критериями. Пример изменения населенности состава на всем пути следования представлен на рисунке 1.



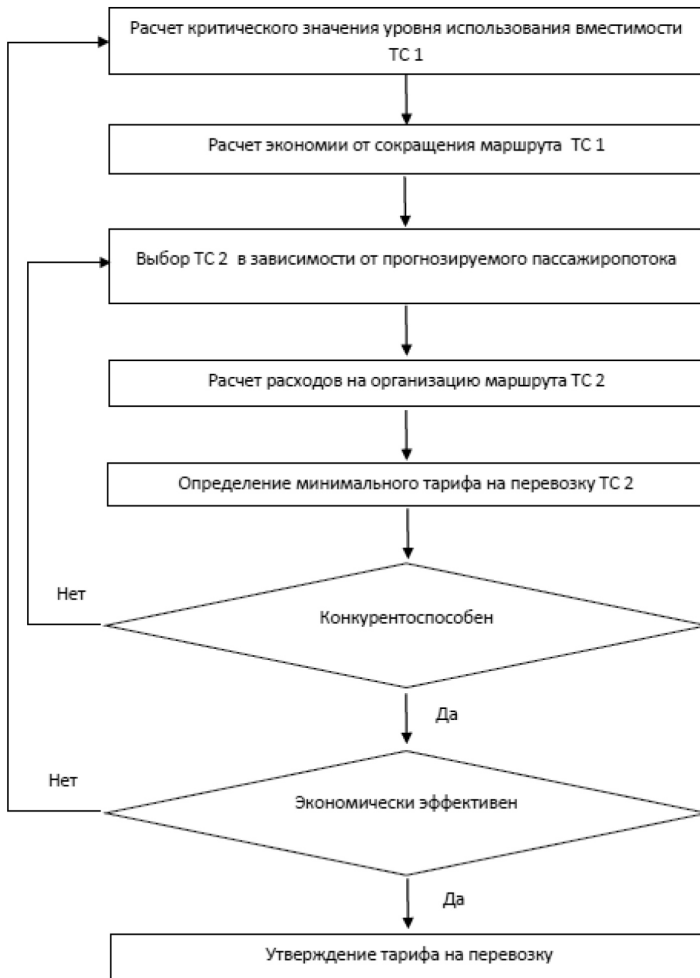
**Рис. 1.** Средний процент загрузки состава на маршруте Кострома – Ярославль – Санкт-Петербург

Организация мультимодальных дальних пассажирских перевозок актуальна на участках с резким изменением населенности состава.

Таким образом, ключевые показатели спроса на мультимодальные перевозки и показатели использования подвижного состава железнодорожного транспорта могут быть получены на базе системы АСУ «Экспресс-3».

### **Алгоритм оценки экономической эффективности организации мультимодальной дальней пассажирской перевозки**

Данный алгоритм основан на экономической оценке факторов, сопутствующих организации мультимодальной перевозки: уменьшение пробега вагонов в составе поездов, изменение общего времени поездки пассажиров, увеличение количества пассажиров, осуществляющих посадку/высадку в пунктах пересадки, повышение уровня использования вместимости перевозочных средств, входящих в мультимодальный маршрут.



**Рис. 2.** Алгоритм оценки экономической эффективности мультимодальной дальней пассажирской перевозки

Поскольку организация мультимодальной перевозки выполняется коммерческими структурами, основной целью которых является получение прибыли на всем протяжении мультимодального маршрута, данный показатель принимается в качестве целевой функции:

$$P_{\text{общ}} = D_{\text{общ}} - Z_{\text{общ}} \rightarrow \text{MAX} \quad (4)$$

В качестве ограничения целевой функции принимаются показатели, обеспечивающий минимально необходимый уровень эксплуатационных затрат:

$$Z_{\text{общ}} \geq Z_{\text{min}} \quad (5)$$

где  $Z_{\text{min}}$  – минимально-необходимый уровень затрат всех видов транспортных средств, участвующих в мультимодальной перевозке.

Величина расходов, связанных с производственной деятельностью ОАО «ФПК» в расчете на один поезд определена по формуле:

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зав}} + C_{\text{уп}} \quad (6)$$

где  $C_{\text{зав}}$  – расходы по поезду, зависящие от объема работы, тыс.руб.;

$C_{\text{уп}}$  – условно-постоянная часть расходов, приходящаяся на поезд, тыс.руб.

Расчет полной величины собственных затрат ОАО «ФПК» на поезд выполнен с учетом зависящих расходов от объема работы и условно-постоянных затрат, величина которых принята для расчетов равной 40% от зависящих [10]. Также учтены затраты на аренду локомотивов и услуги инфраструктуры. Их величина составляет 60% от собственных затрат. Определен критический уровень использования вместимости поезда равный 93%, при котором его назначение является безубыточным.

При коммерческой неэффективности проекта рассматривается вопрос использования более дешевого транспортного средства и уменьшения цены фрахтования автобусов [8]. Проект считается целесообразным при положительной оценке его эффективности.

Использование автомобильного транспорта на маршруте мультимодальной перевозки, организуемой железнодорожным перевозчиком может осуществляться:

- изменение или усиление расписания маршрутов регулярно-го автобусного сообщения или изменение типа вместимости транспортного средства по договору с автотранспортным предприятием;

- договор фрахтования автобуса;
- закупка собственных автобусов перевозчиком.

### **Заключение**

На данный момент не существует документально закреплённых критериев назначения мультимодальных перевозок. Выбор эффективной схемы организации перевозки нередко заключается в субъективном выборе руководителя либо в результате экспертного заключения.

Исходя из анализа показателей использования пассажирского подвижного состава с точки зрения перевозчика и одновременно мультимодального оператора предлагается для оценки возможности организации мультимодальной перевозки использовать в качестве основного критерия показатель коэффициента использования вместимости транспортных средств, участвующих в перевозке.

Разработанный алгоритм даёт возможность ещё на этапе предварительного отбора вариантов организации мультимодальной перевозки выполнить предварительный анализ её экономической целесообразности.

### ***Список литературы***

1. Брусянин, Д. А. Обоснование транспортных средств на маршрутной сети регулярных автомобильных и железнодорожных пассажирских перевозок / Д. А. Брусянин, В. М. Сай, С. В. Вихарев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 1(17). – С. 50-64.
2. Вакуленко С.П., Копылова Е.В., Куликова Е.Б., Колин А.В., Мультимодальные пассажирские перевозки с участием АО «ФПК» /.- М.: МГУПС(МИИТ), 2015.- 100 с
3. Воскресенская, Т. П. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе / Т. П. Воскресенская, О. Д. Покровская // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 3(7). – С. 74-84.

4. Гуц А. В. Организация интегрированной платформы мультимодальных пассажирских перевозок / А. В. Гуц, О. Н. Дунаев // Экономика железных дорог. – 2019. – № 3. – С. 25-37.
5. Журавская М.А., Казаков А.Л., Парсюрлова П.А. О размещении остановочных пунктов при осуществлении мультимодальных пассажирских перевозок. //Транспорт Урала. -2012. - № 4 С. 50-53
6. Макарова Е. А. Информационные технологии АСУ «Экспресс» для процессов планирования пассажирских перевозок в беспересадочных сообщениях /Е. А. Макарова / Интеллектуальные системы на транспорте: материалы IV Междунар. науч-практич. конференции «Интеллект Транс -2014». - СПб: ПГУПС, 2014. - С. 175-180.
7. Малахова Т.А., Кукушкина Я.В. Перспективы развития мультимодальных перевозок в дальнем пассажирском сообщении // Транспортные системы и технологии. – 2019.– Т. 5. – № 4. – С. 16–24. <https://doi.org/10.17816/transsyst20195416-24>
8. Малахова, Т. А. Методика оценки целесообразности назначения мультимодальной пассажирской перевозки / Т. А. Малахова, О. Д. Покровская, В. В. Щербаков // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 3. – С. 39-52. – <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2022-3-39-52>
9. О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (вместе с Планом мероприятий по реализации в 2008-2015 годах Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года): [постановление] Принято Правительством Российской Федерации 17 июня 2008 г. № 877-р.
10. Парфенова, А. В. Экономическая оценка мероприятий по рационализации схем составов пассажирских поездов / А. В. Парфенова / Вестник университета. – 2014. – № 15. – С. 115-120. – EDN THLAMP
11. Покровская О. Д. «Сбитый прицел» клиентоориентированности / О.Д. Покровская // РЖД-Партнер. – 2016. – URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/news/sbityi-pritsel--klientoorientirovannosti-414174>



12. Покровская, О. Д. Логистическая классность железнодорожных станций / О. Д. Покровская // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2(38). – С. 68-76. – <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2018-2-68-76>
13. Покровская, О. Д. Комплексная оценка транспортно-складских систем / О. Д. Покровская // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 7. – С. 26-32.
14. Покровская, О. Д. Методика оценки клиентоориентированности сервиса железнодорожного транспорта / О. Д. Покровская, Т. С. Титова // Бюллетень результатов научных исследований. – 2018. – № 3. – С. 84-106.
15. Покровская О. Д. Состояние транспортно-логистической инфраструктуры для угольных перевозок в России / О. Д. Покровская // Инновационный транспорт. – 2015. – № 1(15). – С. 13-23.
16. Сай, В. М. Оценка методом линейной сверстки частных критериев вариантов маршрутной сети пассажирских перевозок / В. М. Сай, Д. А. Брусянин // Экономика железных дорог. – 2014. – № 10. – С. 63-72.

### *References*

1. Brusjanin, D. A. Obosnovanie transportnyh sredstv na marshrutnoj seti reguljarnyh avtomobil'nyh i zheleznodorozhnyh passazhirskih perevozk / D. A. Brusjanin, V. M. Saj, S. V. Viharev. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*. 2013. № 1(17). P. 50-64.
2. Vakulenko S.P., Kopylova E.V., Kulikova E.B., Kolin A.V., Mul'timodal'nye passazhirskie perevozki s uchastiem AO «FPK». M.: MGUPS(МИИТ), 2015. 100 p.
3. Voskresenskaja, T. P. Metodika i algoritimizacija prinjatija reshenij po formirovaniju terminal'noj seti v regione / T. P. Voskresenskaja, O. D. Pokrovskaja. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*. 2010. № 3(7). P. 74-84.
4. Guc A. V. Organizacija integrirovannoj platformy mul'timodal'nyh passazhirskih perevozk / A. V. Guc, O. N. Dunaev. *Jekonomika zheleznyh dorog*. 2019. № 3. P. 25-37.

5. Zhuravskaja M.A., Kazakov A.L., Parsjurova P.A. *Transport Urala*. 2012. № 4. P. 50-53.
6. Makarova E. A. *Intellektual'nye sistemy na transporte: materialy IV Mezhdunar. nauch-praktich. konferencii «Intellekt Trans - 2014»*. SPb: PGUPS, 2014. P. 175-180.
7. Malakhova T.A., Kukushkina Ja.V. *Transportnye sistemy i tehnologii*. 2019. Vol. 5. No 4. P. 16–24. <https://doi.org/10.17816/trans-syst20195416-24>
8. Malakhova, T. A. Metodika ocenki celesoobraznosti naznacheni-ja mul'timodal'noj passazhirskoj perevozki / T. A. Malahova, O. D. Pokrovskaja, V. V. Shherbakov. *Bjulleten' rezul'tatov nauchnyh issle-dovanij*. 2022. № 3. P. 39-52. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2022-3-39-52>
9. On the Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 (together with the Action Plan for the implementation in 2008-2015 of the Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030): [resolution] Adopted by the Government of the Russian Federation on June 17, 2008 No. 877-r.
10. Parfenova, A. V. *Vestnik universiteta*. 2014. № 15. P. 115-120.
11. Pokrovskaja O. D. «Sbityj pricel» klientoorientirovannosti. RZhD-Partner. 2016. URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/news/sbityi-pricel--klientoorientirovannosti-414174>
12. Pokrovskaja, O. D. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo uni-versiteta putej soobshhenija*. 2018. № 2(38). P. 68-76. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2018-2-68-76>
13. Pokrovskaja, O. D. *Zheleznodorozhnyj transport*. 2019. № 7. P. 26-32.
14. Pokrovskaja, O. D. Metodika ocenki klientoorientirovannosti servisa zheleznodorozhnogo transporta / O. D. Pokrovskaja, T. S. Titova. *Bju-ulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij*. 2018. № 3. P. 84-106.
15. Pokrovskaja O. D. *Innovacionnyj transport*. 2015. № 1(15). P. 13-23.
16. Saj, V. M. Ocenka metodom linejnoj sverstki chastnyh kriteriev vari-antov marshrutnoj seti passazhirskih perevozok / V. M. Saj, D. A. Brusjanin. *Jekonomika zheleznyh dorog*. 2014. № 10. P. 63-72.

## **ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ**

**Малахова Татьяна Александровна**, соискатель

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация  
Московский пр., 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

*malakhova2004@yandex.ru*

## **DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Tatiana A. Malakhova**, candidate of the academic degree of candidate of Sciences, Department «Operational Work Management»  
*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2799-0342>  
malakhova2004@yandex.ru*

Поступила 09.06.2023

После рецензирования 25.06.2023

Принята 02.07.2023

Received 09.06.2023

Revised 25.06.2023

Accepted 02.07.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-163-179

УДК 004.67



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АКАДЕМИЧЕСКИХ ЗАДОЛЖЕННОСТЯХ НА ОСНОВЕ TELEGRAM

*А.С. Петросян, А.А. Сурмачевская, А.А. Новичков,  
Д.Г. Лукин, Г.А. Гареева*

*В данной статье рассмотрен процесс оптимизации времени и удобства сдачи академических задолженностей путем создания Telegram бота, который автоматически присылает обучающимся уведомления о задолженностях и указывает день, когда их можно сдать. Одной из популярных на сегодняшний день платформ для развертывания ботов является мессенджер Telegram. Особенностью системы, реализованной при помощи бота, является простота использования и минимизация ресурсов, затраченных на хранение программного обеспечения, что в значительной степени упрощает взаимодействие с системой.*

**Цель** – создание инструмента для сдачи академических задолженностей, взаимодействия с базой данных созданной в Google Таблицы, взаимодействия с участниками учебного процесса в режиме онлайн, что экономит личное время обучающихся и преподавателей.

**Метод или методология проведения работы:** в статье рассматривается способ, который реализует сдачу академических задолженностей путем создания Telegram бота. Для реализации используется база данных доступная всем преподавателям, обновляемая в режиме реального времени, созданная в Google Таблицы и язык программирования C#.

**Результат:** разработан уникальный инструмент, который реализует функции добавления, хранения, взаимодействия и круглосуточного доступа к данным об академических задолженностях.

**Область применения результатов:** данные о задолженностях, хранящиеся в базе данных и обновляемые преподавателями, целесообразно использовать для мониторинга каждому обучающемуся о своих задолженностях в образовательных учреждениях.

**Ключевые слова:** google app script; академические задолженности; Telegram бот; автоматизация; база данных; программирование; Google Таблицы

**Для цитирования.** Петросян А.С., Сурмачевская А.А., Новичков А.А., Лукин Д.Г., Гареева Г.А. Автоматическое уведомление об академических задолженностях на основе Telegram // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 3. С. 163-179. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-163-179

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## **AUTOMATIC NOTIFICATION OF ACADEMIC DEBTS BASED ON TELEGRAM**

***A.S. Petrosyan, A.A. Surmachevskaya, A.A. Novichkov,  
D.G. Lukin, G.A. Gareeva***

*This article considers the process of optimizing the time and convenience of taking academic debts by creating a Telegram bot that automatically sends students notifications about debts and indicates the day when they can be passed. One of today's popular platforms for deploying bots is the Telegram messenger. The peculiarity of a system implemented with the help of a bot is its ease of use and minimization of resources spent on software storage, which greatly simplifies interaction with the system.*

**Purpose** – create a tool for passing academic debts, interaction with the database created in Google Table, interaction with the par-

participants of the educational process online, which saves personal time of students and teachers.

**Method or methodology of the work:** the article deals with the method which implements the delivery of academic debts by creating Telegram bot. To implement it we use a database available to all teachers, updated in real time, created in Google Tables and the C# programming language.

**Result:** developed a unique tool that implements functions of adding, storing, interacting and 24/7 access to academic debts data.

**Scope of the results:** data on debts stored in the database and updated by teachers is useful for monitoring each student about his debts in educational institutions.

**Keywords:** google app script; academic debts; Telegram bot; automation; database; programming; Google Tables

**For citation.** Petrosyan A.S., Surmachevskaya A.A., Novichkov A.A., Lukin D.G., Gareeva G.A. Automatic Notification of Academic Debts Based on Telegram. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 163-179. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-163-179

## **Введение**

Сдача академических задолженностей является трудоемким процессом как для преподавателей так и для учащихся, требующим большого объема затрат времени, физического присутствия для получения информации о месте, времени, номера аудитории, предмета и темы задолженности, в то же время его необходимость и важность трудно переоценить. Каждое образовательное учреждение имеет определенное количество обучающихся, имеющих академические задолженности, их число значительно увеличивается, если время подходит к сдаче сессии.

Процедура сдачи академических задолженностей является обязательным процессом перед началом сессии. Она необходима для допуска студента к сдаче экзаменов. Процедура сдачи акаде-

мических задолженностей является неслаженным и трудоемким процессом, как для преподавателей, так и для обучающихся.

Для снижения затрат времени и труда целесообразно создать базу данных с записью обучающихся и имеющих академические задолженности. В случае его упрощения будет создана база данных с возможностью редактирования места, времени, номера аудиторией и актуальности данной задолженности на текущий период. Также для удобного заполнения и сокращения времени заполнения базы данных преподавателями, будут автоматически предлагаться уже по умолчанию сохранённые в базе номера обучающихся групп, имена и фамилии обучающихся имеющие академические задолженности, так же будет прикреплено автозаполнение номера телефона обучающихся, имеющие академические задолженности, который будет служить индивидуальным ID в базе данных. Так же по номеру телефона будет производиться выполнение алгоритма поиска задолженностей Telegram ботом в базе данных.

**Цель работы** – разработать программный продукт для добавления, хранения и взаимодействия с данными академических задолженностей, а также возможности проверить актуальную на сегодняшний день информацию о наличии задолженностей и даты сдачи академического долга.

Для достижения поставленной цели потребуются следующие ресурсы:

1) Базовая информация об обучающихся в данном образовательном учреждении:

- список обучающихся студентов в институте;
- список групп;
- номера контактных телефонов;
- перечень предметов, преподаваемых в данном образовательном учреждении.

Из данных, приведенных выше, будет создан массив, который будет отвечать запросам телеграмм бота об академических задолженностях.

2) В качестве разработки проекта потребуются:

- Создание базы данных в *Google Таблицах*
- Создание Telegram Бота с помощью google app script
- Создание запросов для обратной связи с пользователем Telegram Бота

3) Готовый проект состоит из следующих элементов:

- Массив в базе данных с информацией о каждом обучающемся в образовательном учреждении
- Telegram Бот с функцией обратной связи
- скрипта для обновления базы данных

Для создания Telegram бота был выбран язык программирования google app script. Данный язык был выбран на основаниях того что база данных, обновляемая в режиме реального времени и имеющая доступ для всех преподавателей с разных устройств посредством предоставления доступа, создана в Google Таблицах. Соответственно в результате данного действия были минимизированы потери времени на запросы и увеличена оптимизация проекта за счет того что она работает на одной платформе. На рисунке 1 показан код для создания Telegram бота.

```

1 |
2 | var token = "6102104957:AAEBLj43LSJAP3y00F9kbRsnqOu0lJ72eWU";
3 | var telegramUrl = "https://api.telegram.org/bot" + token;
4 | var webAppUrl = "https://script.google.com/macros/g/as/fycbvtAgmXSkd-mUu-7RbFwFk50w7a1PvZmMuc6LFK3RmMU33e13wcTumd10A6rdnMw/exec";
5 | var spreadsheetId = "1jBw50ZakdE13Lz398o4ZP0jKj1PRXA908K-HvB_T40";
6 |
7 | function setWebhook() {
8 |   var url = telegramUrl + "/setWebhook?url=" + webAppUrl;
9 |   UrIFetchApp.fetch(url);
10 | }
11 |
12 | function sendText(chatId, text, keyboard) {
13 |   var data = {
14 |     method: "post",
15 |     payload: {
16 |       method: "sendMessage",
17 |       chat_id: String(chatId),
18 |       text: text,
19 |       parse_mode: "HTML",
20 |       reply_markup: JSON.stringify(keyboard)
21 |     }
22 |   };
23 |   UrIFetchApp.fetch(`${telegramUrl}/sendMessage`, data);
24 | }
25 |

```

Рис. 1. Код Telegram бота

Алгоритм взаимодействия с данным проектом будет выглядеть следующим образом. Преподаватель, которому предоставлен до-



ступ к базе данных, вносит данные об академических задолженностях определенного студента, при выборе фамилии студента будет включен скрипт автозаполнения сразу всех столбцов, связанных с данными студента. Данный скрипт помогает преподавателю сэкономить время и исключить ошибки при запросах Telegram бота в базу данных. Преподавателю остается заполнить 5 полей:

- 1) дата явки для сдачи академической задолженности;
- 2) время явки для сдачи академической задолженности;
- 3) номер аудитории;
- 4) информацию о задолженностях, которые студент должен сдать;
- 5) название предмета.

На рисунке 2 показан скрипт для автозаполнения форм в базе данных.

```

1 function onEditLists() {
2   let ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
3   var TablicaSheet = ss.getSheetByName("Таблица");
4   var StudentsSheet = ss.getSheetByName("Студенты");
5
6   let ar = TablicaSheet.getActiveCell();
7   //console.log(ar.getColumn());
8   let col = 0;
9
10  if (ar.getColumn() == 2) { //если активная ячейка в столбце с группами, то выполняем скрипт
11    let valToFind = ar.getValue();
12    ar.offset(0,1).clearContent().clearDataValidations(); //очищает ячейку справа от активной
13    let values = StudentsSheet.getRange(1,1,1,StudentsSheet.getLastColumn()).getValues(); //получает первую строку таблицы студентов
14
15    col = values[0].indexOf(valToFind)+1; //ищет колонку с номером группы в таблице студентов
16
17    let fioValues = StudentsSheet.getRange(3,col,48,1); //диапазон с ФИО
18
19    let validation = SpreadsheetApp.newDataValidation().requireValueInRange(fioValues).build(); //создает диапазон с ФИО
20    //ar.offset(0,1).setDataValidation(validation); //вставляет диапазон с ФИО в правую ячейку от активной
21    TablicaSheet.getRange(ar.getRow(),3).setDataValidation(validation);
22  }
23
24  if (ar.getColumn() == 3) { //если выбрали фамилию студента
25    let valToFind = ar.getValue();
26    let stroka = ar.getRow();
27    let colonka = ar.getColumn();
28    let numberOfGroupToFind = TablicaSheet.getRange(stroka, colonka-1).getValue(); //получаем номер группы для поиска
29    let values = StudentsSheet.getRange(1,1,1,StudentsSheet.getLastColumn()).getValues();
30    col = values[0].indexOf(numberOfGroupToFind)+1; //колонка с номером группы
31
32    for (var i = 3; i <= StudentsSheet.getLastRow(); i++){
33      if(valToFind == StudentsSheet.getRange(1,col).getValue()){ //поиск фамилии студента в колонке на листе студентов
34        let nomer = StudentsSheet.getRange(1,col+i).getValue(); //берет номер в правой ячейке от фамилии
35        TablicaSheet.getRange(stroka, colonka+i).setValue(nomer); //заполняет номер студента в таблицу долгов справа от фамилии
36      }
37    }
38  }
39
40 }
41

```

Рис. 2. Автозаполнение форм в базе данных

После заполнения базы данных информация автоматически сохраняется. Информация сохраняется, пока преподаватель не снимет отметку о сдаче данной академической задолженности.

Код функции удаления академических задолженностей показан на рисунке 3.

```

1 function currentPosition(){
2   var spreadsheetId = "1JBwS0ZakdE1SL123G8oAZP0jkjPRXA908K-Hvb_T40";
3   var DataSheet = SpreadsheetApp.openById(spreadsheetId).getSheetByName("Таблица"); //берёт лист с таблицей
4
5   for(var i = DataSheet.getLastRow(); i>=1; i--) { //цикл начинается с последней строки и до строки заголовка
6     if (DataSheet.getRange(1,9).getValue() != true){ //если флажок в состоянии true
7       DataSheet.deleteRow(i); //удалить строку
8     }
9   }
10 }

```

Рис. 3. Функция удаления строк академических задолженностей

На рисунке 4 показана база данных, в которой хранится массив с информацией о студентах и их задолженностях.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Предмет	Группа	ФИО студента	Номер телефона студента	Дата явки	Время явки	Задолженности	Кабинет	Сдал			
2	Законодатель...	Гр_23203	Курицкая Эльвина	7953	01.04.2023	10:00	Долглад	102	<input type="checkbox"/>			
3	Информатика	Гр_23204	Сурманавская Анастасия	7939	25.03.2023	12:00	Лабораторные работы	103	<input type="checkbox"/>			
4	История	Гр_23204							<input type="checkbox"/>			
5									<input type="checkbox"/>			
6	Линейная алг...	Гр_23201	Розанова Анна	7927	22.03.2023	10:00	ТК2	102	<input type="checkbox"/>			
7	Математическ...	Гр_23202	Андреев Анастасия	7965	22.03.2023	17:00	Практическая работа 1-5	106	<input type="checkbox"/>			
8	Культурология...	Гр_23204	Сурманавская Анастасия	7939	20.03.2023	16:00	Презентация	105	<input type="checkbox"/>			
9	Введение в пр...	Гр_23204	Егаторина Сабина	7960	28.03.2023	15:00	Презентация	105	<input type="checkbox"/>			
10		Гр_23203	Петровиш Ашот	7967					<input type="checkbox"/>			
11									<input type="checkbox"/>			
12									<input type="checkbox"/>			
13									<input type="checkbox"/>			
14									<input type="checkbox"/>			
15									<input type="checkbox"/>			

Рис. 4. База данных

Для взаимодействия между студентом и базой данных служит Telegram бот, который выполняет функцию связующего звена для получения информации.

Алгоритм взаимодействия студента с Telegram ботом будет следующим. Студент отправляет команду Telegram боту для запуска с его взаимодействием командой «/start». Telegram бот запросит разрешение на использование его контактного номера телефона для поиска академических задолженностей. На рисунке 5 показан код для запроса на обработку информации контактного номера телефона.

Если задолженностей нет, то последует ответ от бота «Задолженностей нет». Если задолженности будут найдены, то бот отправит смс сообщение с датой, временем, номером аудитории, предметом и наименованием задолженности. После данного смс сообщения бот предложит создать напоминание на дату, которая указана в поле для явки на сдачу академического долга. На рисунке 6 наглядно показан диалог студента с Telegram ботом.

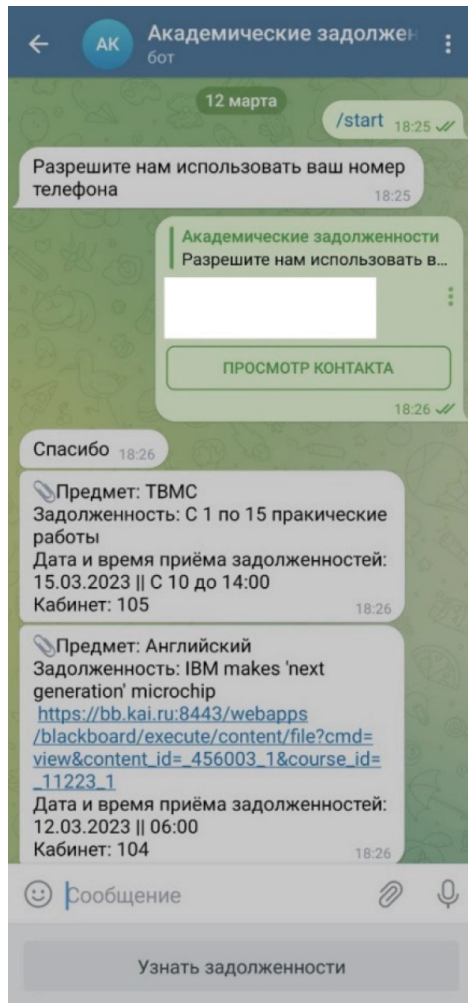
```

1 function doPost(e) {
2   var contents = JSON.parse(e.postData.contents);
3
4   debug(contents);
5
6   //если пользователь отправил сообщение
7   if(contents.message.text)
8   {
9     var msg = contents.message;
10    var chat_id = msg.chat.id;
11    var text = msg.text;
12    //если пользователь отправил команду старт
13    if (text == "/start")
14    {
15      send_apply(chat_id); //вызывает функцию send эплэй
16    }
17    //если пользователь отправил кнопку узнать задолженности
18    if (text == "Узнать задолженности"){
19      telephone = get_number(contents.chat_id);
20      if (telephone != ""){
21        check_debts(telephone,chat_id); //вызывает функцию проверки задолженностей
22      }
23      else{
24        send_apply(chat_id);
25      }
26    }
27  }
28
29  //если пользователь отправил номер телефона
30  if (contents.message.reply_to_message)
31  {
32    var msg = contents.message.reply_to_message;
33    var chat_id = msg.chat.id;
34    telephone = get_number(contents.chat_id); //вызывает функцию для получения мобильного
35    //sendText (chat_id, telephone);
36    sendText (chat_id, "Спасибо", KEY_DELETE) //удаляет кнопку "Разрешить"
37    if (telephone != ""){
38      check_debts(telephone,chat_id); //вызывает функцию проверки задолженностей
39    }
40  }
41 }

```

**Рис. 5.** Код запроса на использование номера телефона

Для поиска академических задолженностей Telegram ботом был создан запрос на поиск определенной строки в базе данных по контактному номеру телефона пользователя. Запрос был создан на языке google app script, код которого продемонстрирован на рисунке 7.



**Рис. 6.** Результат получения информации о академических задолженностях

Для наглядности алгоритма действий была создана схема взаимодействия всех участвующих в процессе реализации проекта звеньев. Схема продемонстрирована на рисунке 8.

```

1 function timerAlarm() {
2   DataSheet = SpreadsheetApp.openById(spreadSheetId).getSheetByName("Таблица");
3   UsersSheet = SpreadsheetApp.openById(spreadSheetId).getSheetByName("Users");
4   let data = DataSheet.getRange(2, 1, DataSheet.getLastRow()-1, 8).getValues(); //все данные таблицы в массив
5   let curentTime = new Date().getDate() + "." + (new Date().getMonth() + 1) + "." + new Date().getFullYear(); //тек дата
6
7   for (i = 0; i < data.length; i++) {
8     let dataInfo = data[i];
9     var j = 0;
10    //разбиваем все данные по переменным
11    let subject = dataInfo[0];
12    let group = dataInfo[1];
13    let name = dataInfo[2];
14    let number = dataInfo[3];
15    let appointment = dataInfo[4].toString(); //дата явки
16    let time = dataInfo[5];
17    let debt = dataInfo[6];
18    let cabinet = dataInfo[7];
19
20    if (dataInfo[4] !== ""){ //преобразует дату в читабельный формат для сравнения с таблицей
21      appointment = dataInfo[4].getDate() + "." + (dataInfo[4].getMonth() + 1) + "." + dataInfo[4].getFullYear();
22    }
23
24    //if (dataInfo[5] !== ""){ //преобразует время в читабельный формат
25    //  time = dataInfo[5].getHours()+ "." + dataInfo[5].getMinutes();
26    //}
27
28    if (appointment === curentTime){ //если дата в таблице долгов равна тек дате
29      for (j = 2; j <= UsersSheet.getLastRow(); j++){
30        if (UsersSheet.getRange(j, 2).getDisplayValue() === number){ //ищет пользователя по номеру телефона, чтобы взять его id
31          sendText(UsersSheet.getRange(j, 1).getDisplayValue(), "Доброе утро! Сегодня принимается задолженности по предмету " + subject + "\n" +
32            "Задолженность: " + debt + "\n" +
33            "Время приема задолженностей: " + time+ "\n" +
34            "Кабинет: " + cabinet)
35        }
36      }
37    }
38  }

```

Рис. 7. Код создания запроса ботом в базу данных

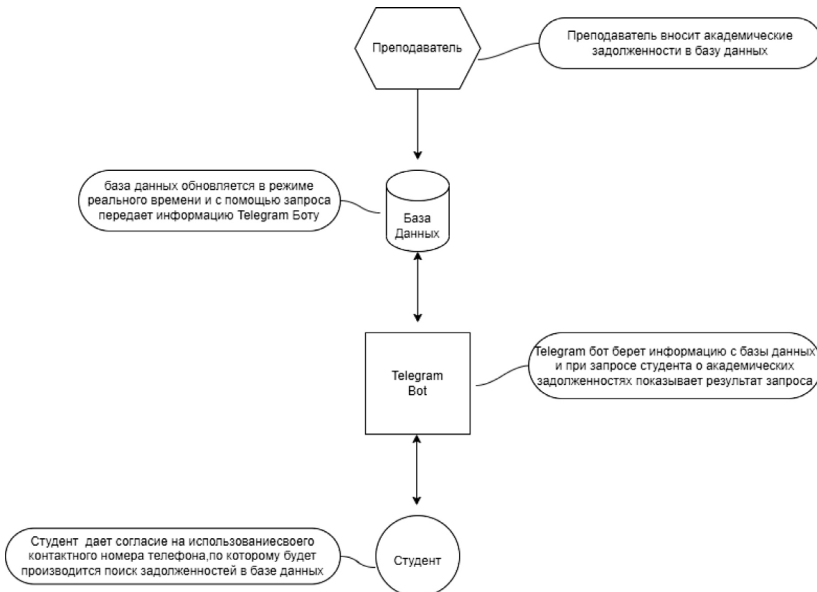


Рис. 8. Процесс получения информации о академических задолженностях

На финальной стадии создания проекта была произведена контрольная проверка работоспособности. Все технические аспекты исправно работают.

Также были проведены тесты для опроса на удобство использования данного проекта на практике. Данный проект мультизадачен и может использоваться в разных образовательных учреждениях. Возможна модернизация базы данных для оптимизации рабочего времени преподавателей.

### *Список литературы*

1. Тугов В.В. Проектирование автоматизированных систем управления: учебное пособие / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Н.С. Шаров Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 172 с.
2. Модели и методы исследования информационных систем: монография / А.Д. Хомоненко, А.Г. Басыров, В.П. Бубнов [и др.]. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 204 с.
3. Златопольский Д.М. Основы программирования на языке Python. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 284 с.
4. Пономарева Л.А., Чискидов С.В., Ронжина И.А., Голосов П.Е. Проектирование компьютерных обучающих систем: Монография. М-во образования и науки РФ, РАНХиГС, МГПУ ИЦО. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2018. - 120 с.
5. Виноградова Е.Ю. Интеллектуальные информационные технологии – теория и методология построения информационных систем: монография / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011. – 263 с.
6. Козлов А. А. Телеграм-бот как простой и удобный способ получения информации [Электронный ресурс] / А. А. Козлов, А. В. Батищев // Территория науки. – 2017. – №5. – С. 55-64.
7. Аванесян Н. Л., Telegram, как пример мессенджера: возможности и перспективы развития. [Электронный ресурс] / Н. Л. Аванесян // Научный потенциал XXI века. – 2017.
8. Иванов А. Д., Чат-бот в Telegram и ВКонтакте, как новый канал распространения новостей. [Электронный ресурс] / А. Д. Иванов

- // Волжский университет имени В.Н. Тагитцева. – 2016. – №3. – С. 126-132.
9. Насибулин Р.О. Создание простого бота модератора для мессенджера Telegram с помощью языка программирования Python / Р.О. Насибулин, Г.А. Гареева // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 19–20 мая 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 425-427.
  10. Гареева Г.А. Разработка HR-бота для автоматизации процесса подбора персонала в производственном предприятии / Г.А. Гареева, И.М. Сафонов, З. Г. Джибладзе [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 1. – С. 52-55.
  11. Alex Root Jr. Aiogram Documentation, November 2022 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://readthedocs.org/projects/aiogram/downloads/pdf/latest/>
  12. David Love. Tkinter GUI Programming by Example. – Packt Publishing, 2018. – 340 p.
  13. Baji Shaik, Avinash Vallarapu Beginning PostgreSQL on the Cloud: Simplifying Database as a Service on Cloud Platforms. – Apress, - 2018. - 381 p.
  14. Чат-боты: история, современность и перспективы [Электронный ресурс]: URL: <http://w7phone.ru/chat-boty-istoriya-sovremennost-i-perspektivy-132460>
  15. Telegram Bot API [Электронный ресурс]: URL: <https://core.telegram.org/bots/api>

### *References*

1. Tugov V.V. Designing automated control systems: a training manual / V.V. Tugov, A.I. Sergeev, N.S. Sharov St. Petersburg: Lan', 2019. - 172 p.
2. Models and methods of research of information systems: a monograph / A.D. Khomonenko, A.G. Basyrov, V.P. Bubnov [et al]. - Saint Petersburg: Lan', 2019. - 204 p.

3. Zlatopolsky D.M. Fundamentals of programming in the Python language. - Moscow: DMK Press, 2017. - 284 p.
4. Ponomareva L.A., Chiskidov S.V., Ronzhina I.A., Golosov P.E. Designing computer learning systems: Monograph. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Russian Academy of National Economy and Public Administration, Moscow State Pedagogical University. Tambov: Consulting company Yukom, 2018. - 120 p.
5. Vinogradova E. Yu. Intelligent information technologies - theory and methodology of building information systems: monograph / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural State University of Economics. - Ekaterinburg: Publishing house of the Ural State University of Economics, 2011. - 263 p.
6. Kozlov A. A. Telegram-bot as a simple and convenient way to obtain information [Electronic resource] / A. A. Kozlov, A. V. Batischev // Territory of Science. - 2017. - № 5. - pp. 55-64.
7. Avanesyan N. L., Telegram as an example of messenger: opportunities and prospects for development. [Electronic resource] / N. L. Avanesyan // Scientific Potential of the XXI century. - 2017.
8. Ivanov A. D., Chat-bot in Telegram and VKontakte as a new news distribution channel. [Electronic resource] / A. D. Ivanov // Volga V.N. Tatishchev University. - 2016. -№3 - pp. 126-132.
9. Nasibulin R.O. Creation of a simple moderator bot for Telegram messenger using Python programming language / R.O. Nasibulin, G.A. Gareeva // Youth and system modernization of the country: Collection of scientific articles of the 7th International Scientific Conference of Students and Young Scientists. In five volumes, Kursk, May 19-20, 2022 / Editor-in-chief M.S. Razumov. Volume 3. - Kursk: Southwestern State University, 2022. - pp. 425-427.
10. Gareeva G.A. Development of HR-bot to automate the recruitment process in a manufacturing enterprise / G.A. Gareeva, I.M. Safonov, Z.G. Dzhibladze [et al.] // Scientific and Technical Herald of the Volga Region. - 2023. - № 1. - pp. 52-55.



11. Alex Root Jr. Aiogram Documentation, November 2022 – <https://readthedocs.org/projects/aiogram/downloads/pdf/latest/>
12. David Love. Tkinter GUI Programming by Example. - Packt Publishing, 2018. – 340 p.
13. Baji Shaik, Avinash Vallarapu Beginning PostgreSQL on the Cloud: Simplifying Database as a Service on Cloud Platforms. – Apress, - 2018. - 381 p.
14. Chat-bots: history, modernity and prospects [Electronic resource]: URL: <http://w7phone.ru/chat-boty-istoriya-sovremennost-i-perspektivy-132460>
15. Telegram Bot API [Electronic resource]: URL: <https://core.telegram.org/bots/api>

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

**Петросян А.С.:** разработка программного продукта, обработка результатов исследований.

**Сурмачевская А.А.:** формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, формирование общих выводов.

**Новичков А.А.:** проведение сбора данных, подготовка начального варианта статьи.

**Лукин Д.Г.:** анализ и интерпретация полученных данных, литературный анализ.

**Гареева Г.А.:** научное редактирование текста статьи и окончательное утверждение версии для публикации.

### **AUTHORS CONTRIBUTION**

**Ashot S. Petrosyan:** development of the software product, processing of research results.

**Angelica A. Surmachevskaya:** formulation of the main directions of research, development of theoretical assumptions, formation of general conclusions.

**Andrey A. Novichkov:** carrying out data collection, preparation of the initial version of the article.

**Daniel G. Lukin:** analysis and interpretation of the data obtained, literary analysis.

**Gulnara A. Gareeva:** scientific editing of the text of the article and final approval of the version for publication.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Петросян Ашот Сергеевич**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
ashot\_116@mail.ru*

**Сурмачевская Анжелика Александровна**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
2db6db@mail.ru*

**Новичков Андрей Анатольевич**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
novichkovandrew@mail.ru*

**Лукин Даниил Георгиевич**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ  
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,  
Российская Федерация  
d.luckin2015@yandex.ru*

**Гареева Гульнара Альбертовна**, заведующий кафедрой Информационных систем, канд. пед. наук, доцент  
*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814, Российская Федерация*  
*gagareeva1977@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Ashot S. Petrosyan**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*  
*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*  
*ashot\_116@mail.ru*

**Angelica A. Surmachevskaya**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*  
*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*  
*2db6db@mail.ru*

**Andrey A. Novichkov**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*  
*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*  
*novichkovandrew@mail.ru*

**Daniel G. Lukin**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*d.luckin2015@yandex.ru*

**Gulnara A. Gareeva**, Head of the Department of Information Systems, Candidate of Pedagogical sciences, Associate professor  
*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*gagareeva1977@mail.ru*

*SPIN-code: 3279-8465*

*Scopus Author ID: 36801593200*

*ResearcherID: M-1728-2015*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8539-4541>*

Поступила 09.06.2023

После рецензирования 25.06.2023

Принята 05.07.2023

Received 09.06.2023

Revised 25.06.2023

Accepted 05.07.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-180-202

УДК 656.1



Научная статья | Управление процессами перевозок

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПАРКА БЕЗРЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ГОРОДСКИЕ ПАССАЖИРСКИЕ МАРШРУТЫ, НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

***В.И. Рассоха, Д.А. Дрючин, С.Л. Надирян***

*В статье проведён анализ научных работ, направленных на повышение эффективности функционирования городских пассажирских транспортных систем, приведены его результаты. Отмечено значимость структурных параметров подвижного состава, как элемента, определяющего качество и эффективность транспортного процесса. В плане развития существующих разработок предложены комплекс методик, позволяющих провести математическое моделирование пассажиропотоков маршрутов городского пассажирского транспорта и показателей эффективности обслуживания данных маршрутов парком, имеющим заданные структурные параметры. На основании результатов моделирования определены области эффективного применения различных видов транспорта и категорий транспортных средств. Полученные данные могут быть использованы в качестве исходной информации при определении оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты.*

***Цель** – повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспортного комплекса на основе оптимизации структурных параметров парка транспортных средств.*

***Метод или методология проведения работы.** При проведении исследования использованы: теория технической эксплуатации автомобилей; методы технико-экономического анализа; теория*

эксплуатационных свойств автомобилей; теория вероятности; методы математического анализа; теория управления социально-техническими системами.

**Результаты:** разработан комплекс взаимосвязанных методик, позволяющих выполнить моделирование пассажиропотоков городских пассажирских маршрутов и определить ключевые показатели эффективности эксплуатации различных видов транспорта и категорий транспортных средств. Определены значения годовых объёмов перевозок, определяющие области их эффективного применения.

**Область применения результатов:** научно-исследовательская и практическая деятельность в области организации транспортного обслуживания населения городским пассажирским общественным транспортом.

**Ключевые слова:** транспорт; перевозки; пассажиропоток; эффективность; себестоимость; маршрут; структура

**Для цитирования.** Рассоха В.И., Дрючин Д.А., Надирян С.Л. Оптимизация структуры парка безрельсовых транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, на основе результатов математического моделирования // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 180-202. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-180-202

Original article | Transportation Process Management

## OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF THE FLEET OF TRACKLESS VEHICLES SERVING URBAN PASSENGER ROUTES BASED ON THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING

*V.I. Rassokha, D.A. Dryuchin, S.L. Nadiryayn*

*The article analyzes scientific works aimed at improving the efficiency of urban passenger transport systems, its results are presented. The im-*

portance of the structural parameters of the rolling stock as an element determining the quality and efficiency of the transport process is noted. In terms of the development of existing developments, a set of methods is proposed that allow mathematical modeling of passenger flows of urban passenger transport routes and indicators of the efficiency of servicing these routes by a fleet with specified structural parameters. Based on the simulation results, the areas of effective use of various types of transport and categories of vehicles are determined. The obtained data can be used as initial information in determining the optimal structural parameters of the fleet of vehicles serving urban passenger routes.

**Purpose** – improving the efficiency of the urban passenger transport complex on the basis of optimizing the structural parameters of the fleet of vehicles.

**Methodology:** during the research, the following methods were used: theory of technical operation of cars; methods of technical and economic analysis; theory of operational properties of cars; probability theory; methods of mathematical analysis; theory of management of socio-technical systems.

**Results:** a set of interrelated methods has been developed that allow to simulate passenger flows of urban passenger routes and determine key performance indicators for the operation of various modes of transport and categories of vehicles. The values of annual traffic volumes determining the areas of their effective application are determined.

**Practical implications:** research and practical activities in the field of organization of public transport services by urban passenger public transport.

**Keywords:** transport; transportation; passenger traffic; efficiency; cost; route; structure

**For citation.** Rassokha V.I., Dryuchin D.A., Nadiryan S.L. Optimization of the Structure of the Fleet of Trackless Vehicles Serving Urban Passenger Routes Based on the Results of Mathematical Modeling. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 180-202. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-180-202

Основной задачей системы городского пассажирского транспорта является удовлетворение транспортных потребностей населения при надлежащем уровне качества оказываемых услуг.

В последние десятилетия городские транспортные системы претерпели существенные изменения, обусловленные стремительным повышением уровня автомобилизации, изменением конструкции, технических и эксплуатационных характеристик транспортных средств, обострением энергетических и экологических проблем, изменением общественного строя и принципов экономических взаимоотношений в обществе.

За несколько прошедших десятилетий в жизни нашего общества произошли радикальные изменения, затронувшие сферы общественно-политического устройства общества, материального производства и социально-экономических отношений. Для транспортной отрасли отмечена тенденция децентрализации производства, приход на рынок транспортных услуг большого количества мелких предприятий. Исторически сложилось, что для многих муниципальных образований значительно возросла доля частных перевозчиков, осуществляющих транспортное обслуживание населения, как в границах населённых пунктов, так и за их пределами.

В сформировавшихся условиях от органов муниципального управления, во многом утративших административно-хозяйственные рычаги управления, требуется реализация гибкой политики обеспечивающей соблюдение компромиссных условий между экономическими интересами частного бизнеса и социальными запросами общества.

В свете вышеизложенного, определение оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, является одной из ключевых задач, решение которой во многом определяет сбалансированный подход, позволяющий учесть разноплановые интересы основных участников перевозочного процесса.



Задача оптимизации структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, рассматривалась в работах многих отечественных и зарубежных учёных, таких, как Е.С. Кузнецов, Г.В. Крамаренко, О.Ю. Матанцева, А.И. Фадеев, Н.В. Якунина, Д.Х. Нестеренко, А.В. Спирина, Г.В.Моховая, Ш.М. Минатуллаев и ряд других [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 15, 16]. Основные положения экономического анализа нашли отражение в нормативных документах, регламентирующих деятельность хозяйствующих субъектов и органов местного самоуправления в области транспортного обслуживания населения городским пассажирским транспортом. Во многих работах структура парка транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, рассмотрена как один из ключевых факторов, определяющих качество транспортного обслуживания населения. Исходя из того, что качество является комплексным свойством, определяемым множеством показателей, можно сделать предварительный вывод о том, что структура парка транспортных средств, является ключевым фактором, оказывающим многопараметрическое влияние. [3, 11, 13]

Качество транспортного обслуживания населения является комплексным свойством, оцениваемым следующими основными параметрами:

- регулярность и точность расписания;
- частота движения транспортных средств;
- удобство и комфортабельность транспортных средств.
- безопасность и надежность транспорта.
- вероятность обслуживания всех потенциальных пассажиров в часы пиковых нагрузок.
- доступность для всех групп населения.
- экологическая и энергетическая эффективность.
- стоимость проезда.

Большинство параметров, определяющих качество транспортного процесса, являются максимизируемыми и их максимальные

значения, зачастую ограничены последним рассмотренным показателем – «Стоимость проезда», который во многом зависит от себестоимости выполнения транспортной работы.

Исходя из вышеизложенного, в качестве минимизируемой целевой функции, при определении оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, целесообразно использовать себестоимость перевозки одного пассажира. Ограничения целевой функции определяются комплексом минимально-допустимых максимизируемых показателей, определяющих качество транспортного обслуживания населения.

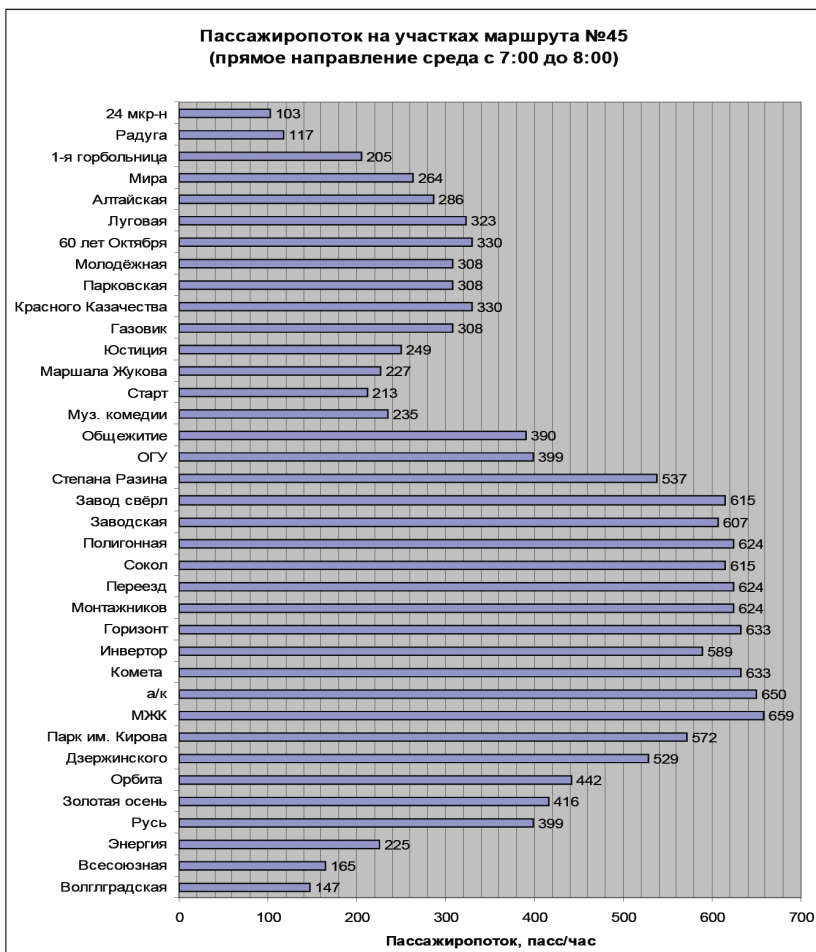
Исследуемыми структурными параметрами парка, в плане решения поставленной задачи, являются численность и пассажироместимость транспортных средств, входящих в его состав. При этом, численность транспортных средств непосредственно влияет на частоту (интервал) их движения. А пассажироместимость на провозную способность одного транспортного средства, следовательно, на его производительность.

Очевидно, что пассажиропотоки городских регулярных маршрутов не стационарны. Как правило, количество пассажиров, перевозимых за единицу времени, изменяется в зависимости от сезона, дня недели, времени суток и участка маршрута. В качестве примера, на рисунках 1, 2 и 3 приведены диаграммы, иллюстрирующие характер изменения пассажиропотоков на одном из городских пассажирских маршрутов города Оренбурга.

Очевидно, что высокий уровень вероятности обслуживания пассажиров достигается при наличии необходимого количества транспортных средств заданной пассажироместимости, общая провозная способность которых обеспечивает перевозку всех пассажиров в часы пик на наиболее загруженном участке маршрута.

На начальном этапе исследования выдвинута гипотеза о том, что увеличение пассажироместимости транспортных средств, при обеспечении заданной наполняемости салона, приводит к сни-

жению себестоимости перевозки одного пассажира. Необходимая наполняемость салона в условиях увеличения пассажироместности транспортных средств, при заданном объёме перевозок, может быть достигнута за счёт уменьшения количества транспортных средств, обслуживающих маршрут, что, в свою очередь, приводит к увеличению интервала их движения на маршруте.



**Рис. 1.** Распределение пассажиропотоков по участкам городского маршрута

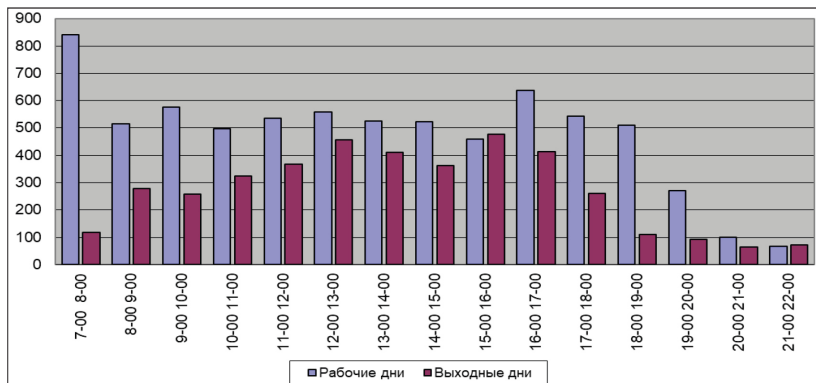


Рис. 2. Распределение пассажиропотоков по времени суток

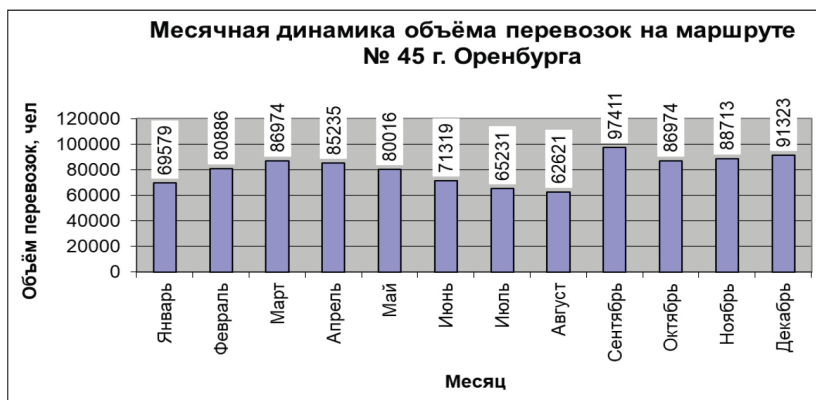


Рис. 3. Распределение пассажиропотоков по месяцам года

Интервал движения транспортных средств на маршруте является одним из параметров, определяющих регулярность транспортного обслуживания населения. Как правило, для магистральных городских маршрутов, установлено максимально-допустимое значение интервала не более 15-20 минут в пиковое время и 30-40 минут в межпиковый период.

Таким образом, установлены два условия, определяющих структурные параметры парка транспортных средств, обслуживающих городские автобусные маршруты.

Первое условие – обеспечение соблюдения максимально-допустимого интервала движения. Второе условие – гарантированное удовлетворение спроса на транспортные услуги, в том числе, в пиковое время на наиболее загруженных участках маршрутов.

Исходя из первого условия, численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом, определяется по формуле:

$$N_{ABT}^{\min I} = \frac{L_{МАРШ}}{I^{\max} \cdot V_{МАРШ}^{CP}}, \quad (1)$$

где  $L_{МАРШ}$  – длина оборотного рейса, км.;

$I^{\max}$  – максимально-допустимый интервал движения для рассматриваемого времени суток, час.;

$V_{МАРШ}^{CP}$  – средняя скорость движения транспортных средств на маршруте, км/час.

Исходя из второго условия минимально-необходимое количество автобусов, закреплённых за маршрутом ( $N_{ABT}^{\min II}$ ), определяется на основе максимальной величины пассажиропотока:

$$N_{ABT}^{\min II} = \frac{Q_{МАРШ}^{MAX} \cdot L_{МАРШ}}{P_{Авт} \cdot V_{МАРШ}^{CP}}, \quad (2)$$

где  $Q_{МАРШ}^{MAX}$  – максимальный часовой объём перевозок на наиболее нагруженном участке маршрута, пасс/час.

$P_{Авт}$  – пассажироместимость транспортного средства, пасс.

Приняв за максимальный цикл интервал времени протяжённостью один год, получаем следующие циклически повторяющиеся вложенные временные периоды, определяющие характер распределения пассажиропотоков: неделя года, день недели, час суток (смены), участок маршрута. Исходя из предложенного подхода, для моделирования пассажиропотоков городского транспортного комплекса, введён параметр – «коэффициент неравномерности распределения объёма перевозок». Данный параметр определяется как отношение максимального значения пассажиропотока на одном из периодов цикла к среднему значению данного параметра, определённого в результате анализа всех периодов рассматриваемого цикла.

Коэффициент неравномерности распределения объёма перевозок по неделям года определяется по формуле:

$$K_H^{\text{НЕД}} = \frac{Q_{\text{НЕД}}^{\text{МАХ}} \cdot 52,14}{Q_{\text{ГОД}}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{НЕД}}^{\text{МАХ}}$  – максимальный объём перевозок, зафиксированный течение одной из недель года; пасс;

$Q_{\text{ГОД}}$  – объём перевозок за год, пасс;

52,14 – количество периодов (недель) в году.

Аналогично определяются коэффициенты неравномерности распределения объёма перевозок по дням недели и по часам рабочей смены

Формула для расчёта коэффициента неравномерности распределения объёмов перевозок по участкам маршрута имеет несколько иной вид:

$$K_H^{\text{МАРШ}} = \frac{P_C^{\text{МАХ}} \cdot n}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (4)$$

где  $P_C^{\text{МАХ}}$  – максимальное количество пассажиров в салоне транспортного средства на одном из перегонов маршрута, пасс;

$\sum_{i=1}^n P_i$  – сумма численностей пассажиров в салоне транспортного средства на всех перегонах маршрута, пасс;

$n$  – количество перегонов маршрута, ед.

Исходя из совокупного применения коэффициентов неравномерности пассажиропотоков, определено выражение для расчёта максимального часового объёма перевозок на наиболее нагруженном участке маршрута:

$$Q_{\text{МАРШ}}^{\text{МАХ}} = \frac{Q_{\text{ГОД}} \cdot K_H^{\text{НЕД}} \cdot K_H^{\text{СВТ}} \cdot K_H^{\text{ЧАС}} \cdot K_H^{\text{МАРШ}}}{T_M \cdot D_{\text{ГОД}}}, \quad (5)$$

Подставив выражение 5 в формулу 2, получаем выражение для расчёта численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом, исходя из гарантированного удовлетворения спроса на транспортные услуги:

$$N_{ABT}^{\min II} = \frac{Q_{ГОД} \cdot K_H^{MEC} \cdot K_H^{HEД} \cdot K_H^{CUT} \cdot K_H^{ЧАС} \cdot K_H^{МАРШ} \cdot L_{МАРШ}}{P_{Авт} \cdot V_{МАРШ}^{CP} \cdot T_M \cdot D_{ГОД}}, \quad (6)$$

Очевидно, что минимально возможное количество автобусов, работающих на маршруте, соответствует максимальному значению из двух величин:  $N_{ABT}^{\min I}$  и  $N_{ABT}^{\min II}$ .

Исходя из того, что численность транспортных средств на маршруте в пиковое, межпиковое и послепиковое время, как правило, значительно отличается, для дальнейших расчётов введена величина среднесуточной численности транспортных средств, одновременно работающих на маршруте. С учётом данной величины, годовой пробег автотранспортных средств, обслуживающих городские автобусные маршруты, может быть определён по формуле:

$$L_{ГОД} = T_M \cdot V_{МАРШ}^{CP} \cdot 0,85 \cdot DP_{ГОД} \cdot N_{ABT}^{МАРШ}, \quad (7)$$

где  $T_M$  – среднесуточная продолжительность работы транспортных средств на маршруте, час;

$V_{МАРШ}^{CP}$  – средняя скорость движения транспортных средств на маршруте, км/ч;

$DP_{ГОД}$  – количество дней работы маршрута в году, ед.;

$N_{ABT}^{МАРШ}$  – среднесуточная численность транспортных средств, одновременно работающих на маршруте, ед.

Численность транспортных средств одновременно, работающих на маршруте, как в пиковое, так и в межпиковое время определяется исходя из обеспечения двух условий: соблюдение максимально-допустимого интервала движения и полное удовлетворение спроса на транспортные услуги (необходимая провозная способность). Исходя из условия изменчивости основных исходных параметров, определяющих обеспечение данных условий, существует три варианта формирования среднесуточной численности транспортных средств:

1) В пиковое и межпиковое время численность транспортных средств определена исходя из условия соблюдения максимально-допустимого интервала движения;

2) В пиковое время численность транспортных средств определена исходя из условия удовлетворение спроса на транспортные услуги, в межпиковое время, исходя из условия соблюдения максимально-допустимого интервала движения;

3) В пиковое и межпиковое время численность транспортных средств определена исходя из условия соблюдения максимально-допустимого интервала движения.

Для первого варианта, расчёт среднесуточной численности транспортных средств, одновременно работающих на маршруте, производится по формуле:

$$N_{АВТ1}^{МАРШ} = \frac{L_{МАРШ}}{V_{МАРШ}^{CP}} \cdot \left( \frac{T_{ПИК}}{I_{max}^{ПИК}} + \frac{(T_M - T_{ПИК})}{I_{max}^{НЕПИК}} \right), \quad (8)$$

где  $T_{ПИК}$  – продолжительность пикового периода в течении смены, ч;  
 $I_{max}^{ПИК}$  – максимально-допустимый интервал в пиковое время, ч;  
 $I_{max}^{НЕПИК}$  – максимально-допустимый интервал в межпиковое время, ч.

Для второго варианта расчёт среднесуточной численности транспортных средств, одновременно работающих на маршруте, производится по формуле имеющей вид:

$$N_{АВТ2}^{МАРШ} = \frac{N_{АВТ}^{min II} \cdot T_{ПИК} + N_{MIN1}^{МАРШ} \cdot (T_M - T_{ПИК})}{T_M}, \quad (9)$$

где  $N_{АВТ}^{min II}$  – численность транспортных средств, обеспечивающих удовлетворение спроса на транспортные услуги, в пиковое время, ед.;

$N_{MIN1}^{МАРШ}$  – численность транспортных средств, обеспечивающих максимально-допустимый интервал в межпиковое время, ед.

Для третьего варианта среднесуточная численность транспортных средств может быть определена исходя из величины годового объёма перевозок по формуле:

$$N_{АВТ3}^{МАРШ} = \frac{Q_{ГОД} \cdot L_{МАРШ}}{P_{Авт} \cdot 0,8 \cdot V_{МАРШ}^{CP} \cdot T_M \cdot D_{ГОД}}, \quad (10)$$

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет определить два ключевых параметра, определяющих сум-



марные затраты на выполнение заданного объёма транспортной работы при выполнении перевозок пассажиров по маршрутам городского наземного транспортного комплекса:

- численность транспортных средств, закреплённым за маршрутом регулярных городских перевозок (исходя из условия обеспечения заданных показателей качества в пиковые периоды);
- суммарный годовой пробег транспортных средств, закреплённых за маршрутом регулярных городских перевозок (исходя из среднесуточной численности транспортных средств одновременно работающих на маршруте).

Следующим этапом выполнения расчётных работ является определение суммарных годовых затрат и себестоимости перевозки одного пассажира при установленных структурных параметрах парка.

В качестве основы для выполнения данных расчётов приняты «Методические рекомендации по расчету экономически обоснованной стоимости перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским наземным электрическим транспортом общего пользования», введены в действие распоряжением Министерства транспорта РФ от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р.

В соответствии методическими рекомендациями, затраты перевозчиков включают в себя прямые и косвенные расходы. [3, 10, 15] Прямые расходы непосредственно связаны с перевозочным процессом, косвенные расходы не имеют прямой связи с перевозками, но они необходимы для создания условий его бесперебойного осуществления.

В состав прямых расходов включены: расходы на оплату труда водителей автобусов и кондукторов; отчисления на социальные нужды; расходы на топливо для автобусов и электроэнергию для транспортных средств на электрической тяге; расходы на смазочные и прочие эксплуатационные материалы; расходы на из-

нос и восстановление шин (для трамваев отсутствуют); расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт транспортных средств; амортизационные отчисления на восстановление транспортных средств; прочие расходы по основным видам деятельности.

В состав косвенных расходов включены следующие статьи затрат: накладные расходы; управленческие расходы; коммерческие расходы.

Себестоимость перевозки одного пассажира определяется, как отношение общих годовых затрат перевозчиков к объёму перевозок [6].

При определении оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих маршруты городского наземного транспортного комплекса, представленная последовательность расчётных действий выполняется в отношении заданного спектра транспортных средств различных категорий. Методика применима всех видов городского наземного пассажирского транспорта, в том числе, электротранспортных средств (троллейбус и трамвай).

Результаты моделирования позволяют выявить виды транспорта и категории транспортных средств, обеспечивающих минимальную себестоимость выполнения транспортной работы при заданных значениях ключевых показателей качества транспортного обслуживания населения.

Блок-схема алгоритма практической реализации описанных методов представлена на рисунке 4.

Представленный на рисунке 4 алгоритм реализован в формате электронной таблицы Microsoft Excel. Данный программный продукт позволил произвести расчёт структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих типовой маршрут городских регулярных перевозок города с населением 500 тыс. человек. Параметры маршрута, принятого в качестве основы для моделирования представлены в таблице 1

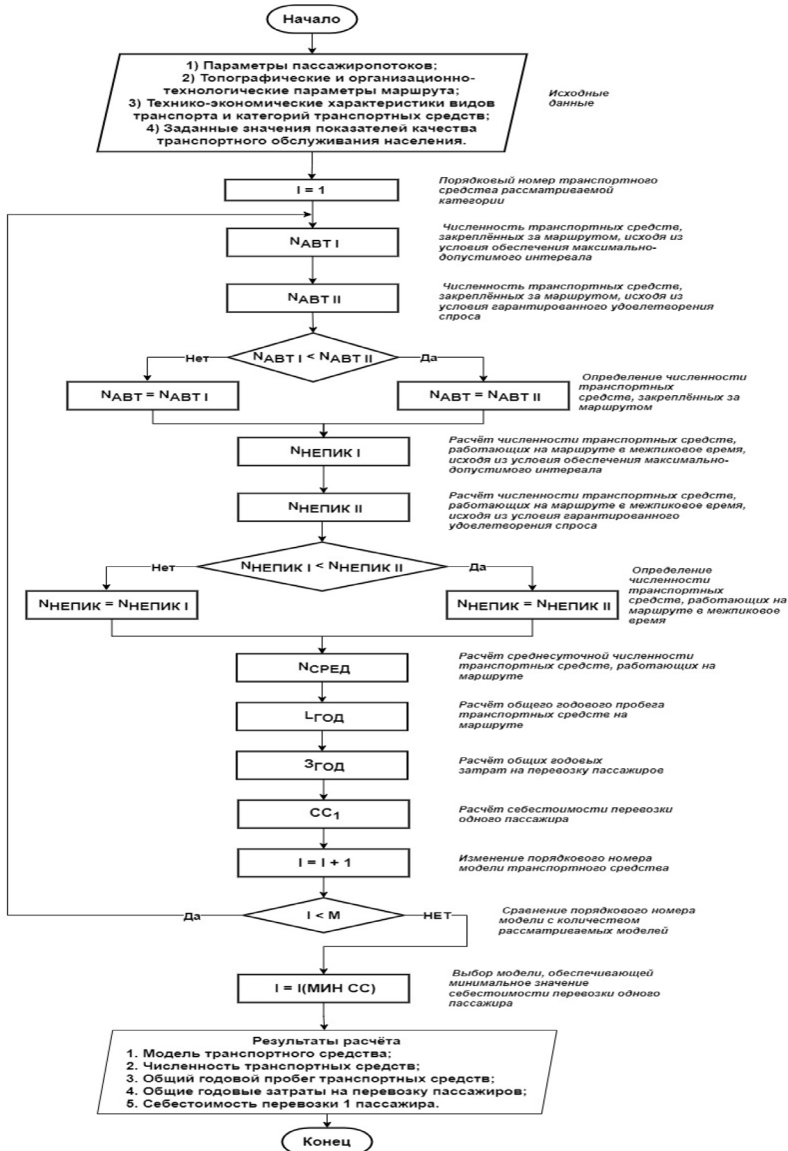


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения структурных параметров парка транспортных средств

Таблица 1.

**Организационно-технологические параметры маршрута,  
принятого в качестве основы для моделирования**

Параметр	Значение
Протяжённость оборотного рейса, км	26
Годовой объём перевозок, пасс.	1 200 000
Средняя скорость передвижения транспортных средств, км/ч	
- автобус пассажироместимостью 100 чел;	18
- автобус пассажироместимостью 45 чел;	20
- автобус пассажироместимостью 20 чел;	22
- троллейбус;	17,5
- трамвай (один вагон)	17
Минимально-допустимый интервал движения транспортных средств в пиковое время, мин	15
Минимально-допустимый интервал движения транспортных средств в межпиковое время, мин	30
Среднесуточная продолжительность пикового периода, ч	4
Продолжительность смены, ч	16
Коэффициент неравномерности по неделям года	1,1
Коэффициент неравномерности по дням недели	1,2
Коэффициент неравномерности по часам рабочей смены	1,3
Коэффициент неравномерности по участкам маршрута	1,2

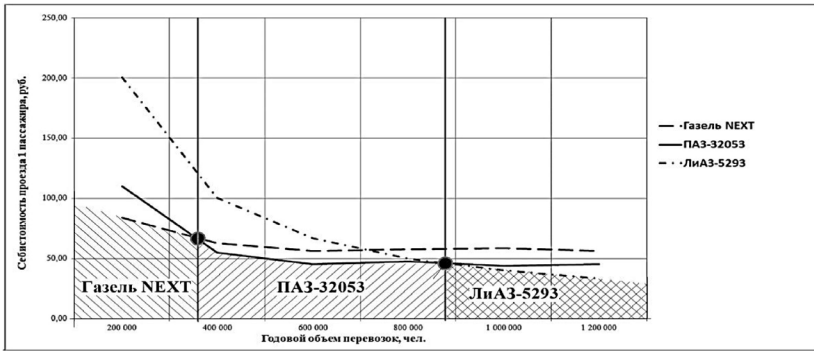
Таблица 2.

**Результаты моделирования технологических показателей  
и показателей эффективности транспортного процесса**

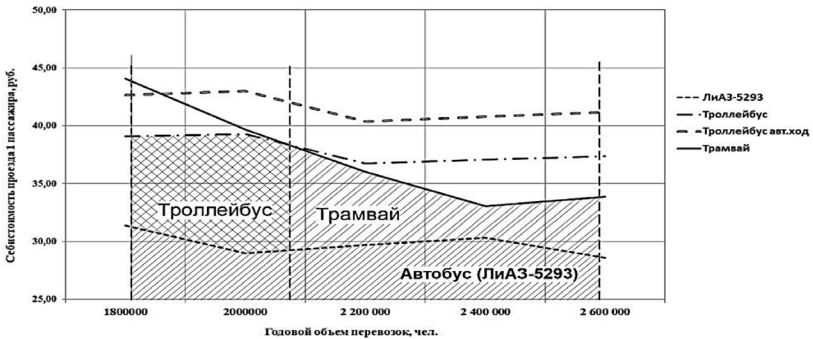
Наименование показателя	Модель транспортного средства / вид транспорта				
	ЛиАЗ-5239	ПАЗ-32053	Газель-NEXT	Троллейбус	Трамвай
Количество транспортных средств, закреплённых за маршрутом, ед.	11	24	41	11	8
Среднее количество транспортных средств, одновременно работающих на маршруте, ед.	5	10	16	5	5
Общий годовой пробег транспортных средств на маршруте, тыс. км.	446,8	992,8	1747,3	434,4	421,9
Общие годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.	46 149	60 521	72 665	61 025	79 292
Себестоимость перевозки одного пассажира, руб.	38,5	50,4	60,6	50,8	66,8

В соответствии с разработанной методикой произведено моделирование технологических показателей и показателей эффективности транспортного процесса при различных значениях годового объёма перевозок. Результаты моделирования приведены в таблице 2.

По результатам выполненного исследования определены области эффективного применения различных категорий транспортных средств в заданных условиях. Размерность области эффективного применения определена параметром «Объём перевозок». Полученные результаты отражены на рисунках 5 и 6.



**Рис. 5.** Области эффективного применения различных категорий транспортных средств на типовом маршруте городского пассажирского транспортного комплекса



**Рис. 6.** Области эффективного применения различных категорий транспортных средств на типовом маршруте городского пассажирского транспортного комплекса

Таким образом, теоретически обоснован, разработан и опробован на практике математический инструментарий, позволяющий получить результаты, имеющие важное прикладное значение. Разработанная математическая модель позволяет проводить научные исследования и выявлять закономерности, восполняющие пробелы в знаниях о процессах транспортного обслуживания населения городским наземным пассажирским транспортом.

### **Заключение**

Полученные результаты позволяют сделать выводы, иллюстрирующие решение поставленных задач.

По результатам теоретического исследования разработана математическая модель формирования пассажиропотоков городских пассажирских маршрутов. Данные о пассажиропотоках, характеризующиеся рядом коэффициентов неравномерности, являются исходной информацией для определения структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих маршруты городского пассажирского наземного транспорта.

Разработанная математическая модель дополнена методикой определения оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих городские регулярные маршруты. Результатами практического применения разработанных методов являются структурные параметры парка транспортных средств (вид, категория, численность), обеспечивающие минимальные значения себестоимости транспортной работы при заданных значениях показателей качества транспортного обслуживания населения.

На основе результатов моделирования определены многомерные области эффективной эксплуатации различных видов городского пассажирского транспорта и категорий транспортных средств, позволяющие сформировать парк транспортных средств для аналогичных маршрутов городского пассажирского транспортного комплекса.

### *Список литературы*

1. Матанцева О.Ю. Перевозки пассажиров транспортом общего пользования: основные экономические проблемы и пути их решения / О.Ю. Матанцева, А.К. Акредова // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2018. - № 2(75). – С. 65-69.
2. Якунин Н.Н. Моделирование экономической мотивации качественных перевозок пассажиров автомобильным транспортом по городским регулярным маршрутам / Н.Н. Якунин, А.А. Шмарин, А.П. Шмарин // Проблемы современной экономики. - 2017. - № 2 (62). - С. 198-201.
3. Фадеев А.И. Методология проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10 / А.И. Фадеев. Красноярск: 2021. 40 с.
4. Якунина Н.В. Методология повышения качества перевозок общественным автомобильным транспортом : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10 / Н. В. Якунина - Оренбург : 2013. - 354 с.
5. Нестеренко Д.Х. Методика повышения привлекательности городских пассажирских автомобильных перевозок на основе управления структурой транспортных потоков : дис. ... канд. техн. наук: 2.9.5 / Д.Х. Нестеренко - Оренбург : 2021. - 118 с.
6. Матанцева О.Ю. Правовые аспекты экономической устойчивости автотранспортной организации : монография / О.Ю. Матанцева. - Москва : Юстицинформ, 2016. - 247 с.
7. Мохова Г.В. Формирование и регулирование тарифов на пассажирские перевозки автомобильным транспортом в городских агломерациях : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Г.В. Мохова - Москва : 2008. - 168 с.
8. Минатулаев Ш.М. Организация автобусных перевозок на основе согласованности временных характеристик маршрутов и остановочных пунктов : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Ш.М. Минатулаев - Оренбург : 2019. - 157 с.
9. Шевцов Ю.Д. Влияние факторов внешней среды на выбор подвижного состава при организации процесса транспортировки груза / Ю.Д. Шевцов, С.Л. Надирян, М.П. Миронова, М.Д. Шепелева // Наука. Техника. Технологии (политех. вестник). - 2022. - № 2. - С. 70-73.

10. Коновалова Т.В. Анализ общих затрат на транспорт производственных предприятий при выборе инсорсинга или аутсорсинга / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, А.О. Недашковская // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2016. № 6-7. С. 198-200.
11. Bratzel, S. (1999). Conditions of success in sustainable urban transport policy - policy change in «relatively successful» European cities. *Transport Reviews*, 19(2), P. 177–190.
12. Pucher, J. Urban passenger transport in the United States and Europe: A comparative analysis of public policies. Part 2. Public transport, overall comparisons and recommendations. *Transport Reviews*.- 1995.- 15(3), P. 211–227.
13. Lohse D. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung, 2. Aufgabe, Berlin, Verlag für Bauwesen GmbH. 1997. - P. 326.
14. Regirer S.A. Smirnov N.N., Chenchik, A.E. Mathematical model of moving collectives interaction: Public transport and passengers. *Automation and Remote Control*.- 2007. vol. 68. - No 7. - P.1225-1238.
15. Mao B.-H., Wang M., Ho, T.-K., Chen H.-B. A Review and Prospect of Urban Public Transit Level-of-Service Research. *Jiaotong Yunshu Xitong Gongcheng Yu Xinxi. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. 2022; 22(1): 2-13.
16. Dahim M. Enhancing the development of sustainable modes of transportation in developing countries: Challenges and opportunities. *Civil Engineering Journal (Iran)*. 2021; 7(12): 2030-2042.

### *References*

1. Matantseva O.Yu. Transportation of passengers by public transport: the main economic problems and ways / O.Yu. Matantseva, A.K. Akredova // *Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics*. 2018. № 2(75). pp. 65-69.
2. Yakunin N.N. Modeling of economic motivation of high-quality passenger transportation by road on urban regular routes / N.N. Yakunin, A.A. Shmarin, A.P. Shmarin // *Problems of modern economy*. 2017. № 2 (62). pp. 198-201.



3. Fadeev A.I. Methodology of transportation design and management of public land passenger transport : abstract. dis. ...Dr. Technical sciences: 05.22.10 / A.I. Fadeev - Krasnoyarsk : 2021. - 40 p.
4. Yakunina N.V. Methodology of improving the quality of transportation by public road transport : dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.22.10 / N. V. Yakunina - Orenburg : 2013. - 354 p.
5. Nesterenko D.H. Methods of increasing the attractiveness of urban passenger automobile transportation based on the management of the structure of traffic flows : dis. ... Candidate of Technical Sciences: 2.9.5 / D.H. Nesterenko - Orenburg : 2021. - 118 p.
6. Matantseva O.Yu. Legal aspects of economic sustainability of a motor transport organization : monograph / O.Yu. Matantseva. - Moscow : Justicinform, 2016. - 247 p.
7. Mokhova G.V. Formation and regulation of tariffs for passenger transportation by road in urban agglomerations : dis. ... Candidate of Economic Sciences: 08.00.05 / G.V. Mokhova. - Moscow : 2008. - 168 p.
8. Minatulaev Sh.M. Organization of bus transportation based on the consistency of the time characteristics of routes and stopping points : dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.22.10 / Sh.M. Minatulaev - Orenburg : 2019. - 157 p.
9. Shevtsov Yu.D. Influence of environmental factors on the choice of rolling stock when organizing the process of cargo transportation / Yu.D. Shevtsov, S.L. Nadiryan, M.P. Mironova, M.D. Shepeleva // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2022. № 2. pp. 70-73.
10. Konovalova T.V. Analysis of total transport costs of industrial enterprises when choosing insourcing or outsourcing / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, A.O. Nedashkovskaya // Humanities, socio-economic and social sciences. 2016. № 6-7. pp. 198-200.
11. Bratzel, S. (1999). Conditions of success in sustainable urban transport policy - policy change in «relatively successful» European cities. *Transport Reviews*, 19(2), P. 177–190.
12. Pucher, J. Urban passenger transport in the United States and Europe: A comparative analysis of public policies. Part 2. Public transport,

- overall comparisons and recommendations. *Transport Reviews*.- 1995.- 15(3), P. 211–227.
13. Lohse D. *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung, 2. Aufgabe*, Berlin, Verlag für Bauwesen GmbH. 1997. - P. 326.
14. Regirer S.A. Smirnov N.N., Chenchik, A.E. Mathematical model of moving collectives interaction: Public transport and passengers. *Automation and Remote Control*.- 2007. vol. 68. - No 7. - P.1225-1238.
15. Mao B.-H., Wang M., Ho, T.-K., Chen H.-B. A Review and Prospect of Urban Public Transit Level-of-Service Research. *Jiaotong Yunshu Xitong Gongcheng Yu Xinxi. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. 2022; 22(1): 2-13.
16. Dahim M. Enhancing the development of sustainable modes of transportation in developing countries: Challenges and opportunities. *Civil Engineering Journal (Iran)*. 2021; 7(12): 2030-2042.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Рассоха Владимир Иванович**, доктор технических наук, доцент, декан транспортного факультета  
*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»*  
*пр. Победы, 13, г. Оренбург, Оренбургская область, 460018,*  
*Российская федерация*  
*cabin2012@yandex.ru*

**Дрючин Дмитрий Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации и ремонта автомобилей  
*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»*  
*пр. Победы, 13, г. Оренбург, Оренбургская область, 460018,*  
*Российская федерация*  
*dmi-dryuchin@yandex.ru*

**Надирян София Леоновна**, старший преподаватель кафедры  
«Транспортных процессов и технологических комплексов»  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический  
университет»*  
*ул. Красная, 135, г. Краснодар, Краснодарский край, 350020,  
Российская Федерация*  
*sofi008008@yandex.ru*

### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Vladimir I. Rassokha**, Doctor of Technical Sciences, Associate Pro-  
fessor, Dean of the Faculty of Transport  
*Orenburg State University*  
*13, Pobedy Ave., Orenburg, Orenburg Region, 460018, Russian  
Federation*  
*cabin2012@yandex.ru*

**Dmitry A. Dryuchin**, Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor, Head of the Department of Technical Operation and  
Repair of Cars  
*Orenburg State University*  
*13, Pobedy Ave., Orenburg, Orenburg Region, 460018, Russian  
Federation*  
*dmi-dryuchin@yandex.ru*

**Sofiya L. Nadiryan**, Senior Lecturer of the Department of Transport  
Processes and Technological Complexes  
*Kuban State Technological University*  
*135 Krasnaya Str., Krasnodar, Krasnodar Krai, 350020, Rus-  
sian Federation*  
*sofi008008@yandex.ru*

Поступила 22.06.2023  
После рецензирования 10.07.2023  
Принята 15.07.2023

Received 22.06.2023  
Revised 10.07.2023  
Accepted 15.07.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-203-223

УДК 629.113.001



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

## **О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ**

***А.С. Чернышков, А.И. Федотов, О.С. Яньков***

*Статья посвящена разработке метода функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на стендах с беговыми барабанами. Проанализирована необходимость проведения функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой. Рассмотрены причины, сдерживающие развитие и реализацию стендового метода контроля технического состояния автомобилей с электрической силовой установкой. В статье представлены результаты, полученные авторами в предыдущих работах. Приведены разработанные математические модели, предложены тестовые режимы для проведения испытаний автомобилей с электрической силовой установкой на стенде с беговыми барабанами. Представлены результаты аналитического и экспериментального выявления взаимосвязей между параметрами технического состояния автомобиля с электрической силовой установкой и основными параметрами его функционирования. Выявленные закономерности позволили разработать метод функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на основе применения диагностической матрицы. Разработанный метод функциональной диагностики реализуется за счет измерения и последующего сравнения с нормативными значениями основных параметров функционирования автомобиля с электрической си-*

ловой установкой при контроле его технического состояния на стенде с беговыми барабанами. Предложен управляющий алгоритм, позволяющий реализовывать разработанный метод функциональной диагностики.

**Цель** – разработка метода функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на стендах с беговыми барабанами.

**Методы или методологии проведения исследований** численный метод, основанный на конечно-разностной схеме метода Парка, с использованием специального численно-итерационного метода составления уравнений движения; натурное экспериментальное исследование.

**Результаты** – разработан метод функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на стендах с беговыми барабанами, который на основе выявленных зависимостей параметров, характеризующих тягово-динамические свойства автомобилей с электрическими силовыми установками, от параметров технического состояния их агрегатов и систем, осуществляется при помощи разработанных алгоритма и диагностической матрицы позволяет выполнять количественный контроль технического состояния АЭСУ, их силовых агрегатов и систем при функционировании АЭСУ на стендах с беговыми барабанами и реализуется на разработанном стендовом оборудовании.

**Область применения.** Полученные в виде разработанного метода и реализующего его оборудования результаты целесообразно применять при контроле технического состояния и диагностике автомобилей с электрической силовой установкой на станциях технического обслуживания, испытания на заводах-изготовителях.

**Ключевые слова:** автомобиль с электрической силовой установкой; стенд с беговыми барабанами; функциональная диагностика; диагностическая матрица; диагноз; диагностические параметры; диагностические нормативы; тестовые режимы; функциональные зависимости; контроль технического состояния

*Для цитирования.* Чернышков А.С., Федотов А.И., Яньков О.С. О функциональной диагностике автомобилей с электрической силовой установкой // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 203-223. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-203-223

Original article | Operation of Road Transport

## **ABOUT FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF CARS WITH AN ELECTRIC POWER PLANT**

*A.S. Chernyshkov, A.I. Fedotov, O.S. Yan'kov*

*The article is devoted to the development of a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant on stands with running drums. The necessity of carrying out functional diagnostics of cars with an electric power plant is analyzed. The reasons hindering the development and implementation of the bench method for monitoring the technical condition of cars with an electric power plant are considered. The article presents the results obtained by the authors in previous works. The developed mathematical models are presented, test modes for testing cars with an electric power plant on a stand with running drums are proposed. The results of analytical and experimental identification of interrelations between the parameters of the technical condition of a car with an electric power plant and the main parameters of its functioning are presented. The revealed patterns made it possible to develop a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant based on the use of a diagnostic matrix. The developed method of functional diagnostics is implemented by measuring and then comparing with the normative values of the main parameters of the functioning of a car with an electric power plant when monitoring its technical condition on a stand with running drums. A control algorithm is proposed that allows implementing the developed method of functional diagnostics.*

**Purpose** – development of a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant on stands with running drums.

**Methods or methodologies of research** – a numerical method based on the finite-difference scheme of the Park method, using a special numerical-iterative method of composing equations of motion; full-scale experimental research.

**Results** – a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant on stands with running drums has been developed, which, based on the revealed dependencies of the parameters characterizing the traction and dynamic properties of cars with electric power plants on the parameters of the technical condition of their units and systems, is carried out using the developed algorithm and diagnostic matrix allows quantitative control of the technical condition of cars with electric power installation, their power units and systems during the operation of cars with an electric power plant on stands with running drums and is implemented on the developed bench equipment.

**Practical implications.** The results obtained in the form of the developed method and the equipment implementing it are advisable to apply when monitoring the technical condition and diagnostics of cars with an electric power plant at service stations, testing at manufacturing plants.

**Keywords:** cars with an electric power plant; stand with running drums; functional diagnostics; diagnostic matrix; diagnosis; diagnostic parameters; diagnostic standards; test modes; functional dependencies; technical condition monitoring

**For citation.** Chernyshkov A.S., Fedotov A.I., Yan'kov O.S. About Functional Diagnostics of Cars with an Electric Power Plant. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 203-223. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-203-223

## **Введение**

Методы диагностирования, применяемые для определения технического состояния автомобилей, делятся на две группы. Первая группа методов реализуется путем измерения основных эксплу-

атационных свойств автомобиля, что дает возможность провести оценку его работоспособности и эксплуатационных свойств в целом. Ко второй группе методов относят те методы, которые осуществляются за счет измерения параметров процессов, сопутствующих функционированию автомобиля, его систем, агрегатов и механизмов. Использование второй группы методов позволяет определить конкретные причины возникновения неисправностей. В связи с этим при диагностировании автомобиля, его систем, агрегатов и механизмов применяют сначала первую группу методов, основанную на принципе перехода «от целого к частному». Таким образом выполняется функциональное диагностирование. Для уточнения диагноза о техническом состоянии автомобиля и локализации неисправностей применяют методы второй группы, осуществляя дифференциальное диагностирование [1, 8, 9].

Современный автомобиль с электрической силовой установкой (АЭСУ) является сложной технической системой, что обусловлено непрерывным их совершенствованием. Сложность конструкций АЭСУ, их систем и агрегатов часто приводит к периодическому возникновению отказов. Значительная часть времени затрачивается на локализацию неисправности и определение причин её возникновения, а не на ремонтные работы. Эффективность определения технического состояния АЭСУ невозможна без применения современных методов диагностики и реализующего их оборудования. Применение методов функциональной диагностики для определения технического состояния АЭСУ является важным элементом стратегии поддержания технического состояния АЭСУ на должном уровне, поскольку позволяет значительно сократить временные затраты на поиск неисправностей и постановку диагноза о техническом состоянии АЭСУ. Это приводит к снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт АЭСУ, а также к повышению уровня их безопасности в условиях эксплуатации.

Функциональную диагностику АЭСУ целесообразно выполнять на стендах с беговыми барабанами, поскольку такой метод



позволяет получить более полную информацию о техническом состоянии объекта диагностирования. Однако реализация этого метода сдерживается недостатком знаний о процессе функционирования АЭСУ на стендах с беговыми барабанами. Во-первых, отсутствуют научно-обоснованные тестовые режимы, при которых возможна эффективная диагностика АЭСУ в стендовых условиях. Во-вторых, наблюдается отсутствие знаний о диагностических параметрах и их нормативных значениях, пригодных для оценки технического состояния АЭСУ на стендах с беговыми барабанами. В-третьих, нет выявленных функциональных зависимостей между параметрами технического состояния АЭСУ и диагностическими параметрами. Кроме того, необходимо определить эффективный способ постановки диагноза о техническом состоянии объекта диагностирования.

### **Материалы и методы**

Ранее авторами статьи было проведено научное обоснование тестовых режимов контроля технического состояния [2]. Проведенное исследование позволило устранить первый недостаток знаний. Было выявлено, что наиболее эффективный контроль технического состояния АЭСУ на стендах с беговыми барабанами возможен в следующих типовых режимах: режим разгона по горизонтальной дороге; режим разгона с нагрузкой; режим движения с постоянной скоростью; режим свободного выбега; режим рекуперативного торможения. Научно обоснованные тестовые режимы в совокупности с выявленными зависимостями диагностических параметров от параметров технического состояния АЭСУ позволят выполнять их функциональную диагностику на стенде с беговыми барабанами.

Для выявления диагностических параметров, пригодных для оценки технического состояния АЭСУ, были разработаны математические модели процесса функционирования АЭСУ на стендах с беговыми барабанами, представленные в работах [3, 4, 5, 6,

15]. Приведенные модели позволяют в реальном времени выполнять имитационное моделирование процессов функционирования АЭСУ на стенде с беговыми барабанами, а также проводить аналитические исследования для выявления зависимостей диагностических параметров от параметров технического состояния АЭСУ в процессе их функциональной диагностики

Разработанная математическая модель [5, 6, 15] имитационного моделирования процесса функционирования АЭСУ на стендах с беговыми барабанами при их функциональной диагностике учитывает:

- параметры процесса функционирования электрической силовой установки (ЭСУ);
- процессы взаимодействия эластичной шиной с беговыми барабанами стенда;
- динамические процессы в системе «АЭСУ – Стенд»;
- изменение технического состояния агрегатов трансмиссии и ЭСУ автомобиля.

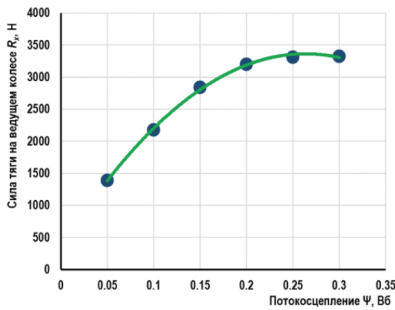
Модель позволяет выявлять зависимости диагностических параметров и показателей тягово-динамических свойств АЭСУ от параметров технического состояния их агрегатов и систем.

Для подтверждения достоверности математических моделей был проведен натурный эксперимент. Экспериментальное исследование процесса функционирования АЭСУ в стендовых условиях было реализовано на разработанном стенде с беговыми барабанами, позволяющем проводить измерение параметров функционирования ЭСУ автомобиля. Конструкция стенда защищена патентом на полезную модель №199093 [7, 11, 12, 13 14]. Экспериментальное исследование проводилось реализацией процесса функционирования АЭСУ KIA Soul EV на полноопорном гибридном стенде с беговыми барабанами. В процессе исследования были измерены основные параметры функционирования АЭСУ. Полученные данные позволили сравнить результаты экспериментальных исследований и аналитических расчётов, провести проверку адекватности разработанной математической модели.

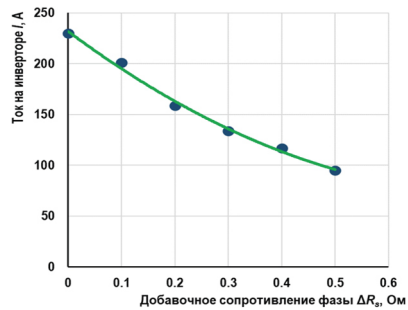
Аналитическое исследование выполнено с использованием разработанной имитационной математической модели путем моделирования процесса функционирования АЭСУ на стенде с беговыми барабанами. При моделировании были проведены многовариантные виртуальные эксперименты с изменением параметров технического состояния ЭСУ автомобиля. В результате были выявлены основные параметры функционирования АЭСУ на стенде: сила тяги в режиме разгона (сила, затрачиваемая на вращение трансмиссии АЭСУ, в режиме выбега)  $R_x$  на ведущих колесах автомобиля; скорость  $V_a$ , имитируемая на стенде; ток потребления электрической силовой установкой  $I$ ; фазные токи  $I_A, I_B, I_C$ , протекающие в обмотках синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ); время разгона  $t_p$  и выбега  $t_b$ . Изменение технического состояния ЭСУ осуществлялось за счёт варьирования следующих параметров: потокосцепление  $\psi$ ; сопротивление фаз  $R_A, R_B, R_C$ , СДПМ; сопротивление цепи подключения тяговой высоковольтной батареи (ТВБ)  $R_{BAT}$ ; диссипации  $d_{тр}$  в трансмиссии АЭСУ.

Результатами проведенных аналитических и экспериментальных исследований являются функциональные зависимости между параметрами функционирования АЭСУ и параметрами его технического состояния (рис. 1). Они дают возможность оценивать техническое состояние АЭСУ при его функционировании на стенде с беговыми барабанами за счёт определения его основных эксплуатационных свойств, таких как энергопотребление ЭСУ и тягово-динамические свойства.

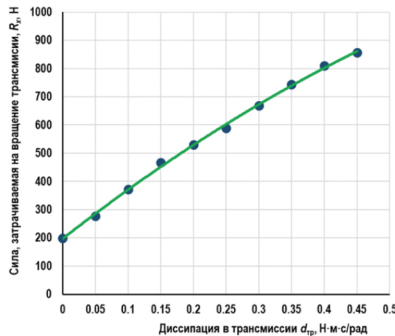
Полученные зависимости функциональных параметров АЭСУ были проанализированы на предмет их диагностической информативности. Распознавание технического состояния АЭСУ при контроле его тягово-динамических свойств на стендах с беговыми барабанами и выявление зависимостей диагностических параметров от параметров технического состояния объекта диагностирования в работе реализовано при помощи метода наибольших сечений.



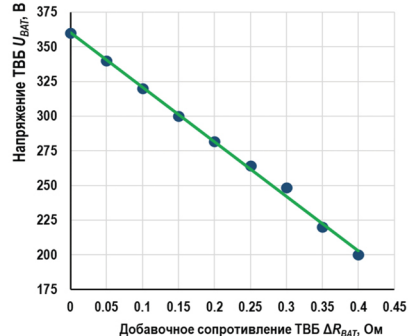
А – Зависимость силы тяги на ведущих колесах АЭСУ от изменения потокоосцепления электродвигателя при имитируемой скорости 16 км/ч



Б – Зависимость тока, потребляемого инвертором, от фазного сопротивления при силе тяги на ведущих колесах 2670 Н



В – Зависимость силы на ведущих колесах АЭСУ, затрачиваемой на вращение трансмиссии, от диссипации в трансмиссии в режиме выбега с 60 км/ч



Г – Зависимость напряжения ТВБ от сопротивления цепи подключения ТВБ при имитируемой скорости 10 км/ч

Рис. 1. Выявленные взаимосвязи между параметрами функционирования АЭСУ и параметрами его технического состояния

Для этого в каждой области локальных диагнозов фазовых диагностических характеристик определены диагностические участки с максимальной чувствительностью к изменениям параметров технического состояния ЭСУ автомобиля. Отрезок этой секущей, ограниченный крайними фазовыми динамическими характери-

стиками, будет являться диагностическим участком. Пересечение фазовых динамических характеристик, с этой секущей позволит определить диагностические признаки параметров технического состояния. Нормативные значения определялись статистическим методом на основе толерантных границ. Выявленные ошибки первого и второго рода оказывают незначительное влияние.

Осуществление функциональной диагностики сложного объекта по принципу «годен-не годен» реализуется за счёт использования достаточно обширного количества диагностических параметров. Поэтому целесообразно использовать метод, основанный на использовании диагностических матриц.

Диагностическая матрица выполнена в виде совокупности связей между диагностическими параметрами и неисправностями объекта и разрабатывается для наиболее вероятных состояний объекта. Структурная схема применения метода постановки диагноза представлена на рисунке 2 [1, 8, 9].

Для каждого возможного состояния  $X_1 \div X_n$  в матрице содержатся столбцы с наборами единиц и нулей, характерных для конкретного технического состояния объекта диагностирования. Ноль устанавливается в том случае, если при данном техническом состоянии измеренное значение диагностического параметра не выходит за пределы его нормативного значения. Для обеспечения возможности постановки диагноза необходимо соблюдать выполнение условия  $i \geq n$ , которое реализуется за счёт получения большого количества информации о процессе функционирования объекта диагностирования и выявления зависимостей между диагностическими нормативами и показателями, характеризующими техническое состояние объекта диагностирования [1, 8, 9].

Метод диагностирования, основанный на применении диагностической матрицы, позволяет фиксировать состояние объекта в зависимости от измеренных параметров функционирования объекта. Для управления предлагаемым методом, а также для получения, анализа информации и заполнения данных в диагностиче-

скую матрицу разработан управляющий алгоритм. Предлагаемый алгоритм, представленный на рисунке 3, позволяет выполнять функциональную диагностику АЭСУ на стендах с беговыми барабанами и количественно оценивать техническое состояние их систем и агрегатов.

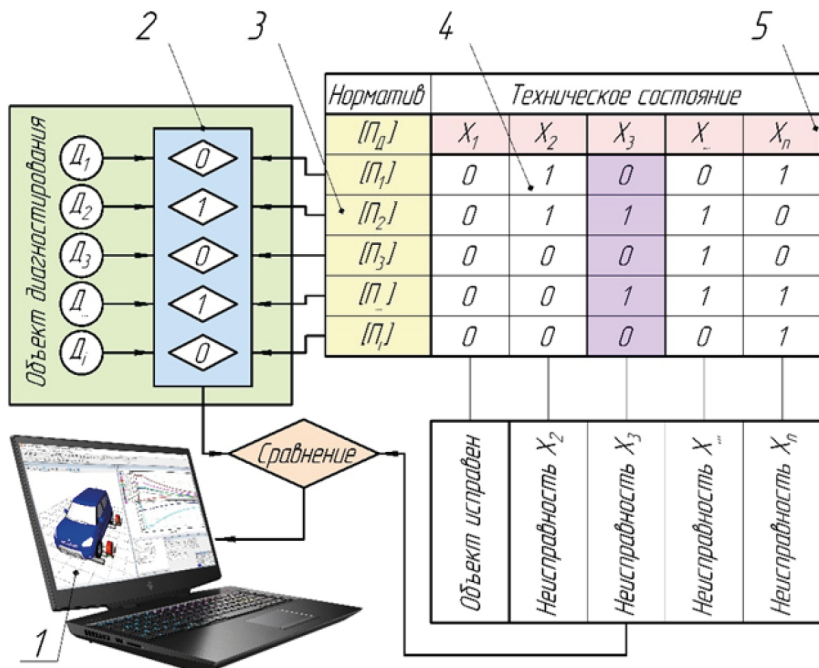
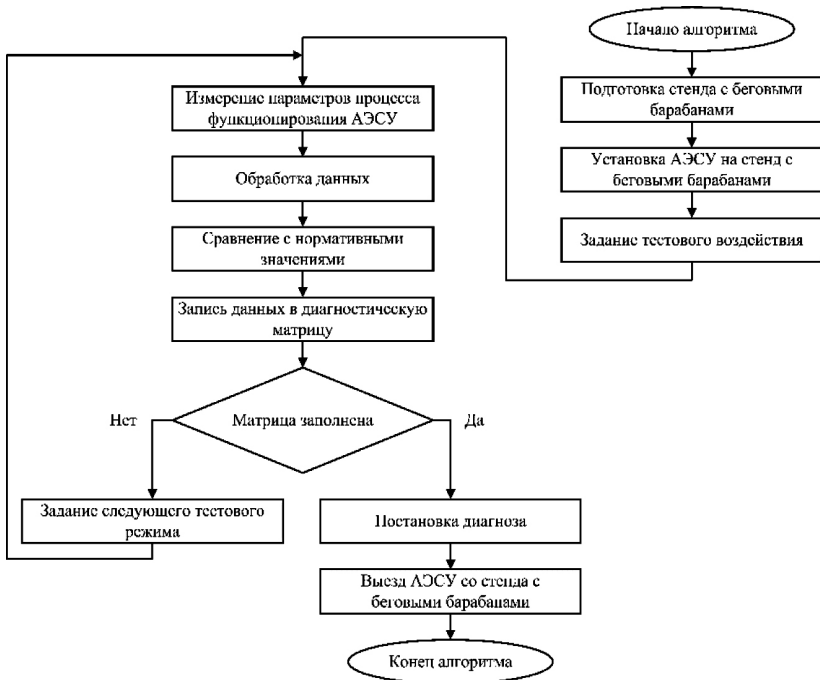


Рис. 2. Структурная схема метода постановки диагноза на основе диагностической матрицы

Согласно разработанному алгоритму, функциональное диагностирование АЭСУ начинается с подготовки диагностического стенда с беговыми барабанами, которая заключается в его запуске и прогреве измерительных систем. Затем проводится установка автомобиля на стенд, его закрепление для обеспечения безопасности при проведении испытаний и подключение к его ЭСУ системы измерения параметров её функционирования.



**Рис. 3.** Алгоритм диагностирования АЭСУ на стенде с беговыми барабанами с использованием диагностической матрицы

Далее задаётся тестовый режим имитации разгона АЭСУ по горизонтальной дороге и проводится испытание. При этом осуществляется измерение основных эксплуатационных свойств АЭСУ, в том числе параметров функционирования ЭСУ. Измеренные значения обрабатываются, сравниваются с нормативными значениями и заносятся в диагностическую матрицу. Затем задается следующий тестовый режим и проводится очередной этап испытаний. После заполнения диагностической матрицы определяется техническое состояние автомобиля, а именно его ЭСУ, и устанавливается диагноз на основании сравнения полученных данных с нормативными значениями. По завершении испытаний осуществляется выезд АЭСУ со стенда.

Закономерности, выявленные для оценки технического состояния ЭСУ автомобиля на основе измерения его функциональных параметров, параметров энергопотребления и тягово-динамических характеристик при заданных тестовых воздействиях, позволили сформировать диагностическую матрицу (рис. 4).

Разработанная диагностическая матрица обеспечивает возможность количественного контроля технического состояния АЭСУ на основе разработанного нового метода функциональной диагностики АЭСУ, их агрегатов и систем при их функционировании на стендах с беговыми барабанами.

Режим функционирования автомобиля с ЭСУ	Контролируемый параметр	Нормативные значения	Д И А Г Н О З				
			АЭСУ исправен	Неисправна ЭСУ	Неисправна трансмиссия	Неисправны вольтажные цепи	Неисправна ТВБ
Разгон по горизонтальной дороге	Сила фазных токов $I_A, I_B, I_C, A$	$I_A = I_B = I_C$ $275 < I_i < 300$	0	-1	1	-1	0
	Сила тока от ТВБ $I_{BAT}, A$	$240 < I_{BAT} < 260$	0	1	0	0	-1
	Напряжение ТВБ $U_{BAT}, B$	$U_{BAT} > 350$	0	0	0	0	-1
	Время разгона $t_p, c$	$t_p < 10,5$	0	1	1	1	0
	Сила тяги на ведущих колесах $R_x, H$	$3400 < R_x < 3700$	0	-1	-1	-1	0
Разгон с нагрузкой	Сила фазных токов $I_A, I_B, I_C, A$	$I_A = I_B = I_C$ $315 < I_i < 340$	0	-1	1	-1	0
	Сила тока от ТВБ $I_{BAT}, A$	$270 < I_{BAT} < 290$	0	1	0	0	-1
	Напряжение ТВБ $U_{BAT}, B$	$U_{BAT} > 345$	0	0	0	0	-1
	Время разгона $t_p, c$	$t_p < 13,8$	0	1	1	1	0
	Сила тяги на ведущих колесах $R_x, H$	$3900 < R_x < 4200$	0	-1	-1	-1	0
Движение с постоянной скоростью	Сила фазных токов $I_A, I_B, I_C, A$	$I_A = I_B = I_C$ $80 < I_i < 105$	0	-1	1	-1	0
	Сила тока от ТВБ $I_{BAT}, A$	$50 < I_{BAT} < 60$	0	1	0	-1	-1
	Сила тяги на ведущих колесах $R_x, H$	$340 < R_x < 500$	0	-1	-1	-1	0
Рекуперативное торможение	Сила фазных токов $I_A, I_B, I_C, A$	$I_A = I_B = I_C$ $65 < I_i < 80$	0	0	0	0	0
	Сила тока от ТВБ $I_{BAT}, A$	$50 < I_{BAT} < 60$	0	0	0	-1	-1
	Напряжение ТВБ $U_{BAT}, B$	$U_{BAT} > 350$	0	0	0	0	0
	Сила рекуперативного торможения $R_x, H$	$R_x > 1680$	0	-1	0	0	0
Свободный выбег	Сила, затрачиваемая на вращение трансмиссии $R_x, H$	$R_x < 245$	0	0	1	0	0
	Время выбега $t_e, c$	$t_e > 17$	0	0	-1	0	0

Рис. 4. Разработанная диагностическая матрица постановки диагноза АЭСУ при его функциональной диагностике на стенде с беговыми барабанами

## Результаты

1. Установлено, что значительное повышение информативности и оперативности функциональной диагностики автомобилей с электрическими силовыми установками возможно на основе определения их тягово-динамических свойств при функционировании на стендах с беговыми барабанами в наиболее типовых режимах, характерных для условий эксплуатации.



2. Выявленные зависимости параметров, характеризующих тягово-динамические свойства автомобилей с электрическими силовыми установками, от параметров технического состояния их агрегатов и систем показывают, что:

– Снижение потокосцепления  $\Psi$  электродвигателя ЭСУ переднеприводного автомобиля категории М1 от 0,3 до 0,05 Вб, вызывает снижение силы тяги на ведущих колесах  $R_x$  на 72% в тяговом режиме, при скорости  $V_a = 16$  км/ч;

– Увеличение сопротивления обмоток статора электродвигателя ЭСУ переднеприводного автомобиля категории М1  $R_i$  на 0,5 Ом вызывает снижение мощности ЭСУ  $N_e$  в тяговом режиме при тяговой силе ведущих на колесах  $R_x = 2670$  Н на 58,3%;

– Повышение диссипации  $d_{тр}$  в трансмиссии переднеприводного автомобиля с ЭСУ категории М1 от 0 до 0,45 в режиме выбега с начальной скорости  $V_a = 63$  км/ч вызывает увеличение силы, затрачиваемой на вращение ведущих колес, в 4.29 раза;

– Увеличение сопротивления в цепи подключения тяговой высоковольтной батареи переднеприводного автомобиля с ЭСУ категории М1  $R_{BAT}$  от 0 Ом до 0,4 Ом приводит к снижению напряжения тяговой батареи  $U_{BAT}$  на 44% при контроле в тяговом режиме на скорости  $V_a = 5$  км/ч.

## Заключение

Разработанный на основе выявленных зависимостей параметров, характеризующих тягово-динамические свойства автомобилей с электрическими силовыми установками, от параметров технического состояния их агрегатов и систем, метод функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой осуществляется при помощи разработанных алгоритма и диагностической матрицы позволяет выполнять количественный контроль технического состояния АЭСУ, их силовых агрегатов и систем при функционировании АЭСУ на стендах с беговыми барабанами и реализуется на разработанном стендовом оборудо-

вании, конструкция которого защищена патентом на полезную модель № 199093 U1 «Гибридный универсальный полноопорный стенд для контроля технического состояния колесных транспортных средств» 13.08.2020 г.

### *Список литературы*

1. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 488 с.
2. Федотов, А. И. О тестовых режимах контроля тягово-динамических свойств колёсных транспортных средств с электрическим приводом на стендах с беговыми барабанами / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 8. – С. 16-21.
3. Расчёт параметров процесса функционирования электромобиля при контроле его тягово-динамических качеств на стенде с беговыми барабанами : № 2021612484 : заявл. 03.03.2021 : опубл. 10.03.2021 / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».
4. Чернышков, А. С. Математическое моделирование процесса функционирования электромобиля при контроле его тягово-динамических свойств на стенде с беговыми барабанами / А. С. Чернышков, О. С. Яньков // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов по материалам 80-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 25–26 января 2022 года / Под общей редакцией А.А. Солнцева. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – С. 89-97.
5. Чернышков, А. С. Математическая модель взаимодействия колеса с опорной поверхностью роликов диагностического стенда в среде «Универсальный Механизм» / О. С. Яньков, П. А. Киселев,

- М. И. Штерман // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации : Материалы 110-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 02–04 июня 2021 года. Том 2. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. – С. 119-132.
6. Яньков, О. С. Математическая модель силовой установки электромобиля / О. С. Яньков, А. С. Чернышков // Грузовик. – 2022. – № 9. – С. 15-21. – <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2022-9-15-21>
  7. Патент на полезную модель № 199093 U1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13. Гибридный универсальный полноопорный стенд для контроля технического состояния колесных транспортных средств : № 2020111732 : заявл. 23.03.2020 : опубл. 13.08.2020 / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»).
  8. Федотов, А. И. Диагностика автомобиля : учеб. для студентов вузов по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А. И. Федотов ; Иркутский государственный технический университет. – Иркутск : Иркутский государственный технический университет, 2012. – 467 с.
  9. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб БХВ – Петербург, 2022. – 576 с.
  10. Чернышков, А. С. Повышение качества контроля тягово-динамических свойств электромобилей на стендах с беговыми барабанами / А. С. Чернышков // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26–27 января 2021 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – С. 196-202.

11. Яньков, О. С. Совершенствование конструкции силоизмерительного магнитострикционного датчика тормозного стенда / О. С. Яньков, А. С. Чернышков // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация : П Всероссийская научно-практическая конференция, Чита, 30–31 октября 2018 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2018. – С. 53-59.
12. Experimental study of metrological properties of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / O. S. Yan'kov, A. S. Chernyshev, M. V. Korniyakov, A. V. Gilev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICIAE 2019, Irkutsk, 27 мая – 01 2019 года. Vol. 632. – Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012025. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012025>
13. Чернышков, А. С. Экспериментальное исследование метрологических характеристик магнитострикционных датчиков при изменении их конструктивных параметров / А. С. Чернышков, О. С. Яньков, Г. А. Безносков // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации : материалы 106-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 23–26 апреля 2019 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 514-524.
14. Патент на полезную модель № 198516 U1 Российская Федерация, МПК G01L 5/28. бесконтактный измеритель для силового тормозного роликового стенда : № 2020113148 : заявл. 26.03.2020 : опубл. 14.07.2020 / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Фритрейн».
15. О диагностике автомобильных гибридных силовых установок на стендах с беговыми барабанами / А. И. Федотов, О. С. Яньков, П. А. Киселев, Д. О. Ухватов // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 42-61. – <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61>

### *References*

1. Kramarenko G.V. Technical operation of cars: Textbook for universities - 2nd ed., revised. and additional – M.: Transport, 1983. – 488 p.
2. Fedotov, A. I. On test modes for monitoring the traction-dynamic properties of wheeled vehicles with electric drive on stands with running drums / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov // *Automotive Industry*. – 2022. – No. 8. – P. 16-21.
3. Calculation of the parameters of the process of functioning of an electric vehicle while monitoring its traction and dynamic qualities on a stand with running drums: No. 2021612484: application. 03.03.2021: publ. 03/10/2021 / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Irkutsk National Research Technical University”.
4. Chernyshkov, A. S. Mathematical modeling of the process of functioning of an electric vehicle while monitoring its traction and dynamic properties on a stand with running drums / A. S. Chernyshkov, O. S. Yankov // *Current issues of technical operation and auto service of rolling stock of road transport: Collection of scientific papers based on the materials of the 80th scientific, methodological and research conference of MADI, Moscow, January 25–26, 2022 / Under the general editorship of A.A. Solntseva*. – Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), 2022. – P. 89-97.
5. Chernyshkov, A. S. Mathematical model of interaction of a wheel with the supporting surface of the rollers of a diagnostic stand in the “Universal Mechanism” environment / O. S. Yankov, P. A. Kiselev, M. I. Sherman // *Safety of wheeled vehicles in conditions operation: Proceedings of the 110th International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, June 02–04, 2021. Volume 2*. – Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. – P. 119-132.
6. Yankov, O. S. Mathematical model of the power plant of an electric vehicle / O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov // *Truck*. – 2022. – No. 9. – P. 15-21. – <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2022-9-15-21>

7. Utility model patent No. 199093 U1 Russian Federation, IPC G01L 5/13. Hybrid universal full-support stand for monitoring the technical condition of wheeled vehicles: No. 2020111732: application. 03/23/2020: publ. 08/13/2020 / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Irkutsk National Research Technical University” (FSBEI HE “IRNTU”).
8. Fedotov, A. I. Car diagnostics: textbook. for university students in the direction of training bachelors and masters “Operation of transport and technological machines and complexes” / A. I. Fedotov; Irkutsk State Technical University. – Irkutsk: Irkutsk State Technical University, 2012. – 467 p.
9. Tarasik V.P. Theory of car motion. – 2nd ed., revised. and additional – St. Petersburg BHV – Petersburg, 2022. – 576 p.
10. Chernyshkov, A. S. Improving the quality of control of the traction and dynamic properties of electric vehicles on stands with running drums / A. S. Chernyshkov // Problems of technical operation and auto service of rolling stock of automobile transport: Collection of scientific papers dedicated to the 85th anniversary of the Department of EATiS MADI , based on materials of the 79th scientific, methodological and research conference MADI, Moscow, January 26–27, 2021. – Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), 2021. – P. 196-202.
11. Yankov, O. S. Improving the design of the force-measuring magnetostrictive sensor of the brake stand / O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov // Ground transport and technological means: design, production, operation: II All-Russian scientific and practical conference, Chita, October 30–31, 2018. – Chita: Transbaikal State University, 2018. – pp. 53-59.
12. Experimental study of metrological properties of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / O. S. Yan’kov, A. S. Chernyshkov, M. V. Korniyakov, A. V. Gilev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering , IC12AE

- 2019, Irkutsk, May 27 – 01, 2019. Vol. 632. – Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012025. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012025>
13. Chernyshkov, A. S. Experimental study of the metrological characteristics of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / A. S. Chernyshkov, O. S. Yankov, G. A. Beznosov // Safety of wheeled vehicles under operating conditions: materials 106- th International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, April 23–26, 2019. – Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2019. – P. 514-524.
14. Utility model patent No. 198516 U1 Russian Federation, IPC G01L 5/28. non-contact meter for power brake roller stand: No. 2020113148: appl. 03/26/2020: publ. 07/14/2020 / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov [etc.] ; applicant Limited Liability Company “Freetrain”.
15. On the diagnostics of automotive hybrid power plants on stands with running drums / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, P. A. Kiselev, D. O. Ukhvatov // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, No. 1. – P. 42-61. – <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61>

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Чернышков Антон Сергеевич**, аспирант

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

*ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация*

*[antonchernyshkov@gmail.com](mailto:antonchernyshkov@gmail.com)*

**Федотов Александр Иванович**, д.т.н., профессор

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

*ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация*

*[info@istu.edu](mailto:info@istu.edu)*

**Янков Олег Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент каф. автомобильного транспорта  
*Иркутский национальный исследовательский технический университет*  
*ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Anton S. Chernyshkov**, graduate student

*Irkutsk National Research Technical University*  
*83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation*  
*antonchernyshkov@gmail.com*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9128-0738>*

**Alexander I. Fedotov**, Doctor of Technical Sciences, Professor

*Irkutsk National Research Technical University*  
*83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation*  
*info@istu.edu*

**Oleg S. Yan'kov**, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor

*Irkutsk National Research Technical University*  
*83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation*

Поступила 04.07.2023

После рецензирования 25.07.2023

Принята 02.08.2023

Received 04.07.2023

Revised 25.07.2023

Accepted 02.08.2023



DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236

УДК 621.396.6.07.019.3



Научная статья | Информатика, вычислительная техника и управление

## ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ И УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*П.В. Калашиников*

**Введение.** В работе приводится описание сценарного подхода к управлению рисками при функционировании сложных технических систем в условиях неопределенности. Под сценарием понимается оптимальное управляющее воздействие на параметры системы, позволяющее минимизировать возможные затраты, связанные с реализацией соответствующего рискового события.

**Целью исследования** является разработка эффективных методов управления рисками при функционировании сложной динамической системы в условиях неопределенности на основе сценарного подхода, позволяющего реализовать оптимальное управляющее воздействие на параметры объекта в случае угрозы возникновения аварийной ситуации.

**Материалы и методы.** В статье дается описание применения метода сценариев к управлению рисками, возникающими в ходе функционирования сложной динамической системы в условиях интервальной неопределенности. Данный подход основан на применении методов интервального анализа и теории ситуационного управления.

**Научная новизна** реализуемого подхода состоит в использовании аппарата интервального анализа, позволяющего наиболее корректно учитывать имеющие место возможные погрешности,

связанные с измерением значений параметров системы и применять оптимальные управляющие воздействия необходимые для корректировки в случае выхода допустимых показателей за пределы области работоспособности.

**Обсуждение и заключение.** Разработанная в ходе выполненного исследования математическая модель управления рисками в ходе процесса функционирования сложной технической системы в условиях интервальной неопределенности на основе сценарного подхода позволяет осуществлять отбор оптимальных управляющих воздействий (сценариев), позволяющих минимизировать возможные погрешности и неточности, возникающие в связи с отклонением от расчетных номинальных значений.

**Ключевые слова:** управление рисками; интервальная неопределенность; сложная техническая система; метод сценариев

**Для цитирования.** 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. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236

Original article | Informatics, Computer Science and Management

## APPLICATION OF THE SCENARIO APPROACH TO THE ANALYSIS AND CONTROL OF RISKS IN THE OPERATION OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY

*P.V. Kalashnikov*

**Introduction.** The paper provides a description of the scenario approach to risk control in the operation of complex technical systems under conditions of uncertainty. The scenario is understood as the

*optimal control action on the system parameters, which allows minimizing the possible costs associated with the implementation of the corresponding risk event.*

**The aim of the study** is to develop effective risk management methods for the operation of a complex dynamic system under conditions of uncertainty based on a scenario approach that makes it possible to implement the optimal control action on the parameters of an object in the event of a threat of an emergency.

**Materials and methods.** The article describes the application of the scenario method to the management of risks that arise during the operation of a complex dynamic system under conditions of interval uncertainty. This approach is based on the application of methods of interval analysis and the theory of situational management.

**The scientific novelty** of the implemented approach lies in the use of the interval analysis apparatus, which makes it possible to most correctly take into account the possible errors associated with measuring the values of the system parameters and apply the optimal control actions necessary for correction in the event that the permissible indicators go beyond the operability area.

**Discussion and conclusion.** The mathematical model of risk control developed in the course of the study carried out during the process of functioning of a complex technical system under conditions of interval uncertainty based on the scenario approach allows the selection of optimal control actions (scenarios) that allow minimizing possible errors and inaccuracies that arise due to deviation from the calculated nominal values.

**Keywords:** risk management; interval uncertainty; complex technical system; scenario method

**For citation.** Kalashnikov P.V. Application of the Scenario Approach to the Analysis and Control of Risks in the Operation of Complex Dynamic Systems under Conditions of Interval Uncertainty. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 224-236. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236

## **Введение**

Функционирование сложных динамических систем в различных областях техники и экономики связано с наличием нестандартных ситуаций, аварий, отказов, а также нарушением нормальной работы отдельных организационных структур, отраслей производства, что в свою очередь причиняет ущерб народному хозяйству и населению. Основные подходы к теории риска в технических системах описаны в работах [1-6].

Управление рисками при функционировании сложных динамических систем в условиях неопределенности и неполноты информации требует комплексного системного подхода, ориентированного на учет множества возможных вариантов отклонения значений ее параметров от расчетных номинальных значений и реализации необходимого управляющего воздействия (сценария), направленного на коррекцию поведения системы.

Разработка сценариев включает в себя ряд следующих этапов:

- 1) Анализ внутренней структуры и параметров системы.
- 2) Взаимодействие системы и среды. Анализ внешних факторов, влияющих на систему.
- 3) Отбор параметров системы, на которые предполагается оказывать корректирующее управляющее воздействие в условиях неопределенности.

Разработка сценариев направлена в первую очередь на генерацию и упорядочение множества альтернатив управляющих воздействий на параметры системы, обеспечивающих ее функционирование в соответствии с заданными целями в пределах области работоспособности. Основные подходы к управлению рисками на основе сценарного подхода описаны в работах [7-13].

## **Математическая модель управления рисками на основе сценарного подхода**

В дальнейшем, если не оговорено противное под сценарием будем понимать управляющее воздействие на любое конкретное

состояние системы. Разработанные сценарии собираются в единый каталог и применяются в зависимости от степени отклонения значений параметров системы от расчетных номинальных значений в различные моменты времени.

Введем следующие основные понятия и обозначения.

Состояние управляемого объекта описывается интервальным вектором вида

$$k=(s_1, s_2, \dots, s_L), \tag{1}$$

где

$s_j$  – значение параметра состояния системы №  $j$ ;

$$\underline{s}_j \leq s_j \leq \overline{s}_j \tag{2}$$

$\underline{s}_j, \overline{s}_j$  – левый и правый конец заданного интервала;

$L$  – размерность пространства состояний для рассматриваемого управляемого объекта

Множество состояний  $Z$  управляемого объекта представляет собой кортеж интервальных векторов  $Z$  следующего вида

$$Z=(k_1, \dots, k_N), N > 0 \tag{3}$$

где

$N$  – общее количество возможных состояний

Состояние №  $n$  задается в форме интервального вектора следующего вида

$$k_n = ([\underline{s}_{n1}, \overline{s}_{n1}], [\underline{s}_{n2}, \overline{s}_{n2}], \dots, [\underline{s}_{nL}, \overline{s}_{nL}]) \tag{4}$$

где

$\underline{s}_{ni}, \overline{s}_{ni}$  – левый и правый концы соответствующих интервалов.

$i=1 \dots L$

Состояние управляемого объекта в момент времени  $t_l$  имеет вид

$$k(t_l) = (s_1(t_l), (s_2(t_l), \dots, (s_L(t_l))), l=0, 1, \dots \tag{5}$$

Состояние управляемого объекта №  $m$  в момент времени  $t_l$  имеет вид интервального вектора следующего вида

$$k_m(t_l) = ([\underline{s}_{m1}, \overline{s}_{m1}], [\underline{s}_{m2}, \overline{s}_{m2}], \dots, ([\underline{s}_{mL}, \overline{s}_{mL}]), k_m(t_l) \in Z \tag{6}$$

$\underline{s}_{mi}, \overline{s}_{mi}$  – левый и правый концы соответствующих интервалов.  $i=1 \dots L$

Вектор управляющих воздействий  $u$  имеет вид

$$u=(e_1, \dots, e_L) \quad (7)$$

Управление в момент  $t_l$  задается интервальным вектором вида

$$u(t_l)=(e_1(t_l), e_2(t_l), \dots, e_L(t_l)) \quad (8)$$

Управление №  $j$  в момент времени  $t_l$  имеет вид

$$u_j(t_l) = ([\underline{e_{j1}}(t_l), \overline{e_{j1}}(t_l)], [\underline{e_{j2}}(t_l), \overline{e_{j2}}(t_l)], \dots, [\underline{e_{jL}}(t_l), \overline{e_{jL}}(t_l)]), \quad (9)$$

$\underline{e_{ji}}(t_l)$ ,  $\overline{e_{ji}}(t_l)$  – левый и правый концы интервала значений параметра управления №  $i$  в момент времени  $t_l$

Обозначим через  $U$  – множество всех управляющих воздействий.

Данное множество имеет вид

$$U = \{u_1, \dots, u_M\} \quad (10)$$

Для любого момента времени  $t_l, l=0, 1, 2, \dots$  расстояние между двумя состояниями  $k_m(t_l) \in Z$  и  $k_n(t_l) \in Z$  ( $m \neq n$ ,  $m, n = 1, N$ ) определяется по формуле

$$\text{dist}(k_m(t_l), k_n(t_l)) = (\text{dist}(k_{m1}(t_l), k_{n1}(t_l)), \dots, \text{dist}(k_{mL}(t_l), k_{nL}(t_l))) \quad (11)$$

$\text{dist}$  – расстояние между интервалами, определяемое в соответствии с [14, 15].

Для любого момента времени  $t_l, l=0, 1, 2, \dots$  расстояние между двумя управлениями  $u_j(t_l) \in U$  и  $u_m(t_l) \in U$  ( $j \neq m$ ,  $j, m = 1, N$ ) определяется по формуле

$$\text{dist}(u_j(t_l), u_m(t_l)) = (\text{dist}(u_{j1}(t_l), u_{m1}(t_l)), \dots, \text{dist}(u_{jL}(t_l), u_{mL}(t_l))) \quad (12)$$

Процесс изменения состояния управляемого объекта описывается с помощью функции  $W$ , следующим образом

$$k(t_{l+1}) = W(k(t_l), u(t_l), t_l), \quad k(t_{l+1}) \in Z, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (13)$$

Оптимальным управлением для объекта в состоянии  $k(t_l) \in Z$  называется управление  $\hat{u}(t_l) = \hat{u}(k(t_l))$ , которое доставляет оптимум функции эффективности  $G$  следующего вида

$$G(u^*(t_l), k(t_{l-1}), t_l) \leq G(u_j(t_l), k(t_{l-1}), k(t_l), t_l), \quad \forall j = \overline{1, M} \quad (14)$$

Под сценарием понимается оптимальное управляющее воздействие  $u^*(t_l)$  для объекта находящегося в состоянии  $k(t_l)$  в момент времени  $t_l$ , применяемое на протяжении всего шага управления.

Особенность сценарного подхода к управлению рисками заключается в создании базового каталога сценариев, применяемого в зависимости от конкретного состояния объекта управления для минимизации возможного ущерба, связанного с рисками возникновения нештатных ситуаций и аварий.

### Реализация метода сценариев

Для реализации метода сценариев рассмотрим множество  $Z_0$ , содержащее  $P$  состояний из множества  $Z$ .

Множество  $Z_0$ , имеет следующий вид

$$Z_0 = (k_{01}, \dots, k_{0P}) \quad (15)$$

Вектор базового состояния  $k_{0i}$  объекта №  $i$

$$k_{0i} = ([\underline{s_{0i1}}, \overline{s_{0i1}}], [\underline{s_{0i2}}, \overline{s_{0i2}}], \dots, [\underline{s_{0iL}}, \overline{s_{0iL}}]) \quad (16)$$

где

$\underline{s_{0i1}}, \underline{s_{0i2}}, \underline{s_{0iL}}, \overline{s_{0i1}}, \overline{s_{0i2}}, \overline{s_{0iL}}$  – левый и правый концы для соответствующего интервала значений для параметров состояния рассматриваемого объекта.

$$k_{0i} \in Z, i=1 \dots P, P < N$$

Множеству  $Z_0 \in Z$  соответствует множество управлений  $U_0$ , применяемых для различных вариантов состояния рассматриваемой технической системы.

Множество  $U_0$  имеет вид

$$U_0 = \{u_{01}, u_{02}, \dots, u_{0M_0}\}, N \leq M_0 < M \quad (17)$$

Элементы данного множества имеют вид

$$u_{0i} = ([\underline{e_{0i1}}, \overline{e_{0i1}}], [\underline{e_{0i2}}, \overline{e_{0i2}}], \dots, [\underline{e_{0iL}}, \overline{e_{0iL}}]) \quad (18)$$

где

$\underline{e_{0ij}}, \overline{e_{0ij}}$  – левый и правый концы интервала изменений значений параметра управления №  $j$ .

Набор оптимальных управляющих воздействий имеет вид

$$u_0^* = (u_0^*(k_{01}), u_0^*(k_{02}), \dots, u_0^*(k_{0N})) \quad (19)$$

В зависимости от состояния объекта применяется необходимое управляющее воздействие, направленное на поддержание значений параметров объекта в пределах области работо-

способности и уменьшении риска возникновения нештатной ситуации.

Изменение состояния объекта в момент времени  $l+1$  по сравнению с предшествующим периодом задается с использованием соотношения

$$k_0(t_{l+1})=W(k_0(t_l), u_0(k_0(t_l)), t_l) \quad (20)$$

$$k_0(t_l) \in Z_0, k_0(t_{l+1}) \in Z_0, k=0, n \quad (21)$$

Применение метода сценариев для управления рисками на практике требует решения следующих задач

- 1) Формирование конечного множества базовых состояний объекта управления  $Z_0 = (k_{01}, k_{02}, \dots, k_{0P})$  путем кластеризации пространства исходных состояний. Каждый объект входит в какой-либо кластер. Состояние объекта при решении задачи управления заменяется на состояние соответствующего ему кластера.
- 2) Поиск оптимального управления для любого базового состояния  $Z_0$  из множества и формирование множества  $U_0^* = (u_0^*(k_{01}), u_0^*(k_{02}), \dots, u_0^*(k_{0N}))$ . К всем объектам кластера применяется одно и то же оптимальное управление.

### **Кластеризация пространства состояний**

Множество состояний объекта управления разбивается на ряд укрупненных формирований кластеров, каждому из которых ставится в соответствие одно базовое состояние.

Множество состояний  $Z = (k_1, k_2, \dots, k_N)$  разбивается на  $P$  подмножеств  $Z_{01}, Z_{02}, \dots, Z_{0P}$ , для которых выполнено соотношение

$$Z = \bigcup_{i=1}^P Z_{0i}, Z_{0m} \cap Z_{0n} = \emptyset, m \neq n \quad (22)$$

Любому подмножеству  $Z_{0j}$  ставится в соответствие базовое состояние  $k_{0j} = k_j, k_{0j} \in Z_{0j}$ .

Любое состояние из множества базовых состояний  $Z_0$  должно быть одним из состояний исходного множества  $Z$ . Ко всем объек-



там, входящим в кластер применяется одно и то же оптимальное управление, соответствующее этому состоянию.

### **Обсуждение и заключение**

Выбор соответствующего сценария в форме управляющего воздействия из заранее разработанного каталога позволяет минимизировать возможные риски и проблемы, связанные с нарушением нормального функционирования.

Кластеризация пространства состояний позволяет упростить задачу поиска оптимальных управляющих воздействий, сведя к минимуму потери, связанные с реализацией соответствующего рискового события.

Реализация указанного подхода позволяет реализовать эффективную модель управления рисками при функционировании сложных технических систем в условиях неопределенности путем выбора оптимального варианта сценария (управляющего воздействия на параметры системы), дающего возможность минимизировать затраты на реализацию соответствующих систем управления рисками.

### ***Список литературы***

1. Острейковский, В. А. Теория техногенного риска: математические методы и модели: моногр. / В. А. Острейковский ; Сургут. гос. ун-т ХМАО-Югр. – Сургут : КЦ СурГУ, 2013. – 320 с.
2. Острейковский, В. А. Количественная оценка риска в теории техногенной безопасности сложных динамических систем / В. А. Острейковский, // 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: Учеб. Пособ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544 с.
5. Острейковский В.А. О некоторых классах моделей риска в теории техногенной безопасности // Надежность и качество. Тр. Междунар. 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. том 12, № 3. С 22-39.
7. Маркелов, Г. Я. Метод сценариев при управлении в реальном времени. / Г. Я. Маркелов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - СПб., 2013. - № 5 (181). - с. 23-27.
8. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Моисеев. - 2-е изд. - М.: URSS, 2012. - 488 с.
9. Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. - Л.: Машиностроение, 1985. - 199 с.
10. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ : учеб. пособие / Ф. И. Перегудов, Ф. Тарасенко. - М. : Высш. шк., 1989. - 368 с. 82. Петров Ю. П. Вариационные методы теории оптимального управления / Ю. П. Петров. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергия, 1977. - 280 с
11. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. - М. : Наука, 1986. - 288 с.
12. Berkhin, P. Survey of Clustering Data Mining Techniques / P. Berkhin // Grouping Multidimensional Data: Recent Advances in Clustering / J. Kogan, C. Nicholas, M. Teboulle. - Berlin : Springer, 2006. - P. 25-71.
13. 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.
14. Kerner, B. S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory / B. S. Kerner. - Berlin: Springer, 2009. - 265 p.

15. Kerner, B. S. The Physics of Traffic. Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory / B. S. Kerner. - Berlin : Springer, 2004. - 682 p.
16. Шарый, С.П. Конечномерный интервальный анализ / С.П. Шарый. – Новосибирск.: XYZ, 2018. – 623 с.
17. Добровец, Б.С. Интервальная математика / /Б.С. Добровец. – Красноярск: Издательский центр Красноярского государственного университета, 2004. – 219 с.

### *References*

1. Ostreykovskiy V. A. *Teoriya tekhnogenogo riska: matematicheskie metody i modeli* [Theory of technogenic risk: mathematical methods and models]: monograph. Surgut: KTs Surgu, 2013. 320 p.
2. Ostreykovskiy V. A. Kolichestvennaya otsenka riska v teorii tekhnogennoy bezopasnosti slozhnykh dinamicheskikh sistem [Quantitative risk assessment in the theory of technogenic safety of complex dynamic systems]. *Itogi nauki. V.1. Selected Proceedings of the International Symposium on Fundamental and Applied Problems of Science*. M.: RAN, 2013. Part 2. P. 12-31.
3. Murav'ev I. I. Modeli otsenki faktora vremeni v teorii tekhnogenogo riska dinamicheskikh sistem [Models for assessing the time factor in the theory of technogenic risk of dynamic systems] / I. I. Muravyov, V. A. Ostreykovskiy, E. N. Shevchenko. *Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2015. Vol. 1. P. 24–27.
4. Korolev V.Yu. *Matematicheskie osnovy teorii riska* [Mathematical foundations of risk theory]: Proc. Benefit. M.: FIZMATLIT, 2007. 544 p.
5. Ostreykovskiy V.A. O nekotorykh klassakh modeley riska v teorii tekhnogennoy bezopasnosti [On some classes of risk models in the theory of technogenic safety]. *Reliability and quality. Tr. International Symposium: in 2 volumes* / ed. N.K. Yurkova. - Penza: PSU Publishing House, 2013. Vol. 1. P. 46-49.
6. Kalashnikov P.V. Matematicheskaya model' upravleniya riskami, vznikayushchimi pri funktsionirovanii slozhnykh tekhnicheskikh

- sistem otvetstvennogo naznacheniya v usloviyakh neopredelennosti informatsii o znacheniyakh parametrov i fazovom sostoyanii [Mathematical model of risk management arising from the operation of complex technical systems for responsible purposes under conditions of uncertainty of information about the values of parameters and the phase state]. *International Journal of Advanced Studies*, 2022. Volume 12, No. 3. P 22-39.
7. Markelov G. Ya. Metod stsensariiev pri upravlenii v real'nom vremeni [Scenario method for real-time control]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer science. Telecommunications. Control*. St. Petersburg, 2013. No. 5 (181). P. 23-27.
  8. Moiseev, N. N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza* [Mathematical problems of system analysis]: textbook. allowance for universities. M. : URSS, 2012. 488 p.
  9. Nikolaev V. I. *Sistemotekhnika: metody i prilozheniya* [System engineering: methods and applications] / V. I. Nikolaev, V. M. Bruk. L.: Mashinostroenie, 1985. 199 p.
  10. Peregudov F. I. *Vvedenie v sistemnyy analiz* [Introduction to system analysis] / F. I. Peregudov, F. Tarasenko. M.: Higher school, 1989. 368 p.
  11. Pospelov D. A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Situational management: theory and practice]. M.: Nauka, 1986. 288 p.
  12. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques. *Grouping Multidimensional Data: Recent Advances in Clustering* / J. Kogan, C. Nicholas, M. Teboulle. Berlin: Springer, 2006. P. 25-71.
  13. 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.
  14. Kerner B. S. *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory*. Berlin: Springer, 2009. 265 p.
  15. Kerner B. S. *The Physics of Traffic. Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory*. Berlin : Springer, 2004. 682 p.
  16. Sharyy S. P. *Konechnomernyy interval'nyy analiz* [Finite-dimensional interval analysis]. Novosibirsk: XYZ, 2018. 623 p.

17. Dobrovets B.S. *Interval'naya matematika* [Interval mathematics]. Krasnoyarsk: Publishing Center of the Krasnoyarsk State University, 2004. 219 p.

### **ДАННЫЕ 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)*  
*ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, 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*  
*5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation*  
*kalashnikovpv@iacp.dvo.ru*  
*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-5424-1635>*

Поступила 09.07.2023

После рецензирования 25.07.2023

Принята 10.08.2023

Received 09.07.2023

Revised 25.07.2023

Accepted 10.08.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-237-256  
УДК 656.225



Научная статья | Управление процессами перевозок

## МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ В ДВАДЦАТИФУТОВОМ ЭКВИВАLENTE

*М.В. Шевердова, Д.А. Полиэктов,  
Д.В. Язев, С.С. Смирнов*

**Цель:** разработать математическую модель расчета нормативного, фактического и дефицитного значений в двадцатифутовом эквиваленте (далее – ДФЭ) в заданном контейнерном поезде (далее – КП), сформулировать алгоритм расчета ДФЭ в КП.

**Методы:** использованы расчеты с помощью программной среды Excel в сегменте подсчета заполняемости состава контейнерного поезда в ДФЭ, процента заполняемости по сравнению с нормативным значением ДФЭ.

**Результаты исследования:** по результатам работы была сформулирована методика расчета ДФЭ в КП, разработана математическая модель подсчета двадцатифутового эквивалента заданного контейнерного поезда.

**Практическая значимость:** выявлено, что новым элементом в расчетах параметра контейнерного поезда стоит считать автоматический расчет значений ДФЭ (нормативного, фактического, дефицитного значений) по всему контейнерному поезду (а не на отдельном вагоне-платформе) с выводом на экран таких важных параметров как количество вагонов в составе, общее количество контейнеров, погруженных на вагоны. Выполнено поэтапное описание процессов расчета ДФЭ заданного состава КП.

*В результате исследований предложен программный продукт расчета показателей заполняемости КП.*

**Ключевые слова:** железнодорожные контейнерные перевозки; двадцатифутовый эквивалент; фитинговая платформа; расчет заполняемости контейнерного поезда; контейнерный поезд; программный продукт; алгоритмизация расчета

**Для цитирования.** Шевердова М.В., Полиэктов Д.А., Язев Д.В., Смирнов С.С. Модель расчета оптимальной заполняемости контейнерных поездов в двадцатифутовом эквиваленте // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 237-256. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-237-256

Original article | Transportation Process Management

## MODEL FOR CALCULATING THE OPTIMAL OCCUPANCY OF CONTAINER TRAINS IN TWENTY-FOOT EQUIVALENT

*M.V. Sheverdova, D.A. Poliektov,  
D.V. Yazev, S.S. Smirnov*

**Objective:** to develop a mathematical model for calculating the normative, actual and deficit values in twenty-foot equivalent (hereinafter referred to as DFE) in a given container train (hereinafter referred to as KP), to formulate an algorithm for calculating DFE in KP.

**Methods:** calculations using the Excel software environment were used in the segment of calculating the occupancy rate of a container train in the TEU, the percentage of occupancy compared to the standard value of the TEU.

**Research results:** based on the results of the work, a methodology for calculating the DFE in the KP was formulated, a mathematical model for calculating the twenty-foot equivalent of a given container train was developed.

**Practical significance:** *it has been revealed that a new element in the calculations of the container train parameter should be considered the automatic calculation of the values of DFE (normative, actual, deficit values) for the entire container train (and not on a separate platform car) with the display of such important parameters as the number of wagons in the composition, the total number of containers loaded on wagons. A step-by-step description of the processes of calculating the DFE of a given composition of KP is performed. As a result of the research, a software product for calculating KP occupancy rates is proposed.*

**Keywords:** *railway container transportation; twenty-foot equivalent; fitting platform; calculation of container train occupancy; container train; software product; algorithmization of calculation*

**For citation.** *Sheverdova M.V., Poliektov D.A., Yazev D.V., Smirnov S.S. Model for Calculating the Optimal Occupancy of Container Trains in Twenty-Foot Equivalent. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 237-256. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-237-256*

## **Введение**

По итогам 2022 в России перевозка контейнеров достигла наивысшей отметки за все прошедшие периоды и составила 6,521 млн TEU, что по отношению к прошлому году больше на 0,3%. Однако на сегодняшний день существует проблема неполной заполняемости контейнерных поездов, что является следствием нерационального планирования грузоотправителем фитинговых платформ заданных моделей под конкретный маршрут. В настоящее время на «недогруз» в составе контейнерного поезда (маршрут следования с расстоянием более 2300 км) составляют акты, согласно которым взимается штраф за неполное использование полезной площади подвижного состава. Подсчет ДФЭ, ввиду отсутствия автоматизированной подсистемы, в настоящее время осуществляется работниками вручную. Исходя из вышесказанного, требуется создание автоматизированной подсистемы расчета



двадцатифутового эквивалента на состав контейнерного поезда. Для достижения данной цели решаются нескольких задач: 1. Подсчет заполняемости одного вагона-платформы, 2. подсчет заполняемости всего контейнерного поезда в целом.

Вопросам размещения и крепления грузов, в том числе контейнеров на вагонах посвящен ряд исследований [1-3]. Правильная погрузка, верное размещение и крепление грузов согласно условий являются залогом целостности и сохранности перевозки. Постановка контейнеров на вагон, их оформление осуществляется в нескольких автоматизированных системах управления, таких как автоматизированная система АС ЭТРАН, АРМ приемодатчика контейнерной площадки (далее-АРМ ПКП). В работах [4-6] рассмотрены функционал АС ЭТРАН, перспективы развития данной системы. В исследованиях [7-10] продемонстрированы принципы цифровизации и клиентоориентированности при организации транспортного обслуживания, на которых строится и концепция данного исследования. Помимо этого в данной работе применяется методология, изложенная в исследованиях [11], которая может быть внедрена в подсистему АС ЭТРАН в части расчета загрузки контейнерных поездов. Кроме того, данная работа опирается на средства и методы, изложенные в работах по организации транспортно-складских систем [12-19], по цифровизации эксплуатационной работы железнодорожного транспорта [20] и организации мультимодальных сложных логистических систем доставки [21-23].

Надо полагать, что сформулированные в данной работе результаты станут развитием механизмов совершенствования эксплуатационной работы железных дорог, организации контейнерных перевозок и цифровизации логистического бизнеса в целом.

### **Расчет ДФЭ одного вагона-платформы заданного типоразмера**

Программа расчета ДФЭ на заданном вагоне-платформе представлена в программной среде VBA. В работе рассмотрено 2 примера расчета заполняемости платформы.

Пример 1 – вагон-платформа загружена на 100% (площадь использована полностью). Пример 2 – вагон-платформа загружена не полностью.

Пример 1. В данном случае рассмотрен расчет ДФЭ для платформы модели 13-9004 типа 60 с погруженными на ней тремя контейнерами типоразмерами 22G1 (масса контейнера  $XXXX*****$   $m_{XXXX*****} = 22050$  кг, масса контейнера  $YYYY*****$   $m_{YYYY*****} = 22780$  кг, масса контейнера  $ZZZZ*****$   $m_{ZZZZ*****} = 22985$  кг).

Этап 1: Появление сообщение с информацией «Введите тип платформы: 40, 60 или 80». Сначала пользователем вводится нужный тип платформы (40-е, 60-е или 80-е). В данном примере – платформа типа 60.

Этап 2: Появление сообщения с текстом «Введите количество контейнеров на платформе». Пользователь вводит количество контейнеров, размещенных на данной платформе. В данном примере – 3 контейнера на вагоне.

Этап 3: В зависимости от количества контейнеров на платформе последовательно возникают информационные сообщения с предложением об вводе пользователем типоразмера каждого из контейнеров и их массе.

Этап 4: итоговым результатом является появление информационного сообщения с получившимися фактическим значением ДФЭ (получившимся в результате расчетов), нормативным значением ДФЭ (зависящим от заданного типа платформы), дефицитным значением ДФЭ (получается в результате разницы между нормативным и фактическим значениями). В рассматриваемом случае при размещении получилась загрузка платформы 100% и площадь вагона-платформы используется полностью ( $dfe_{факт} = dfe_{план}$  и  $dfe_{деф} = 0$ ).

Пример 2. В качестве примера рассмотрен расчет значений ДФЭ для платформы модели 13-9004 типа 60 с погруженными на ней двумя контейнерами типоразмерами 22G1 (масса контейнера  $KKKK*****$   $m_{KKKK*****} = 23800$  кг, масса контейнера  $LLLL*****$   $m_{LLLL*****} = 24600$  кг).

Этап 1: Появление сообщение с информацией «Введите тип платформы: 40, 60 или 80». сначала вводится нужный тип платформы (40-е, 60-е или 80-е). В данном случае вводим платформу типа 60.

Этап 2: Появление сообщения с текстом «Введите количество контейнеров на платформе». Пользователь вводит количество контейнеров, расположенных на данной платформе. В качестве примера берется 2 контейнера на вагоне.

Этап 3: В зависимости от количества контейнеров на платформе последовательно возникают сообщения о типоразмере каждого из контейнеров и их массе. Ввод пользователем исходных значений

Этап 4: итоговым результатом является появление информационного сообщения с полученными фактическим значением ДФЭ (получившимся в результате расчетов), нормативным значением ДФЭ (зависящим от заданного типа платформы), дефицитным значением ДФЭ (получается в результате разницы между нормативным и фактическим значениями). В рассматриваемом случае при размещении получилась загрузка платформы 83,3% и площадь вагона-платформы используется не полностью ( $dfe_{\text{факт}} \neq dfe_{\text{план}}$  и  $dfe_{\text{деф}} = 0,5$ ).

Однако программы для расчета одного вагона-платформы недостаточно, необходим комплексный подход для расчета контейнерного поезда в целом. Для расчета заполняемости контейнерного поезда в ДФЭ предлагается программа, которая позволяет рассчитать такие данные как: нормативная вместимость состава (в ДФЭ), фактическая вместимость состава (в ДФЭ), недогруз в ДФЭ. В отличие от ранее существующей (расчет заполняемости вагона-платформы) программа позволяет рассчитать загрузку не только одной единицы подвижного состава, но и полностью состава заданного контейнерного поезда.

### **Инструкция по работе с программой по расчету заполняемости контейнерного поезда**

Программная разработка по расчёту заполняемости контейнерного поезда в двадцатифутовом эквиваленте реализована в

виде надстройки для MS Office Excel, что позволяет интегрировать продукт в приложение, которое чаще всего используется для составления.

Для удобства обращения к программе предполагается через параметры MSO Excel, вкладку надстройки, перейдя в «управление»»надстройки Excel»»перейти» добавить файл программы в используемые надстройки Excel'ем на АРМ приёмодатчика груза и багажа. Через «настройки панели быстрого доступа» с помощью функций «выбрать команды из» – «макросы» и указав программу, возможно создание иконки для быстрого запуска разработанного программного продукта.

При запуске программы пользователю будет необходимо указать файл, для которого будет вестись расчёт с помощью команды «обзор» (рис. 1).

№платформы	№контейнера	ЗПУ
94514494	SEGU5387674	H1234652
94833266	TCLU3038970	H0855452
94560240		
98105232		
91628891		3,3160852
		3,3161337
91955534		
	APHU6613285	H0520903
91785600	TGHU6298271	PЖДХ2829909
	СМАU4621870	H1265882

Рис. 1. Вывод на экран диалогового окна о запросе исходного расчетного файла

После нажатия кнопки запуска программа произведет расчёт заполняемости вагона в ДФЭ, оптимальное и дефицитное значение загрузки в ДФЭ и выведет результаты расчёта на экран (рис. 2).

Более подробно алгоритмы работы программы описаны в работе [24]. Дальнейшее развитие и применение программы возможны по направлениям, изложенным в статьях [25] и [26].

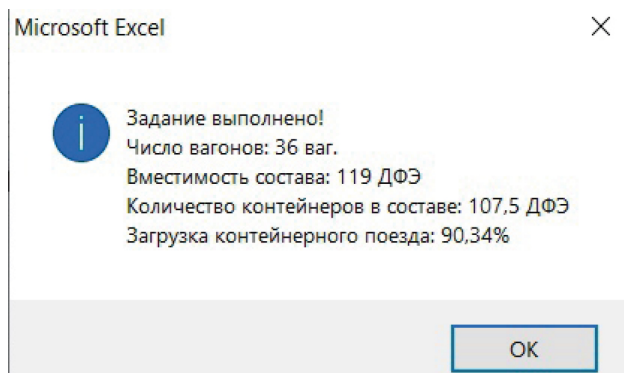


Рис. 2. Результаты расчета работы программы по заполняемости контейнерного поезда в ДФЭ

### Особенности работы с программой

Для получения верных результатов, успешной работы программы, необходимо соблюдать строгую форму внесения данных в исходную расчетную ведомость, а именно:

1. Типовая форма заполнения начальных данных должна содержать следующее: тип платформы (40-е, 60-е или 80-е фитинговые платформы), модель платформы (13-1284, 13-9781, 23-469-07 и т.д.), номер платформы, номер контейнера, ЗПУ, тип контейнера (22G1, 45G1, 40 RHC и т.д.), масса брутто контейнеров.

№п/п	Тип	Модель	№платформы	№контейнера	ЗПУ	Тип	Брутто
1							
2							

Рис. 7. Таблица для внесения исходных данных при расчете вместимости контейнерного поезда

2. Начало ведомости должно быть во всех файлах одинаковым. Расчет ведется с 4 строки, столбец А

№п/п	Тип	Модель	№платформы	№контейнера	ЗПУ	Тип	Брутто
1	80	13-9751-01	94514494	SEGU5387674	H1234652	45G1	23830
2	60	13-9004	94833266	TCLU3038970	H0855452	22G1	25700

3. Стоит исключить попадание «лишних» символов в типах вагонов и контейнеров. Программа настроена на распознавание

20-футового контейнера. При наличии лишнего символа в строке с исходным данным (например, лишняя точка), программа посчитает контейнер не за 20-футовый, а за 40-футовый.

По методике предложенной в данном исследовании на схеме (1,2) представлен алгоритм расчета двадцатифутового эквивалента состава контейнерного поезда, который автоматизирован в среде VBA:

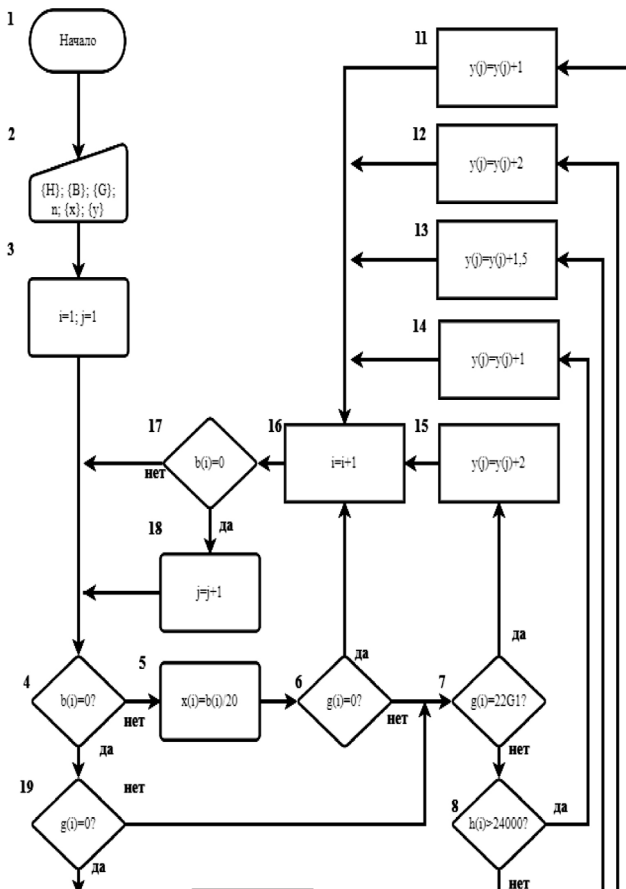


Схема 1. Алгоритм работы программы по расчету заполняемости заданного контейнерного поезда (начало)

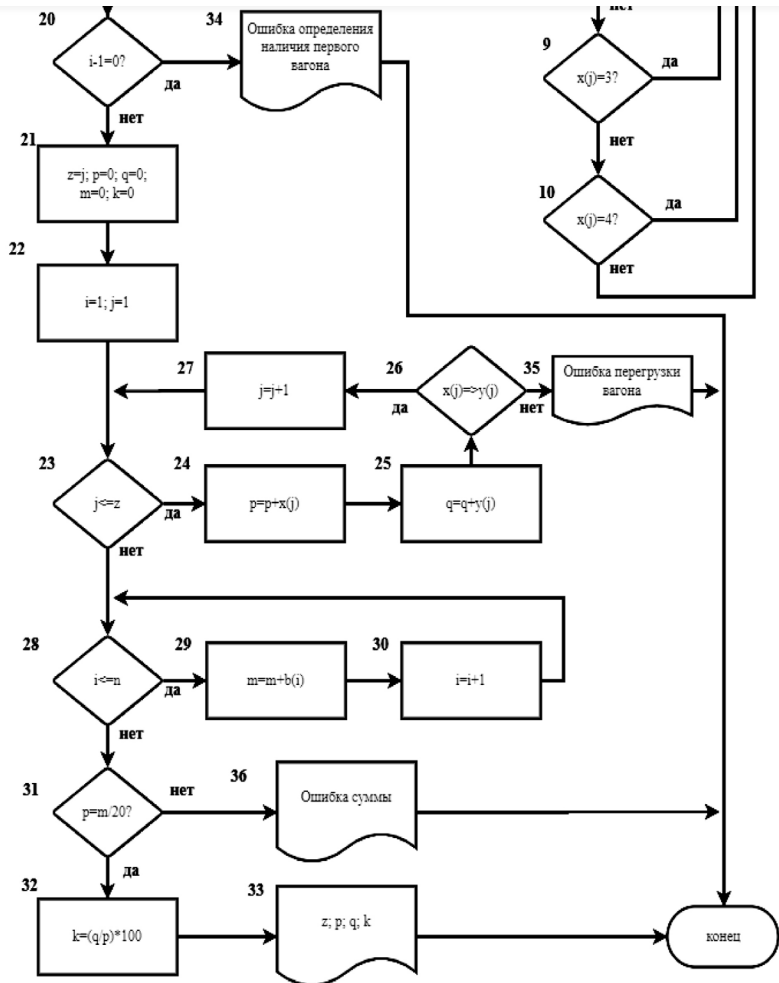


Схема 2. Алгоритм работы программы по расчету заполняемости заданного контейнерного поезда (окончание)

### Описание алгоритма работы программы по расчету заполняемости контейнерного поезда

Описание алгоритма работы программы:

1. Начало работы программы;

2. Ввод исходных данных, содержащих:
  - вектор массы контейнеров брутто  $\{H\}$ , размерности  $n$ ;
  - вектор типов вагонов  $\{B\}$ , размерности  $n$ ;
  - вектор типов контейнеров  $\{G\}$ , размерности  $n$ ;
  - количество строк  $n$  в таблице приёмосдаточной ведомости;
  - вектор вместимостей вагонов в ДФЭ  $\{x\}$ , пустой
  - вектор загрузки вагонов контейнерами  $\{y\}$ , пустой
3. Задаются переменные счётчики  $i$  и  $j$ ;
4. Проверяется наличие типа вагона. Если имеется, то переходит к действию 5, а если не имеется, проверяется наличие контейнеров в строке ведомости по действию 19;
5. Определяется вместимость  $j$ -ого вагона в ДФЭ;
6. Уточняется есть ли в этой строке ведомости контейнер;
7. Определяется тип контейнера (20 или 40 фут)
8. Определяется, не имеет ли контейнер 20 фут массу брутто более 24 тонн
9. Если условием 8 определена масса 20 футового контейнера более 24 тонн, определяется тип вагона. Если вагон г/п 60 фут, то контейнер идёт за 1,5 ДФЭ;
10. То же самое, но на вагоне г/п 80 фут один контейнер идёт за 2 ДФЭ;
- 11-15. накопление загрузки  $j$ -ого вагона
16. увеличение «счётчика» на единицу для перехода на следующую строку
17. проверяется, нужно ли перейти к следующему вагону;
18. Увеличивается «счётчик» для перехода к следующему вагону;
19. Проверяется наличие контейнера при отсутствии вагона в строке;
20. Проверка на определение первого вагона в приёмосдаточной ведомости;
21. Присвоение значений объявленным переменным:  
 $z$  – число вагонов в ведомости;



- $p$  – вместимость состава из  $Z$  вагонов в ДФЭ;
- $q$  – количество контейнеров в составе в ДФЭ;
- $m$  – переменная для проверки корректировки расчёта;
- $k$  – процент загрузки контейнерного поезда;
- 22. Присвоение значений переменным-«счётчикам»;
- 23-27. Суммирование вместимости вагонов и количества контейнеров в ДФЭ с проверкой по условию 26 на перегруз;
- 28-30. Суммирование вместимостей вагонов в футах;
- 31. Проверка на правильность расчёта вместимости контейнерного поезда;
- 32. Расчёт загрузки контейнерного поезда в %;
- 33. Вывод данных;
- 34-36. Тексты ошибок;
- 37. Конец работы программы.

### **Заключение**

В целях оптимизации процесса подсчета ДФЭ в контейнерных поездах в данном исследовании предложена математическая модель расчета двадцатифутового эквивалента в составе контейнерного поезда. В качестве примера по данной методике предложены расчеты

Рассмотрены особенности работы с предложенным программным продуктом, продемонстрирован алгоритм работы программы для заданного контейнерного поезда.

Предложенный программный продукт позволяет автоматизировать подсчеты по всему составу (в зависимости от количества вагонов, их моделей, количества контейнеров, их типоразмеров и массы брутто контейнеров) с выводом на экран соответствующих показателей, которые необходимы для составления актов общей формы на неполную загрузку контейнерных поездов приемосдатчиками груза и багажа и, как следствие, для дальнейшего составления накопительных ведомостей формы ФДУ-92 агентами системы фирменного транспортного обслуживания.

### **Благодарности**

Авторы благодарят руководство Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I за возможность публикации результатов выполненной научно-исследовательской работы. Работа выполнена в рамках гранта ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» при реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», на основании распоряжения «О проведении конкурса на соискание грантов ФГБОУ ВО «ПГУПС» от 30.08.2022 № 334/Р и протоколов заседания конкурсной комиссии ПГУПС № 1 от 11.10.2022 и № 2 от 24.10.2022, тема гранта – «Модель расчета оптимальной заполняемости контейнерных поездов в двадцатифутовом эквиваленте», проект кафедры «Управление эксплуатационной работой», научный руководитель – Бессолицын Алексей Сергеевич, руководитель – Шевердова Мария Вячеславовна.

### ***Список литературы***

1. Цифровое обеспечение и соблюдение технических условий размещения и крепления грузов - Нутович В.Е. Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 4 (77). С. 52-65.
2. Дроздова М.А., Фурсова Е.А. Цифровизация управления эксплуатационной работой на транспорте: новые вызовы и подходы // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ–2022). Сборник трудов Международной научно-практической конференции; под редакцией А. Ю. Паньчева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской. Санкт-Петербург, 2022. С. 309-314.
3. Цифровое обеспечение и соблюдение технических условий размещения и крепления грузов – Нутович В.Е. Мир транспорта. 2018. Т. 16. №4 (77). С.52-65
4. Оптимизация деятельности терминально-складского комплекса ОАО «РЖД» в условиях использования информационных и автоматизированных систем – Сеницына А.С., Ивлиева К.В. Логисти-

- ка – евразийский мост. Материалы международной практической конференции. 2016. С. 223-228
5. Информационные системы в сервисе оказания услуг при организации грузовых перевозок на железнодорожном транспорте – Эрлих Н.В., Эрлих А.В., Ефимова Т.Б., Папиrowsкая Л.И. Москва 2019
  6. Инновационные подходы к совершенствованию качества предоставления услуг клиентам железнодорожного транспорта – Перфильева П.В., Кашкарев А.С., Власова Н.В. Современные инновации в науке и технике. Сборник научных статей 12-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Отв. Редактор М.С. Разумов. Курск, 2022. с. 193-196
  7. Информационное взаимодействие АСУ грузоотправителей с АС ЭТРАН Франтасов Д.Н., Шипилова Ю.О. Наука и образование транспорту. 2016. №2. С. 94-95
  8. Цифровая логистика, революция в сфере железнодорожных перевозок – Грушина Д.А., Моторина Е.А., Кархова И.Ю. Современные проблемы управления внешнеэкономической деятельностью. Сборник статей Международной научной конференции студентов и аспирантов. Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России. 2020. С. 166-174
  9. Перспективы внедрения и развития информационных систем в транспортной логистике – Ягузинская И.Ю., Бирюков Е.О. Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. №Т35. с. 151-155
  10. Система фирменного транспортного обслуживания (СФТО) при перевозках грузов по железным дорогам России Величко В.И., Сотников Е.А., Голубев Б.Л., Москва, 2001
  11. Шевердова М.В. Математическая модель решения задачи оптимизации расчета ДФЭ в контейнерных поездах // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ–2022). Сборник трудов Международной научно-практической конференции. под редакцией А. Ю. Паньчева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской. Санкт-Петербург, 2022. С. 314-317.

12. Воскресенская Т.П., Покровская О.Д. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2010. № 3 (7). С. 74-84.
13. Pokrovskaya O. Terminalistics as the methodology of integrated assessment of transportation and warehousing systems // MATEC Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference "Polytransport Systems", PTS 2018. 2018. С. 02014.
14. Покровская О.Д., Самуйлов В.М., Неволлина А.Д. Инфраструктура международных транспортных коридоров // Инновационный транспорт. 2013. № 3 (9). С. 33-37.
15. Покровская О.Д. Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики // Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 5 (59). С. 77-86.
16. Покровская О.Д. Логистическое руководство: математические основы терминалистики, маркировка, классификация и идентификация логистических объектов железнодорожного транспорта: монография. – Казань, 2017. – 281 с.
17. Покровская О.Д. Логистическая классность железнодорожных станций // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2 (38). С. 68-76.
18. Pokrovskaya O.D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions // Sustainable economic development of regions. ed. by L. Shlossman. Vienna, 2014. С. 154-175.
19. Покровская О.Д. О терминологии объектов терминально-складской инфраструктуры// Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 1 (74). С. 152-163.
20. Дроздова М.А., Фурсова Е.А. Цифровизация отрасли железнодорожных перевозок: проблемы и успехи // III Бетанкуровский международный инженерный форум. Сборник трудов. 2021. С. 119-121.
21. Куренков П.В., Сафронова А.А., Кахриманова Д.Г., Преображенский Д.А., Баженов Ю.М., Астафьев А.В. Синхромодальность, ко-модальность, а-модальность и тримодальность - важные составляющие современной политранспортной логистики // Бюллетень ОСЖД. 2018. № 5-6. С. 37.

22. Вакуленко С.П., Куренков П.В., Элларян А.С., Астафьев А.В., Сечкарёв А.А. Конкуренция между магистралями направления «Север - Юг» // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2016. № 9-2 (24). С. 23-30.
23. Дроздова М.А., Фурсова Е.А. Цифровизация управления эксплуатационной работой на транспорте: новые вызовы и подходы // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ–2022). Сборник трудов Международной научно-практической конференции; под редакцией А. Ю. Панычева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской. Санкт-Петербург, 2022. С. 309-314.
24. Шевердова М.В., Покровская О.Д., Марченко М.А., Щербаков В.В. Модель расчета оптимальной заполняемости контейнерных поездов в двадцатифутовом эквиваленте// Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. Т. 19. № 3. С. 639-650.
25. Никифорова Г.И., Мироненкова Д.А. Цифровизация цепей поставок//Техник транспорта: образование и практика. – Том: 3. № 1. 2022. С.63-69. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.1.63-69>
26. Тасенкова Ю.В. Модернизация сети технологической связи на объектах железнодорожного транспорта с использованием технологии PON // Техник транспорта: образование и практика. Т.3.№ 4. 2022 С.417-423. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.4.417-423>

### *References*

1. Digital support and compliance with technical conditions for the placement and fastening of goods - Nutovich V.E. The World of Transport. 2018. Vol. 16. No. 4 (77). pp. 52-65.
2. Drozdova M.A., Fursova E.A. Digitalization of operational work management in transport: new challenges and approaches // Management of operational work in transport (UERT–2022). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; edited by A. Y. Panychev, T. S. Titova, O. D. Pokrovskaya. St. Petersburg, 2022. pp. 309-314.
3. Digital support and compliance with technical conditions for the placement and delivery of goods – Nutovich V.E. World of Transport. 2018. vol. 16. No.4 (77). pp.52-65

4. Optimization of the terminal and warehouse complex of JSC “Russian Railways” in the conditions of using information and automated systems - Sinitsyna A.S., Ivlieva K.V. Logistics – Eurasian Bridge. Materials of the international practical conference. 2016. pp. 223-228
5. Information systems in the service of rendering services in the organization of freight transportation by rail – Erlich N.V., Erlich A.V., Efimova T.B., Papirovskaia L.I. Moscow, 2019.
6. Innovative approaches to improving the quality of providing services to railway transport customers – Perfilieva P.V., Kashkarev A.S., Vlasova N.V. Modern innovations in science and technology. Collection of scientific articles of the 12th All-Russian Scientific and Technical Conference with International participation. Editor M.S. Razu-  
mov. Kursk, 2022. pp. 193-196
7. Informational interaction of the automated control system of shippers with the automated control system ETRAN Frantasov D.N., Shipilova Yu.O. Science and education for transport. 2016. No.2. pp. 94-95
8. Digital logistics, revolution in the field of railway transportation – Grushina D.A., Motorina E.A., Karkhova I.Yu. Modern problems of management of foreign economic activity. Collection of articles of the International Scientific Conference of Students and postgraduates. All-Russian Academy of Foreign Trade of the Ministry of Economic Development of Russia. 2020. pp. 166-174
9. Prospects for the introduction and development of information systems in transport logistics – Yaguzinskaya I.Yu., Biryukov E.O. Scientific and methodological electronic journal “Concept”. 2015. No.T35. pp. 151-155
10. The system of branded transport services (SFTO) for the transportation of goods by railways of Russia Velichko V.I., Sotnikov E.A., Golubev B.L., Moscow, 2001.
11. Sheverdova M.V. Mathematical model for solving the optimization problem of calculating the TEF in container trains// Management of operational work in transport (UERT–2022). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. edited by A. Y. Panychev, T. S. Titova, O. D. Pokrovskaya. Saint Petersburg, 2022. pp. 314-317.

12. Voskresenskaya T.P., Pokrovskaya O.D. Methodology and algorithmization of decision-making on the formation of a terminal network in the region // Bulletin of the Ural State University of Railways. 2010. No. 3 (7). pp. 74-84.
13. Pokrovskaya O. Terminalistics as the methodology of integrated assessment of transportation and warehousing systems // MATEC Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems”, PTS 2018. 2018. p. 02014.
14. Pokrovskaya O.D., Samuilov V.M., Nevolina A.D. Infrastructure of international transport corridors // Innovative Transport. 2013. No. 3 (9). pp. 33-37.
15. Pokrovskaya O.D. Classification of nodes and stations as components of transport logistics // Bulletin of transport of the Volga region. 2016. No. 5 (59). pp. 77-86.
16. Pokrovskaya O.D. Logistics management: mathematical foundations of terminalism, marking, classification and identification of logistics objects of railway transport: monograph. – Kazan, 2017. – 281 p.
17. Pokrovskaya O.D. Logistic class of railway stations // Bulletin of the Ural State University of Railways. 2018. No. 2 (38). pp. 68-76.
18. Pokrovskaya O.D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions // Sustainable economic development of regions. ed. by L. Shlossman. Vienna, 2014. pp. 154-175.
19. Pokrovskaya O.D. On the terminology of terminal and warehouse infrastructure facilities// The world of transport. 2018. Vol. 16. No. 1 (74). pp. 152-163.
20. Drozdova M.A., Fursova E.A. Digitalization of the railway transportation industry: problems and successes // In the collection: III Betancourt International Engineering Forum. Collection of works. 2021. pp. 119-121.
21. Kurenkov P.V., Safronova A.A., Kakhrimanova D.G., Preobrazhensky D.A., Bazhenov Yu.M., Astafyev A.V. Sychromodality, co-modality, a-modality and trimodality - important components of modern polytransport logistics // Bulletin of OSZhD. 2018. № 5-6. p. 37.
22. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Ellaryan A.S., Astafyev A.V., Sechkarev A.A. Competition between highways of the direction “North

- South” // Competitiveness in the global world: economics, science, technology. 2016. No. 9-2 (24). pp. 23-30.
23. Drozdova M.A., Fursova E.A. Digitalization of operational work management in transport: new challenges and approaches // Management of operational work in transport (UERT–2022). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; edited by A. Y. Panychev, T. S. Titova, O. D. Pokrovskaya. St. Petersburg, 2022. pp. 309-314.
24. Sheverdova M.V., Pokrovskaya O.D., Marchenko M.A., Shcherbakov V.V. Model for calculating the optimal occupancy of container trains in twenty-foot equivalent// News of the St. Petersburg University of Railway Transport. 2022. Vol. 19. No. 3. pp. 639-650.
25. Nikiforova G.I., Mironenkova D.A. Digitalization of supply chains// Transport technician: education and practice. – Volume: 3. No. 1. 2022. pp.63-69. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.1.63-69>
26. Tasenkova Yu.V. Modernization of the technological communication network at railway transport facilities using PON technology // Transport technician: education and practice. Vol.3. No. 4. 2022 P.417-423. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.4.417-423>

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Шевердова Мария Вячеславовна**, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой»

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

*Московский пр-т, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

*[insight1986@inbox.ru](mailto:insight1986@inbox.ru)*

**Полиэктов Дмитрий Александрович**, обучающийся

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

*Московский пр-т, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*



**Язев Денис Викторович**, обучающийся

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Московский пр-т, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

**Смирнов Сергей Сергеевич**, обучающийся

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Московский пр-т, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Maria V. Sheverdova**, Postgraduate Student of the Department of Operational Work Management

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation  
insight1986@inbox.ru*

**Dmitry A. Poliektov**, student

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

**Denis V. Yazev**, student

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

**Sergey S. Smirnov**, student

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

Поступила 09.06.2023

После рецензирования 25.06.2023

Принята 02.07.2023

Received 09.06.2023

Revised 25.06.2023

Accepted 02.07.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-257-269

УДК 004.623



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ КЛИЕНТСКОЙ БАЗЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ОБНОВЛЕНИЯ СРЕДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ

*М.Р. Хамидуллин, Г.А. Гареева,  
В.А. Петроченко, Ю.М. Филатов, Д.М. Абдуллин*

*Разработка программных продуктов для автоматизации процессов становится все более востребованной. Одним из основных направлений является создание программного обеспечения для автоматизации подготовки клиентской базы к формированию обновления среды выполнения, что позволяет бизнесу существенно упростить и оптимизировать этот процесс.*

**Цель** – описать разработку программы на языке C# с использованием MS Visual Studio 2019 для автоматизации записи данных в MySQL базу и добавления их на HTML-страницу, включая получение данных от пользователя и создание удобного и интуитивно понятного интерфейса.

**Метод или методология проведения работы:** описание разработки программы на языке C# с использованием MS Visual Studio 2019 для автоматизации записи данных в MySQL базу и добавления их на HTML-страницу с удобным интерфейсом.

**Результаты:** была разработана программа с UI интерфейсом для автоматизации подготовки клиентской базы к формированию обновления.

**Область применения результатов:** программирование, автоматизация записи данных в MySQL базу и добавление на HTML-страницу.

**Ключевые слова:** фраза; перевод; выгрузка; UI; интерфейс; разработка

**Для цитирования.** Хамидуллин М.Р., Гареева Г.А., Петроченко В.А., Филатов Ю.М., Абдуллин Д.М. Разработка программного обеспечения для автоматизации подготовки клиентской базы к формированию обновления среды выполнения // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 257-269. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-257-269

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO AUTOMATE THE PREPARATION OF THE CLIENT BASE FOR THE FORMATION OF THE EXECUTION ENVIRONMENT UPDATE

**M.R. Khamidullin, G.A. Gareeva,  
V.A. Petrochenko, Y.M. Filatov, D.M. Abdullin**

*The development of software products for process automation is becoming more and more in demand. One of the main directions is the creation of software to automate the preparation of the client base to form the execution environment update, which allows the business to significantly simplify and optimize this process.*

**Purpose:** describe the development of a program in C# using MS Visual Studio 2019 to automate writing data to a MySQL database and adding them to an HTML page, including receiving data from the user and creating a convenient and intuitive interface.

**Method and methodology of the work:** description of the development of a program in C# using MS Visual Studio 2019 to automate writing data to a MySQL database and adding them to an HTML page with a user-friendly interface.

**Results:** program with a UI interface has been developed to automate the preparation of the client base for the formation of an update.

**Scope of the results:** programming, automation of writing data to a MySQL database and adding it to an HTML page.

**Keywords:** phrase; translation; upload; UI; interface; development

For citation. Khamidullin M.R., Gareeva G.A., Petrochenko V.A., Filatov Y.M., Abdullin D.M. Development of Software to Automate the Preparation of the Client Base for the Formation of the Execution Environment Update. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 257-269. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-257-269

## **Введение**

Современный рынок требует от компаний быстрой и эффективной подготовки клиентской базы к формированию обновления. Однако этот процесс может быть многошаговым и трудоемким. Для облегчения этой задачи разработка программного обеспечения для автоматизации подготовки клиентской базы к формированию обновления становится все более актуальной. В данной статье мы рассмотрим примеры такого программного обеспечения и оценим его преимущества в процессе работы с клиентами.

## **Материалы и методы**

Для разработки будет использоваться MS Visual Studio 2019 и язык программирования C#. Основная задача программы автоматизировать запись данных в MySQL базу и добавить на HTML-страницу. Предварительно необходимо получить данные от пользователя:

- основной идентификатор фразы;
- текст на английском и русском языке, который описывает перечень изменений в клиентской базе;
- версия будущего патча.

MySQL – свободная реляционная система управления базами данных. Разработку и поддержку MySQL осуществляет корпорация Oracle, получившая права на торговую марку вместе с поглощённой Sun Microsystems, которая ранее приобрела швед-

скую компанию MySQL AB. Продукт распространяется как под GNU General Public License, так и под собственной коммерческой лицензией. Помимо этого, разработчики создают функциональность по заказу лицензионных пользователей. Именно благодаря такому заказу почти в самых ранних версиях появился механизм репликации.

HTML (от англ. HyperText Markup Language – «язык гипертекстовой разметки») – стандартизированный язык разметки документов для просмотра веб-страниц в браузере. Веб-браузеры получают HTML документ от сервера по протоколам HTTP/HTTPS или открывают с локального диска, далее интерпретируют код в интерфейс, который будет отображаться на экране монитора.

Элементы HTML являются строительными блоками HTML страниц. С помощью HTML разные конструкции, изображения и другие объекты, такие как интерактивные веб-формы могут быть встроены в отображаемую страницу. HTML предоставляет средства для создания заголовков, абзацев, списков, ссылок, цитат и других элементов. Элементы HTML выделяются тегами, записанными с использованием угловых скобок. Такие теги, как `<img />` и `<input />`, напрямую вводят контент на страницу. Другие теги, такие как `<p>`, окружают и оформляют текст внутри себя и могут включать другие теги в качестве подэлементов. Браузеры не отображают HTML-теги, но используют их для интерпретации содержимого страницы.

Интерфейс должен быть разработан менее затруднительным способом и более интуитивно понятным для пользователя. Для гибкости использования будет использоваться форма настроек подключения к базе данных, тем самым, в будущем заменить их не затруднит пользователям. Также интерфейс включает в кнопки для запуска основного процесса подготовки клиентской базы, нажатием кнопки «Add log», и возможность ознакомления с предыдущими изменениями по нажатию «Open Full Story». Расположение элементов следует сделать удобным и видимым (рис. 1).

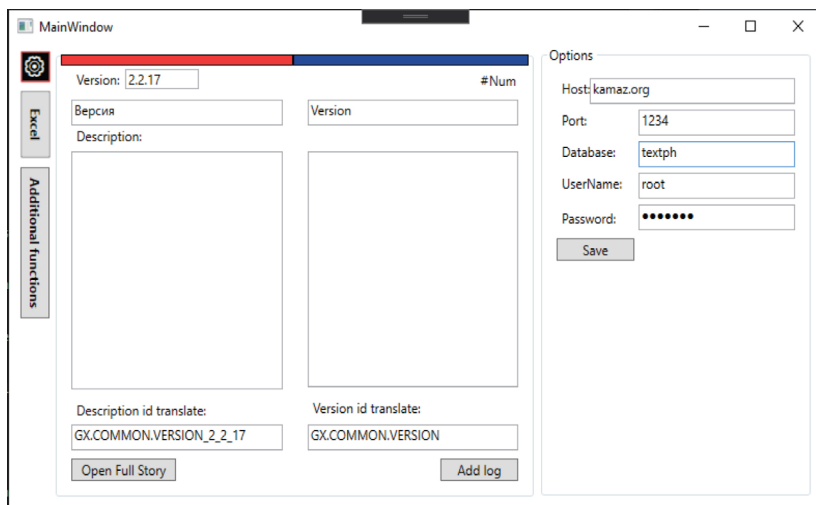


Рис. 1. Интерфейс для программы

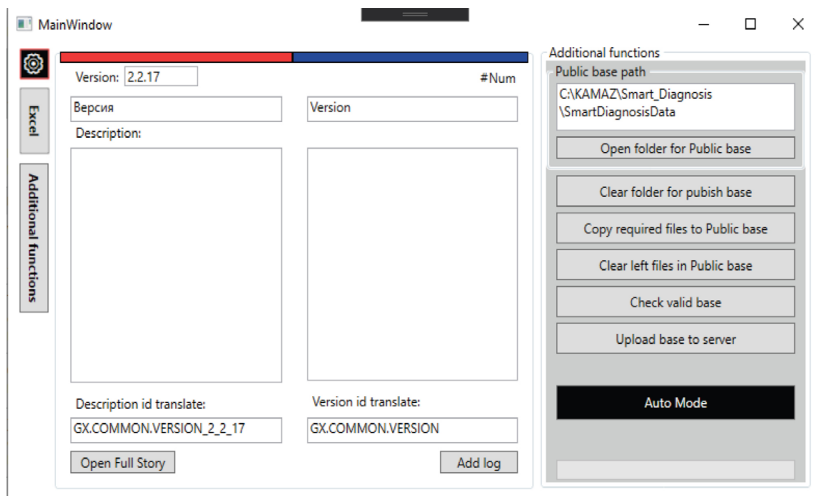
Для работы с MySQL базой используется класс с подготовленными свойствами для настройки коммуникации. Все обработки данных и дополнительные обращения к базе, реализуются по соседству методах с необходимым модификатором доступа и аргументами. Процесс выполнения всей процедуры должен составлять сбор данных с интерфейса пользователя, проверять наличие или дубликатов уже присутствующих в базе, получать идентификатор фразы и сохранять фразу с его возможными переводами.

Аналогично следует реализовать и класс для работы с HTML страницей и всевозможными обработками. Из функции данного класса, является лишь записать новый блок в HTML страницу и актуализировать номер версии базы клиента.

Для сокращения времени процесса подготовки клиентской базы к формированию обновления, следует ввести дополнительные функциональные процедуры. Основная идея их заключается в исключении рутинных действий для разработчика. Функционал должен включать в себя:

- подготовку пустой папки для базы;
- копирование доступных документов, которые нет необходимости шифровать от клиента;
- удаление и очистка параметров и файлов разработчика;
- проверка файлов на наличие и ошибки, опираясь на базу разработчика;
- загрузка подготовленной базы на сервер для запуска обновлений для клиентов;
- процедура с алгоритмом выполнения вышеупомянутых действий и инструкцией выполнения для пользователя.

Следующим этапом является доработка интерфейса. Необходимо реализовать панель с процедурами и добавить в главное окно приложения как на рисунке 2.



**Рис. 2.** Интерфейс программы с дополнительным функционалом

После разработать класс с методами для каждой из функций (рис. 3). У всех методов будет использоваться выходной параметр типа String для получения ошибки. В случае, если параметр пустой, следовательно, метод отработал успешно.

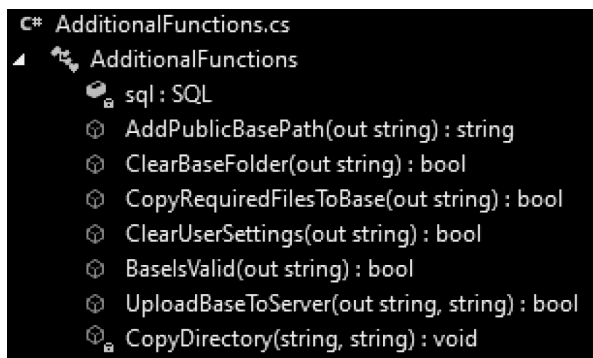


Рис. 3. Структура класса

## Результаты

В результате разработки программного обеспечения для автоматизации подготовки клиентской базы к формированию обновления среды выполнения компания получит полезный инструмент, который значительно сократит время и уменьшит трудозатраты на процесс подготовки данных для обновления. Продуктом на выходе будет программа, созданная с использованием MS Visual Studio 2019 и языка C#, которая автоматически соберет необходимые данные из базы данных, преобразует их в необходимый формат и добавит на HTML-страницы. Она позволит сфокусироваться на более важных задачах, связанных с обновлением, в то время как процесс записи данных будет производиться автоматически. Результатом внедрения такого программного обеспечения будет увеличение производительности, снижение ошибок в процессе подготовки данных и сокращение времени на обработку клиентской базы, что в конечном итоге увеличит удовлетворенность клиентов.

## Выводы

Таким образом, для разработки программы автоматизации записи данных в MySQL базу и добавления их на HTML-страницу



использовался MS Visual Studio 2019 и язык программирования C#. Для работы с MySQL базой и HTML страницей использовались отдельные классы. Интерфейс программы включает в себя кнопки для запуска основного процесса подготовки клиентской базы, возможность ознакомления с предыдущими изменениями и настройки подключения к базе данных. Для упрощения процесса подготовки клиентской базы были введены дополнительные функциональные процедуры. Доработка интерфейса заключается в реализации панели с процедурами и добавлении ее в главное окно приложения.

### *Список литературы*

1. Ахметов Л.М. Разработка системы анализа влажности и температуры в помещении на базе микроконтроллера // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IV международной научной конференции. 22-23 апреля 2021 г. Часть 1: материалы конференции. – Волгоград: ООО «Конверт», - 2021. – 248 с.
2. Ахметов Л.М., Биков Д.И., Хамидуллин М.Р. Разработка системы для анализа и разгрузки дорожного трафика с применением искусственного интеллекта // International Journal of Advanced Studies, 2021, 11(1), С. 87-98.
3. Биков Д.И., Насибулин Р.О., Гареева Г.А. Потенциал и перспективы использования технологии интернет вещей // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей международной научной конференции. 30-31 января 2021 г. - Казань: ООО «Конверт», - 2021. – С. 188-189.
4. Бич, Мартин Микроконтроллеры семейства XC166. Вводный курс разработчика / Мартин Бич, Дэвид Гринхилл. - М.: ДМК Пресс, Додэка XXI, 2016. - 200 с.
5. Кечиев Л. Н. IBIS-модели и их применение в задачах ЭМС / Л.Н. Кечиев. - М.: Грифон, 2016. - 638 с.
6. Крапивин Р.Р., Гареева Г.А. Получение доступа к данным путем авторизации в аккаунт с помощью библиотеки Requests в языке

Python // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IV международной научной конференции. 22-23 апреля 2021 г. Часть 1. - Волгоград: ООО «Конверт», - 2021. – С. 206-208.

7. Правоткин И.А. Настройка и запуск программ на Python на удалённом хостинге // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности сборник научных статей по итогам двенадцатой международной научной конференции. Казань, 2020 Издательство: ООО «Конверт». – С. 78-80.
8. Тугов В.В. Проектирование автоматизированных систем управления: учебное пособие / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Н.С. Шаров Санкт-Петербург: Лань, 2019. 172 с.
9. Khamidullin M.R., Mardanshin R.G., Prozorov A.V., Karimov R.I. The Introduction of QR-Codes in Production Processes // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019, Special Issue on Environment, Management and Economy. pp. 1097-1100.
10. David Love. Tkinter GUI Programming by Example. – Packt Publishing, 2018. - 340 p.

### *References*

1. Akhmetov L.M. Razrabotka sistemy analiza vlazhnosti i temperatury v pomeshchenii na baze mikrokontrollera // Innovatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statei IV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 22-23 aprelya 2021 g. Chast' 1.: materialy konferentsii. – Volgograd: ООО «Конверт», - 2021. – 248 p.
2. Akhmetov L.M., Bikov D.I., Khamidullin M.R. Razrabotka sistemy dlya analiza i razgruzki dorozhnogo trafika s primeneniem iskusstvennogo intellekta. International Journal of Advanced Studies, 2021. - 11(1), pp. 87-98.
3. Bikov D.I., Nasibulin R.O., Gareeva G.A. Potentsial i perspektivy ispol'zovaniya tekhnologii internet veshchei // Prioritetnye napravleniya innovatsionnoi deyatelnosti v promyshlennosti: sbornik nauchnykh

- statei mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 30-31 yanvarya 2021 g. - Kazan': OOO «Konvert», - 2021. – pp.188-189.
4. Bich, Martin Mikrokontrollery semeistva XC166. Vvodnyi kurs razrabotchika / Martin Bich, Devid Grinkhill. - M.: DMK Press, Dodeka XXI, 2016. - 200 p.
  5. Kechiev, L. N. IBIS-modeli i ikh primeneniye v zadachakh EMS / L.N. Kechiev. - M.: Grifon, 2016. - 638 p.
  6. Krapivin R.R., Gareeva G.A. Poluchenie dostupa k dannym putem avtorizatsii v akkaunt s pomoshch'yu biblioteki Requests v yazyke Python // Innovatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statei IV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 22-23 aprelya 2021 g. Chast' 1. - Volgograd: OOO «Konvert», - 2021. – pp. 206-208.
  7. Pravotkin I.A. Nastroyka i zapusk programm na Python na udalennom khostinge // Prioritetnye napravleniya innovatsionnoi deyatel'nosti v promyshlennosti sbornik nauchnykh statei po itogam dvenadtsatoi mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. Kazan', 2020 Izdatel'stvo: OOO «Konvert» 78-80 p.
  8. Tugov V.V. Proektirovaniye avtomatizirovannykh sistem upravleniya : uchebnoye posobie / V.V. Tugov, A.I. Sergeev, N.S. Sha-rov. Sankt-Peterburg: Lan', 2019. 172 p.
  9. Khamidullin M.R., Mardanshin R.G., Prozorov A.V., Karimov R.I. The Introduction of QR-Codes in Production Processes // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019, Special Issue on Environment, Management and Economy. pp. 1097-1100.
  10. David Love. Tkinter GUI Programming by Example. – Packt Publishing, 2018. – 340 p.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

**Филатов Ю.М.:** разработка программного обеспечения, обработка результатов исследований.

**Гареева Г.А.:** формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, формирование общих выводов.

**Абдуллин Д.М.:** проведение сбора данных, подготовка начального варианта статьи.

**Петроченко В.А.:** анализ и интерпретация полученных данных, литературный анализ.

**Хамидуллин М.Р.:** научное редактирование текста статьи и окончательное утверждение версии для публикации.

#### **AUTHORS CONTRIBUTION**

**Filatov Y.M.:** Development of software, processing of research results.

**Gareeva G.A.:** formulation of the main directions of research, development of theoretical assumptions, formation of general conclusions.

**Abdullin D.M.:** carrying out data collection, preparation of the initial version of the article.

**Petrochenko V.A.:** analysis and interpretation of the obtained data, literary analysis.

**Khamidullin M.R.:** scientific editing of the text of the article and final approval of the version for publication.

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Хамидуллин Марат Раисович**, доцент, кандидат экономических наук

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*

*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*

*Российская Федерация*

*наука\_prom@mail.ru*

**Гареева Гульнара Альбертовна**, заведующий кафедрой информационных систем, кандидат педагогических наук, доцент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*

*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*

*Российская Федерация*

*gagareeva1977@mail.ru*

**Петроченко Владимир Анатольевич**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*  
*Российская Федерация*  
*stalker9898.98@mail.ru*

**Филатов Юрий Михайлович**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*  
*Российская Федерация*  
*uraura111222@gmail.com*

**Абдуллин Даниль Мансурович**, студент

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ*  
*ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,*  
*Российская Федерация*  
*danil123348@yandex.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Marat R. Khamidullin**, PhD in Economics

*Kazan National Research Technical University named after*  
*A.N. Tupolev-KAI*  
*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Rus-*  
*sian Federation*  
*nayka\_prom@mail.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3326-0955>*

**Gulnara A. Gareeva**, Head of the Department of Information Systems, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor  
*Kazan National Research Technical University named after*  
*A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*gagareeva1977@mail.ru*

*Scopus Author ID: 36801593200*

*ResearcherID: M-1728-2015*

*SPIN-code: 3279-8465*

**Vladimir A. Petrochenko**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*stalker9898.98@mail.ru*

**Yuri M. Filatov**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*uraura111222@gmail.com*

**Danil M. Abdullin**, student

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI*

*1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation*

*danil123348@yandex.ru*

Поступила 17.05.2023

После рецензирования 05.06.2023

Принята 10.06.2023

Received 17.05.2023

Revised 05.06.2023

Accepted 10.06.2023

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-270-285  
УДК 656.2



Научная статья | Логистические транспортные системы

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ УСЛУГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Г.И. Никифорова, Д.А. Полиэктов*

*Статья представляет собой исследование жизненного цикла услуги железнодорожного транспорта при перевозке грузов. Описаны особенности услуги как вида товара. Построена параметрическая модель жизненного цикла предоставления услуги железнодорожным транспортом от момента погрузки грузов в вагоны на станции отправления до момента выгрузки на станции назначения. Проводится сопоставление жизненного цикла предоставления услуги и оборота вагона. Анализируются другие эксплуатационные показатели, особенности их расчета и взаимосвязь. Предлагается минимизация жизненного цикла предоставления услуги за счет цифровизации нормирования эксплуатационных показателей. Представлен алгоритм расчета с использованием цифровых методов, приведены элементы интерфейса программы для расчета и нормирования эксплуатационных показателей. Жизненный цикл предоставления услуги сравним с оборотом вагона, но не учитывает порожний пробег вагона. Минимизация жизненного цикла продукции является важной задачей, т.к. позволит сократить расходы, повысить конкурентоспособность и привлекательность железнодорожного транспорта для грузовладельцев. Цифровизация процесса расчета и нормирования эксплуатационных показателей может решить эту задачу.*

**Цель** – применение периода жизненного цикла продукции к услуге железнодорожного транспорта при перевозке грузов с по-

следующим поиском возможностей повышения качества оказываемых услуг.

**Метод или методология проведения работы.** В статье использовались анализ предоставления перевозочной услуги с позиции управления качеством, моделирование, а также создание алгоритма и программы для цифровизации ряда операций.

**Результаты.** Услуга по перевозке груза дифференцирована на этапы периода жизненного цикла, представлена параметрическая модель. Намечены пути минимизации жизненного цикла, что позволит сократить расходы, повысить конкурентоспособность и привлекательность железнодорожного транспорта для грузовладельцев. Цифровизация этапа расчета и нормирования эксплуатационных показателей может решить эту задачу.

**Область применения результатов.** Полученные результаты целесообразно применять в системе железнодорожных перевозок, в работе операторских и транспортно-логистических компаний, при управлении вагонным парком.

**Ключевые слова:** жизненный цикл; предоставление услуги; эксплуатационные показатели; цифровизация

**Для цитирования.** Никифорова Г.И., Полиэктвов Д.А. Исследование жизненного цикла железнодорожной транспортной услуги с использованием цифровых методов в логистических системах // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 270-285. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-270-285

Original article | Logistic Transport Systems

## STUDY OF THE LIFE CYCLE OF RAILWAY TRANSPORT SERVICES USING DIGITAL METHODS IN LOGISTICS SYSTEMS

**G.Is. Nikiforova, D.A. Poliektov**

*The article is devoted to the study of the life cycle of railway transport services in freight transportation. The features of the service are*



*describe as a type of product. A parametric model of the life cycle of providing services by rail is construct from the moment of loading goods into wagons at the departure station to the moment of unloading at the destination station. There are the comparison of the service life cycle and the turnover of the car. Other operational indicators, features of their calculation and interrelation are also analyze. It is propose to minimize the service life cycle by digitalizing the rationing of operational indicators. It is present the calculation algorithm using by digital methods. The elements of the program interface for calculating and rationing operational indicators are given. The life cycle of the service is comparable to the turnover of the car, but does not take into account the empty mileage of the car. Minimizing the life cycle of products is an important aim, because it will reduce costs, increase the competitiveness and attractiveness of rail transport for cargo owners. Digitalization of the process of calculating and rationing operational indicators can solve this problem.*

**Purpose.** *The purpose is to apply the product life cycle period to the railway transport service during freight transportation with the subsequent search for opportunities to improve the quality of services provided.*

**Methodology.** *The article used the analysis of the provision of transportation services from the standpoint of quality management, modeling, as well as the creation of an algorithm and a program for digitalization of a number of operations.*

**Results.** *The cargo transportation service is differentiate into stages of the life cycle period. It is present a parametric model. They are outline the ways of minimizing the life cycle, which will reduce costs, increase the competitiveness and attractiveness of railway transport for cargo owners. Digitalization of the stage of calculation and rationing of operational indicators can solve this problem*

**Practical implications.** *It is advisable to apply the results obtained in the railway transportation system, in the work of operators and transport and logistics companies, in the management of the car fleet.*

**Keywords:** *service life cycle; provision of service; operational indicators; digitalization*

**For citation.** *Nikiforova G.Is., Poliektov D.A. Study of the Life Cycle of Railway Transport Services using Digital Methods in Logistics Systems. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 270-285. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-270-285*

Открытое акционерное общество «РЖД» является одной из крупнейших транспортных компаний мира. Холдинг осуществляет транспортное обслуживание клиентов как в части пассажирских, так и грузовых перевозок и является владельцем железнодорожной инфраструктуры общего пользования, что говорит о необходимости точного управления, регулирования, нормирования перевозочного процесса и повышения качества транспортных услуг. Российские железные дороги активно изучают и разрабатывают, внедряют и применяют передовые цифровые технологии [1-3, 5, 11]. Примером использования современных методов является цифровая станция, проект предполагает автоматизацию процессов управления перевозками на основе цифровой модели реальной станции. «Виртуальная сцепка» позволяет увеличить пропускную способность участков сети, путём сокращения межпоездных интервалов, за счёт управления пакетом поездов (до пяти) одной локомотивной бригадой из кабины первого поезда. Увеличить прозрачность совершаемых операций и обеспечить информирование сторон договора о перевозке позволяет применение смарт-контрактов [6]. Повысить качество подготовки персонала позволяет применение технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR). Для удобства пользователей пассажирского комплекса «РЖД» активно внедряются система «Умный вокзал» [3]. А сократить количество ошибок операторов и увеличить скорость обработки и передачи данных перевозочных документов помогает применение электронного документооборота. Необходимо также учитывать активный рост перевозок по

международным транспортным коридорам «Север - Юг» и «Запад - Восток» [7, 9, 10, 12, 13].

Обеспечение эксплуатационной работы железнодорожного транспорта заключается во взаимодействии всех служб и следовании их как должностным инструкциям, так и планам работы. Важнейшим звеном в организации перевозочного процесса на железных дорогах является управление движением, которое предусматривает осуществление комплекса организационных мероприятий, направленных на выполнение плана перевозок и эффективное использование подвижного состава, материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Мировой и отечественный опыт управления успешными компаниями показывает целесообразность внедрения и использования методов системы управления качеством [4, 8, 15]. Сфера транспортных услуг не является исключением. Широкий набор инструментов системы управления качеством может быть применим и в эксплуатационной работе железнодорожного транспорта. Основными задачами управления движением являются: обеспечение плана перевозок; правильное распределение вагонного парка по дорогам и районам управления; рациональное размещение и использование локомотивного парка; установление длин участков обращения локомотивов и участков работы локомотивных бригад; выполнение основных показателей работы железнодорожных подразделений. Необходимо также учитывать активное перераспределение импортных и экспортных грузопотоков [13, 14].

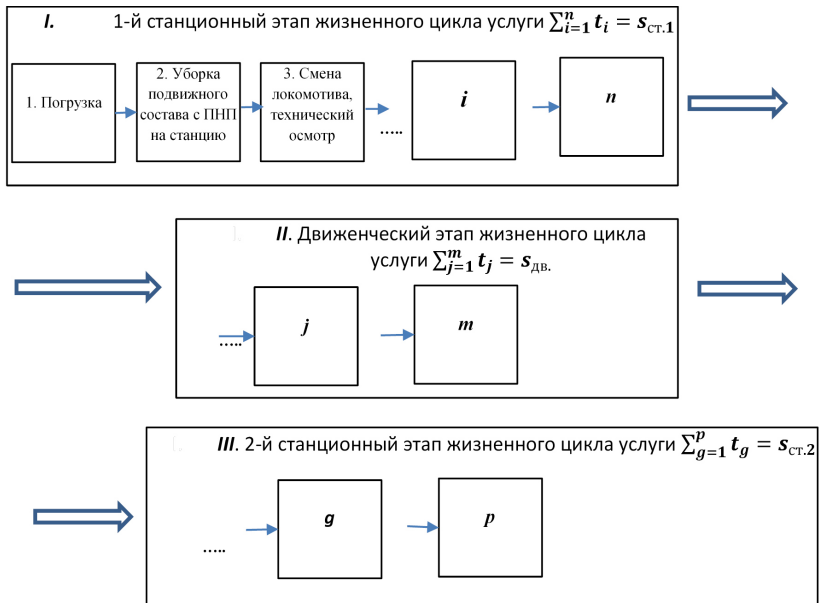
Системный подход к управлению качеством обладает рядом преимуществ и включает в себя следующие аспекты:

- технический;
- процессный;
- организационный;
- кадровый;
- информационный;
- инновационный (научный);
- взаимодействия с внешней средой.

В рамках системного подхода к работе предприятия целесообразно рассмотреть жизненный цикл продукции [4]. Для ОАО «РЖД» такой продукцией будет транспортная услуга. Известно, что услуга обладает рядом особенных свойств. Услуга нематериальна, она не отделима от процесса производства, услуги нельзя накапливать и проч. Весь жизненный цикл продукции можно разделить на этапы, каждый из которых выполняется с заданной целью, и множество целей соответствуют конечной цели предприятия. Упрощенный жизненный цикл продукции (услуги) для железнодорожного транспорта можно представить в виде параметрической модели (рис. 1). Необходимо определить начальный и конечный этапы жизненного цикла услуги: в данном исследовании примем, что началом предоставления услуги является погрузка, а окончанием – выгрузка. Следует отметить, что жизненный цикл услуги не совпадает с основным эксплуатационным показателем – оборотом вагона, который учитывает дополнительно пробег вагона в порожнем состоянии. Однако и оборот вагона и жизненный цикл железнодорожной транспортной услуги следует минимизировать, т.е. сократить длительность или ускорить операции. Цифровизация и автоматизация ряда операций могут эффективно послужить поставленной цели, и решить ряд практических задач.

Для реализации услуги перевозки груза, представленной в виде параметрической модели жизненного цикла, разрабатываются технические нормы работы парка грузовых вагонов. Базой для технического нормирования является план перевозок грузов, который устанавливает на предстоящий месяц объем погрузки и направление следования груженых вагонов, размеры выгрузки, передачи вагонов по стыковым пунктам дорог и районов управления.

Для решения вопроса нормирования эксплуатационной работы показатели по их характеру дифференцируют на следующие категории:



**Рис. 1.** Параметрическая модель жизненного цикла услуги на железнодорожном транспорте

Количественные показатели – определяют объём планируемой или выполненной работы. Например, погрузка, выгрузка, пробеги вагонов. Качественные показатели – устанавливают требования к качеству организации перевозок и использования технических средств железнодорожного транспорта. Например, оборот вагона, участковая и техническая скорости, коэффициент порожнего пробега. Расчётные показатели – помогают рассчитать количественные. К ним принято относить вагонное плечо, коэффициент местной работы, количество станций, проходимое вагоном за время оборота. К показателям обеспечения перевозочной работы относят: рабочий парк вагонов в целом и по категориям, эксплуатируемый парк локомотивов по видам тяги.

Определение множества показателей по различными категориям оцениваемых параметров по аналитическим зависимостям

может быть трудоёмка при выполнении расчётов вручную. Кроме того, среди показателей есть непосредственные зависимости, т.е. значение одного показателя используется для вычисления значения другого. На основании большого объёма обрабатываемой информации и взаимозависимостей между элементами расчётов целесообразно применение аппаратно-программных комплексов, например, компьютерных программ на базе ЭВМ для осуществления расчёта показателей нормирования работы железнодорожного транспорта. Это позволит сократить жизненный цикл услуги на железнодорожном транспорте для клиентов транспортно-логистических компаний и уменьшить оборот вагона, что выгодно для ОАО «РЖД» и оператора подвижного состава.

В настоящее время активно применяются программные продукты разработанные в средах программирования и на языках Python, Java Script, SQL, C, C+, C++, C#, а также Visual Basic. Кроме того, на практике для выполнения арифметических вычислений с данными, представление которых осуществляется в табличной форме, часто применяется программа Microsoft Office Excel. Встроенные в MSO Excel модули, позволяют разработать опциональный программный продукт для данной среды, который позволит минимизировать трудозатраты на внесение, обработку информации и представление результатов вычислений. Такая разработка будет интегрироваться в MSO Excel на любой ЭВМ и позволит производить расчёты «в несколько кликов». Таким образом, для осуществления данной разработки выбрана программа Excel.

Посредством расчётов в данной программной среде будут решаться следующие задачи, являющиеся одними из основных задач минимизации жизненного цикла транспортной услуги:

- правильное распределений вагонного парка по дорогам и районам управления;
- выполнение основных показателей работы железнодорожных подразделений;

- рациональное размещение и использование подвижного состава и др.

Укрупнённо порядок нормирования эксплуатационных показателей представлен на рисунке 2.

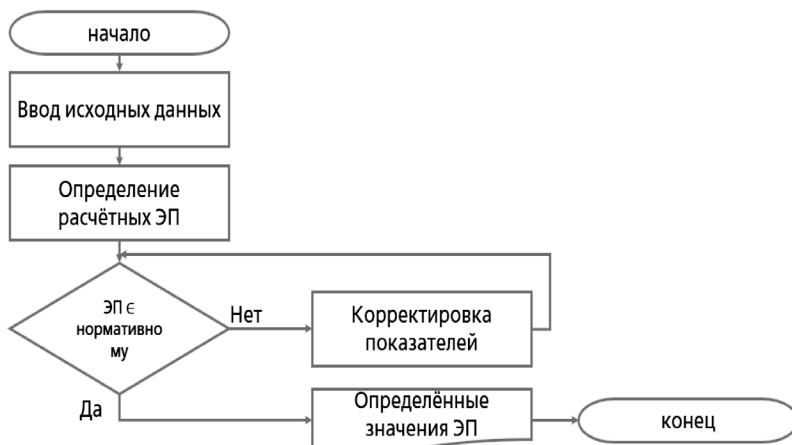


Рис. 2. Блок-схема алгоритма нормирования эксплуатационных показателей

		Вагонопотоки назначением								ВСЕГО ПО ДОРОГЕ	
		в РУ				на другие дороги					
1	2	РУ-1	РУ-2	РУ-3	Итого	А	Б	Г	ИТОГО		
3	Вид работы										
4	Погрузка	РУ-1	50	20	30	100	30	30	40	100	200
5		РУ-2	20	60	20	100	80	50	70	200	300
6		РУ-3	30	30	120	150	300	90	20	90	200
7	Итого		100	200	200	500	200	100	200	500	1000
8	Прием	А	100	100	100	300		200	1500	1700	2000
9		Б	200	0	100	300	100	0	600	700	1000
10		Г	100	100	200	400	1100	500	0	1600	2000
11	Итого		400	200	400	1000	1200	700	2100	4000	5000
12	Всего		500	400	600	1500	1400	800	2300	4500	6000

Рис. 3. Фрагмент интерфейса программы расчёта показателей эксплуатационной работы

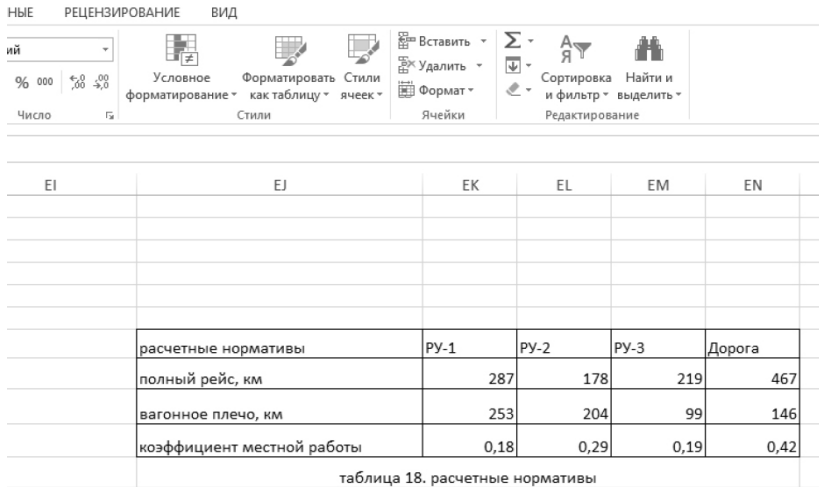


Рис. 4. Фрагмент интерфейса программы расчёта показателей эксплуатационной работы

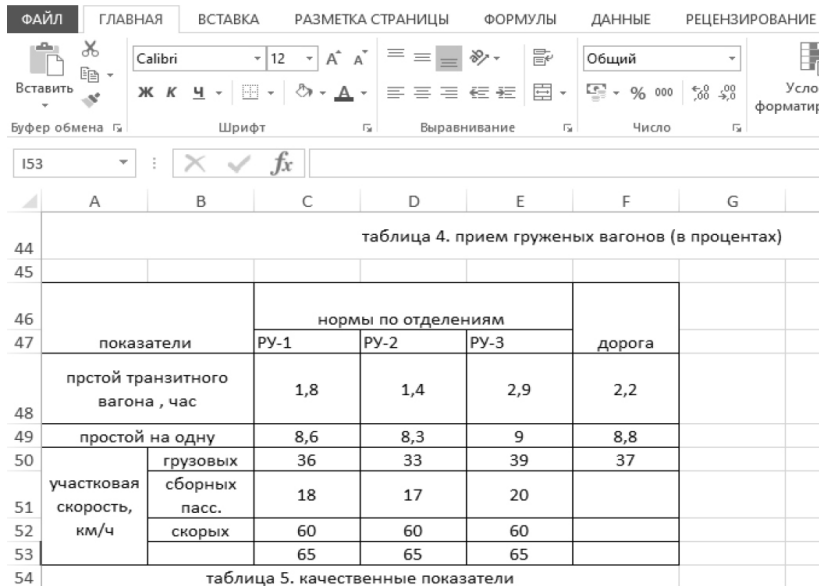


Рис. 5. Фрагмент интерфейса программы расчёта показателей эксплуатационной работы



На данный момент разработана форма для осуществления расчётов значений показателей в среде MSO Excel. Фрагменты разработки представлены на рисунках 3-5. Для выполнения расчётов пользователю необходимо ввести в обозначенные ячейки таблиц исходные данные, после чего запустить выполнение процедуры вычисления. По окончании вычисления программа представит результаты в наглядной и адаптированной для комфортного восприятия табличной форме. Функционирование данной программы возможно на любом персональном компьютере и ноутбуке с программой Microsoft Office Excel.

Представленный способ выполнения нормирования имеет следующие преимущества:

- сокращение времени на выполнение расчётов по сравнению ручными вычислениями;
- отсутствие ошибок в ходе вычисления;
- унификация выполнения расчётов и формы представления результатов.

Цифровизация указанных процессов позволит сократить жизненный цикл предоставления услуги железнодорожным транспортом, уменьшить оборот вагона, а значит сократить издержки, повысить конкурентоспособность ОАО «РЖД» и привлекательность для грузовладельцев.

### *Список литературы*

1. Никифоров В.В., Никифорова Г.И. Цифровизация железнодорожного транспорта с участием операторских компаний // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. Т. 19. № 4. С. 736-742.
2. Солоп И.А., Чеботарева Е.А., Куренков П.В. Инновационные направления развития транспортно-логистической инфраструктуры при пропуске поездов // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления. VI международная научно-практическая конференция. Ростов-на-Дону, 2022. С. 223-226.

3. Покровская О.Д. Комплексная оценка транспортно-складских систем // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 26-32.
4. Управление качеством в автоматизированном производстве: учебник: в 2-х ч./ А. Г. Лютов, Р. Р. Загидуллин, А. Г. Схиртладзе и др. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – Ч. 2. – 376 с.
5. Химач И. Р., Самарин В.А., Сергеева Т.Г. Применение цифровых технологий в логистике // УЭРТ–2022. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. под редакцией А. Ю. Панычева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской; отв. за выпуск А. В. Сугоровский, Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева, М. А. Марченко. Санкт-Петербург, 2022. С. 333-337.
6. Покровская О.Д. Логистическое руководство: математические основы терминалистики, маркировка, классификация и идентификация логистических объектов железнодорожного транспорта. – Казань, 2017. – 281 с.
7. Pokrovskaya O., Orekhov S., Kapustina N., Kizyan N. Formation of logistics facilities in transport corridors // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8. Ser. “VIII International Scientific Conference Transport of Siberia 2020” 2020. С. 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/918/1/012032>
8. Filipchenko S.A., Bubnova G.V., Kurenkov P.V. Influence of wagon fleet redundancy on railway transport operation quality // Collection of scientific works. Under edition of Y.I. Sokolov, I.M. Lavrov Biochemistry (Moscow). 2017. С. 75.
9. Kurenkov P.V., Astafyev A.V., Kolos L.E., Chebotareva E.A., Solop I.A., Denisenko T.V. Development of logistics models for oil cargo transportation to reduce logistics costs and improve wagon mileage // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 364 LNNS. С. 219-235.
10. Nikiforova G. A study of the interaction between rail and maritime transport // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. С. 145-152.
11. Panychev A., Pokrovskaya O. The third-generation university ecosystem in the context of global digitalization // International Scientific

- Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. C. 100-108.
12. Pokrovskaya O.D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions // Sustainable economic development of regions. ed. by L. Shlossman. Vienna, 2014. C. 154-175.
  13. Pokrovskaya O., Fedorenko R. Assessment of transport and storage systems // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. T. 1115. C. 570-577. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37916-2\\_55](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37916-2_55)
  14. Safronova A., Reshetko N., Majerčák J., Kurenkov P. Choosing a scheme for the delivery of foreign trade cargo // Transportation Research Procedia. Cep. "International Scientific Conference on Horizons of Railway Transport 2020" 2021. C. 314-320.
  15. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Kuzina E.L., Astafiev A.V., Nadolinsky P.V., Chebotareva E.A., Solop I.A., Vasilenko M.A., Barashyan V.Y., Gašparík J. Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process // Transportation Research Procedia. 14th. Cep. "14th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2021" 2021. C. 342-347.

### *References*

1. Nikiforov V.V., Nikiforova G.I. Digitalization of railway transport with the participation of operator companies Proceedings of the St. Petersburg University of Railways. 2022. Vol. 19. No. 4. pp. 736-742.
2. Solop Irina A.1, Chebotareva Evgenia A.1, Kurenkov Petr V. Innovative directions of transportation and logistics infrastructure development when the trains are lost // Transport and logistics: actual problems of strategic development and operational management. VI International Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don, 2022. pp. 223-226.
3. Pokrovskaya O.D. Comprehensive assessment of transport and storage systems // Railway transport. 2019. No. 7. pp. 26-32.

4. Quality management in automated production: textbook: in 2 hours / A. G. Lyutov, R. R. Zagidullin, A. G. Skhirtladze, etc. - Stary Oskol: TNT, 2015. – Part 2. – 376 p.
5. Himach I.R., Samarin V.A., Sergeeva T.G. Application of digital technologies in logistics // UERT–2022. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. edited by A. Y. Panychev, T. S. Titova, O. D. Pokrovskaya; responsible for the issue of A.V. Sugorovsky, G. I. Nikiforov, T. G. Sergeev, M. A. Marchenko. St. Petersburg, 2022. pp. 333-337.
6. Pokrovskaya O.D. Logistics management: mathematical foundations of criminalistics, marking, classification and identification of logistics objects of railway transport. – Kazan, 2017. – 281 p.
7. Pokrovskaya O., Orekhov S., Kapustina N., Kizyan N. Formation of logistics facilities in transport corridors // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8. Ser. “VIII International Scientific Conference Transport of Siberia 2020” 2020. P. 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/918/1/012032>
8. Filipchenko S.A., Bubnova G.V., Kurenkov P.V. Influence of wagon fleet redundancy on railway transport operation quality. // Collection of scientific works. Under edition of Y.I. Sokolov, I.M. Lavrov Biochemistry (Moscow). 2017. P. 75.
9. Kurenkov P.V., Astafyev A.V., Kolos L.E., Chebotareva E.A., Solop I.A., Denisenko T.V. Development of logistics models for oil cargo transportation to reduce logistics costs and improve wagon mileage // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 364 LNNS. P. 219-235.
10. Nikiforova G. A study of the interaction between rail and maritime transport // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. P. 145-152.
11. Panychev A., Pokrovskaya O. The third-generation university ecosystem in the context of global digitalization // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. P. 100-108.

12. Pokrovskaya O.D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions // Sustainable economic development of regions. ed. by L. Shlossman. Vienna, 2014. С. 154-175.
13. Pokrovskaya O., Fedorenko R. Assessment of transport and storage systems // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Т. 1115. С. 570-577. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37916-2\\_55](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37916-2_55)
14. Safronova A., Reshetko N., Majerčák J., Kurenkov P. Choosing a scheme for the delivery of foreign trade cargo // Transportation Research Procedia. Сер. “International Scientific Conference on Horizons of Railway Transport 2020” 2021. P. 314-320.
15. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Kuzina E.L., Astafiev A.V., Nadolinsky P.V., Chebotareva E.A., Sopol I.A., Vasilenko M.A., Barashyan V.Y., Gašparík J. Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process // Transportation Research Procedia. 14th. Сер. “14th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2021” 2021. P. 342-347.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ**

**Никифорова Гузель Ислямовна**, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», кандидат технических наук  
*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*  
*Московский пр., 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*  
*guzel.spb@mail.ru*

**Полиэктвов Дмитрий Александрович**, студент

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*  
*Московский пр., 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*  
*dipol\_polipiter@mail.ru*

### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Guzel Is. Nikiforova**, Associate Professor «Operational work management», PhD in Engineering

*Emperor Alexander I Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation*

*guzel.spb@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4908-3225>*

**Dmitriy A. Poliektov**, student

*Emperor Alexander I Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation*

*dipol\_polipiter@mail.ru*

Поступила 01.05.2023

После рецензирования 15.05.2023

Принята 20.05.2023

Received 01.05.2023

Revised 15.05.2023

Accepted 20.05.2023

## 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

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ СБОРЕ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ <i>Е.А. Кухарев, С.М. Мочалин, Д.И. Заруднев</i> .....	7
УЛУЧШЕННОЕ ЛОГИРОВАНИЕ ОШИБОК ПРИ РАБОТЕ С МОДУЛЕМ SELENIUM НА ЯЗЫКЕ PYTHON <i>Р.Р. Крапивин, М.Р. Хамидулин</i> .....	26
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ФРАЗ В БАЗУ ДАННЫХ <i>Г.А. Гареева, М.Р. Хамидуллин, Р.Р. Нурутдинов, Р.Я. Шайхутдинов</i> .....	36
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНАХ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ <i>Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков, В.А. Ракитин, В.С. Петров</i> .....	50
ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В МЕСТАХ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ <i>И.В. Бородулин, О.С. Гасилова, А.А. Мальцева, Б.А. Сидоров</i> .....	68
УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ В КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ <i>Т.В. Аветисян, К.И. Львович, Э.М. Львович</i> .....	82

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ <i>Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович, И.Я. Львович, Р.А. Блинов</i> .....	95
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВОЙСТВ ОБРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА АВТОМОБИЛЯ <i>Н.С. Каминский, П.Р. Гостэва, О.Г. Михайлова, С.М. Узай</i> .....	115
РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>А.В. Пятаева, М.А. Мерко, В.А. Жуковская, И.А. Пиньчук, М.С. Елисеева</i> .....	130
АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ДАЛЬНЕЙ ПАССАЖИРСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ <i>Т.А. Малахова</i> .....	149
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АКАДЕМИЧЕСКИХ ЗАДОЛЖЕННОСТЯХ НА ОСНОВЕ TELEGRAM <i>А.С. Петросян, А.А. Сурмачевская, А.А. Новичков, Д.Г. Лукин, Г.А. Гареева</i> .....	163
ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПАРКА БЕЗРЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ГОРОДСКИЕ ПАССАЖИРСКИЕ МАРШРУТЫ, НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>В.И. Рассоха, Д.А. Дрючин, С.Л. Надириян</i> .....	180

О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ <i>А.С. Чернышков, А.И. Федотов, О.С. Яньков</i> .....	203
ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ И УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <i>П.В. Калашников</i> .....	224
МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ В ДВАДЦАТИФУТОВОМ ЭКВИВАLENTE <i>М.В. Шевердова, Д.А. Полиэктов, Д.В. Язев, С.С. Смирнов</i> .....	237
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ КЛИЕНТСКОЙ БАЗЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ОБНОВЛЕНИЯ СРЕДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ <i>М.Р. Хамидуллин, Г.А. Гареева, В.А. Петроченко, Ю.М. Филатов, Д.М. Абдуллин</i> .....	257
ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ УСЛУГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ <i>Г.И. Никифорова, Д.А. Полиэктов</i> .....	270
<b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ</b> .....	286

## CONTENTS

EVALUATION OF INNOVATIVE TRANSPORT TECHNOLOGIES FOR SEPARATE COLLECTION OF SOLID MUNICIPAL WASTE <i>E.A. Kukharev, S.M. Mochalin, D.I. Zarudnev</i> .....	7
IMPROVED ERROR LOGGING WHEN WORKING WITH THE SELENIUM MODULE IN PYTHON <i>R.R. Krapivin, M.R. Khamidulin</i> .....	26
DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE GROUP LOCALIZATION OF PHRASES IN THE DATABASE <i>G.A. Gareeva, M.R. Khamidullin, R.R. Nurutdinov, R.Y. Shaikhutdinov</i> .....	36
AUTOMOBILE CRANES QUANTITY DETERMINATION FOR MAIN GAS PIPELINES CONSTRUCTION AND REPAIR <i>N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov, V.A. Rakitin, V.S. Petrov</i> .....	50
ASSESSMENT OF THE UNEVENNESS OF THE MOVEMENT OF VEHICLES IN THE PLACES OF SEPARATION OF TRAFFIC FLOWS <i>I.V. Borodulin, O.S. Gasilova, A.A. Mal'tseva, B.A. Sidorov</i> .....	68
EDUCATIONAL AND RESEARCH PERSONNEL MANAGEMENT SYSTEM IN THE CYBERPHYSICAL SYSTEM <i>T.V. Avetisyan, K.I. Lvovich, E.M. Lvovich</i> .....	82
ANALYSIS OF ROUTING PROTOCOLS EFFECTIVENESS IN COMPUTER NETWORKS <i>Avetisyan T.V., Ya.E. L'vovich, I.Ya. L'vovich, R.A. Blinov</i> .....	95

INVESTIGATION OF RESIDUAL PROPERTIES  
OF TREATED CAR ENGINE OIL

*N.S. Kaminsky, P.R. Gosteva,  
O.G. Mikhailova, S.M. Ugai* ..... 115

HANDWRITTEN SIGNATURE  
RECOGNITION USING NEURAL NETWORKS

*A.V. Pyataeva, M.A. Merko,  
V.A. Zhukovskaya, I.A. Pinchuk,  
M.S. Eliseeva* ..... 130

ALGORITHM FOR ASSESSING  
THE ECONOMIC EFFICIENCY  
OF THE ORGANIZATION OF MULTIMODAL  
LONG-DISTANCE PASSENGER  
TRANSPORTATION

*T.A. Malakhova* ..... 149

AUTOMATIC NOTIFICATION OF ACADEMIC DEBTS  
BASED ON TELEGRAM

*A.S. Petrosyan, A.A. Surmachevskaya,  
A.A. Novichkov, D.G. Lukin, G.A. Gareeva* ..... 163

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE  
OF THE FLEET OF TRACKLESS VEHICLES  
SERVING URBAN PASSENGER ROUTES BASED  
ON THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING

*V.I. Rassokha, D.A. Dryuchin, S.L. Nadiryan* ..... 180

ABOUT FUNCTIONAL DIAGNOSTICS  
OF CARS WITH AN ELECTRIC POWER PLANT

*A.S. Chernyshkov, A.I. Fedotov,  
O.S. Yan'kov* ..... 203

APPLICATION OF THE SCENARIO  
APPROACH TO THE ANALYSIS AND CONTROL OF RISKS  
IN THE OPERATION OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS  
UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY  
*P.V. Kalashnikov* ..... 224

MODEL FOR CALCULATING  
THE OPTIMAL OCCUPANCY OF CONTAINER TRAINS  
IN TWENTY-FOOT EQUIVALENT  
*M.V. Sheverdova, D.A. Poliektov,*  
*D.V. Yazev, S.S. Smirnov* ..... 237

DEVELOPMENT OF SOFTWARE  
TO AUTOMATE THE PREPARATION OF THE CLIENT  
BASE FOR THE FORMATION OF THE EXECUTION  
ENVIRONMENT UPDATE  
*M.R. Khamidullin, G.A. Gareeva,*  
*V.A. Petrochenko, Y.M. Filatov, D.M. Abdullin* ..... 257

STUDY OF THE LIFE CYCLE  
OF RAILWAY TRANSPORT SERVICES  
USING DIGITAL METHODS IN LOGISTICS SYSTEMS  
*G.Is. Nikiforova, D.A. Poliektov* ..... 270

**RULES FOR AUTHORS** ..... 286



*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 29.09.2023. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 21,09.  
Свободная цена. Заказ 133/023.