



# Научно-технический вестник

БРЯНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

*Nauchno-Tekhnicheskiy Vestnik  
Bryanskogo Gosudarstvennogo  
Universiteta*

Б Р Я Н С К

2023(3)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический  
ВЕСТНИК  
Брянского  
государственного  
университета**

**№ 3  
2023**

**Nauchno-tehnicheskij**  
**VESTNIK**  
**Bryanskogo**  
**gosudarstvennogo**  
**universiteta**

**Scientific and Technical Journal of**  
**Bryansk State University**

**№ 3**  
**2023**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 3 (2023). Брянск: РИСО БГУ, 2023. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Размещено на официальном сайте журнала: 25.09.2023

Решением Высшей Аттестационной комиссии при Минобрнауки России с 07 марта 2023 г. сетевое издание «Научно-технический вестник Брянского государственного университета» включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим специальностям научных работников:

2.5.2 – Машиноведение (технические науки);

2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки);

2.5.21 – Машины, агрегаты и технологические процессы (технические науки)

Решением Высшей Аттестационной комиссии при Минобрнауки России (письмо от 06 декабря 2022 г. № 02-1198) сетевое издание «Научно-технический вестник Брянского государственного университета» отнесено к категории К2

#### **Председатель Редакционного совета БГУ им. акад. И.Г. Петровского:**

*А.В. Антюхов* – доктор филологических наук, профессор, ректор Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (г. Брянск, Россия).

#### **Главный редактор сетевого издания:**

*А.В. Лагерев* – доктор технических наук, заместитель по научной работе директора НИИ фундаментальных и прикладных исследований Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (г. Брянск, Россия)

#### **Ответственный секретарь сетевого издания:**

*И.В. Мельников* – кандидат биологических наук, начальник Редакционно-издательского отдела Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (г. Брянск, Россия).

#### **Редакционная коллегия сетевого издания:**

*Д.В. Артамонов* – доктор технических наук, первый проректор Пензенского государственного университета (г. Пенза, Россия);

*Н.И. Баурова* – доктор технических наук, декан факультета дорожных и технологических машин Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (г. Москва, Россия);

*В.В. Беляков* – доктор технических наук, начальник управления научно-исследовательских и инновационных работ Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород, Россия);

*А.В. Вершинский* – доктор технических наук, профессор кафедры подъемно-транспортных систем Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия);

*К.А. Гончаров* – доктор технических наук, проректор по инновационному развитию, информатизации и цифровой трансформации Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (г. Брянск, Россия);

*А.А. Короткий* – доктор технических наук, заведующий кафедрой транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону, Россия);

*А.В. Лагерев* – доктор технических наук, заместитель директора НИИ фундаментальных и прикладных исследований Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (г. Брянск, Россия);

*И.А. Лагерев* – доктор технических наук, и.о. ректора Кубанского государственного технологического университета (г. Краснодар, Россия);

*В.М. Пашкевич* – доктор технических наук, проректор по научной работе Белорусско-Российского университета (г. Могилев, Беларусь);

*И.А. Полянин* – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола, Россия);

*А.В. Рыбаков* – доктор технических наук, начальник лаборатории информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки Академии гражданской защиты МЧС России (г. Химки, Россия);

*Н.Г. Ярушкина* – доктор технических наук, первый проректор-проректор по научной работе Ульяновского государственного технического университета (г. Ульяновск, Россия).



**Editorial Council Chairman of Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University:**

*A.V. Antyukhov* – Doctor of Philological Sciences, Professor, Rector at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russia).

**Chief editor:**

*A.V. Lagerev* - Doctor of Technical Sciences, Vice director of Institute of basic and applied research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russia).

**Executive secretary:**

*I.V. Melnikov* – Candidate of Biological Sciences, Chief of Editorial-publishing Department at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russia).

**Editorial Board:**

*D.V. Artamonov* – Doctor of Technical Sciences, first Vice rector at Penza State University (Penza, Russia);

*N.I. Baurova* – Doctor of Technical Sciences, Dean of faculty of road and technological machines at Moscow automobile and road construction state technical University (Moscow, Russia);

*V.V. Belyakov* – Doctor of Technical Sciences, Head of research and innovation Department at Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (Nizhny Novgorod, Russia);

*K.A. Goncharov* – Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Innovative Development, Informatization and Digital Transformation at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russia);

*A.V. Vershinsky* - Doctor of Technical Sciences, Professor of chair of Lifting and transport system at Moscow State Technical University named N.E. Bauman (Moscow, Russia);

*A.A. Korotky* - Doctor of Technical Sciences, Head of chair of transport systems and logistics at Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia);

*A.V. Lagerev* - Doctor of Technical Sciences, Vice director of Institute of basic and applied research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russia);

*I.A. Lagerev* – Doctor of Technical Sciences, Rector at Kuban State Technological University (Krasnodar, Russia);

*V.M. Pashkevich* - Doctor of Technical Sciences, Vice rector at Belarusian-Russian University (Mogilev, Belarus Republic);

*I.A. Polyandin* - Doctor of Technical Sciences, Professor of chair of transport and technological machines at Povolzhskiy State Technical University (Yoshkar-Ola, Russia);

*A.V. Rybakov* - Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory of information technologies and providing the population at Academy of civil defence EMERCOM of Russia (Khimki, Russia);

*N.G. Yarushkina* - Doctor of Technical Sciences, first Vice rector at Ulyanovsk State Technical University (Ulyanovsk, Russia).

Электронный журнал «Научно-технический вестник Брянского государственного университета» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации: Эл № ФС77-62798 от 18 августа 2015 г.

16+

Ответственность за точность фактологического материала, используемого в статьях, несут авторы.

© Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2023  
© 2023 Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta



The Journal and its metadata are licensed under CC BY-SA

## СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Машиноведение, наземные транспортно-технологические средства и процессы**

Статьи, опубликованные в этом разделе, соответствуют требованиям Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, на соискание ученой степени кандидата наук по специальностям научных работников 2.5.2; 2.5.11; 2.5.21

Статьи, опубликованные в этом разделе, соответствуют требованиям к журналам категории К2 Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, на соискание ученой степени кандидата наук (Информационное письмо ВАК при Минобрнауки России от 06.12.2022 № 02-1198)

*Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А., Хирьянов Е.В. (Омск, Россия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-210-217

Исследование силовых характеристик рабочего оборудования роторного снегоочистителя ..... 210

*Гончаров К.А. (Брянск, Россия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-218-225

Математическое описание механизмов отклонения положения гусеничных шасси в движении при переменном сопротивлении грунта ..... 218

*Гончаров К.А. (Брянск, Россия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-226-238

Теоретическое исследование влияния переменного сопротивления грунта на положение гусеничных шасси в движении ..... 226

*Лагереv А.В. (Брянск, Россия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-239-254

Обоснование и анализ принципа обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии ..... 239

*Шатунова Е.А., Лагереv И.А. (Брянск, Краснодар, Россия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-255-268

Анализ технико-организационных возможностей вертолетов для развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок ..... 255

**Транспорт**

*Степаненко А.С., Куренкова Е.О (Москва, Россия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-269-278

Комплексное развитие региональных аэропортов ..... 269

*Чандра А., Наталиа К. (Джакарта, Индонезия)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-279-286

Влияние времени ожидания в очереди на время доставки ..... 279

## CONTENT

## ENGINEERING SCIENCE

**Machinery, ground transportation and technological means and processes**

*The articles published in this section comply with the requirements of the List of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the degree of Doctor of Science, for the degree of Candidate of Science in the specialties of scientific workers 2.5.2; 2.5.11; 2.5.21*

*The articles published in this section meet the requirements for journals of category K2 of the List of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the degree of Doctor of Science, for the degree of Candidate of Science (Information letter of the Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science of Russia of December 6, 2022 No. 02-1198)*

*Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A., Khiryaynov E.V. (Omsk, Russian Federation)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-210-217*

Strength research working equipment of rotary snow blower ..... 210

*Goncharov K.A. (Bryansk, Russian Federation)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-218-225*

Mathematical description of deviation mechanisms positions of track chassis in motion with variable ground resistance ..... 218

*Goncharov K.A. (Bryansk, Russian Federation)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-226-238*

Theoretical study of the influence of a variable ground resistance by position tracked chassis in motion ..... 226

*Lagerev A.V. (Bryansk, Russian Federation)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03239-254*

Justification and analysis of the principle of ensuring the universality of the airmobile rope units overall dimensions in transport condition ..... 239

*Shatunova E.A., Lagerev I.A. (Bryansk, Krasnodar, Russian Federation)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-255-268*

Analysis of the technical and organizational capabilities of helicopters for the deployment of mobile ropeways based on airmobile rope units ..... 255

**Transport**

*Stepanenko A.S., Kurenkova E.O. (Moscow, Russian Federation)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-269-278*

Integrated development of regional airports ..... 269

*Chandra A., Natalia Ch. (Jakarta, Indonesia)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-279-286*

The effect of queue on delivery time ..... 279

УДК 629.464.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ

### STRENGTH RESEARCH WORKING EQUIPMENT OF ROTARY SNOW BLOWER

Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А., Хирьянов Е.В.  
 Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A., Khiryaynov E.V.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (Омск, Россия)  
 Siberian State Automobile and Highway University (Omsk, Russian Federation)

**Аннотация.** В статье представлены результаты теоретических исследований, направленных на изучение вопроса повышения эффективности работы роторного снегоочистителя. Представлен перечень возможных показателей, используемых в качестве критериев эффективности, характеризующие как отдельные подсистемы, так и отдельную систему в целом, в сфере дорожных, строительных и коммунальных машин. В качестве критерия эффективности рабочего оборудования роторного снегоочистителя, из представленного перечня, в данном случае выбрана мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы. Представлены графические зависимости, отражающие значения сил нормальной реакции боковой поверхности фрезы питателя и графические зависимости максимального значения силы нормальной реакции опорной поверхности питателя от размера транспортируемых частиц. Отражены картограммы средних значений сил нормальных реакций опорной поверхности и боковой поверхности для частиц с характерным размером 0,03 м, построенные по результатам пространственного осреднения результатов вычислений. Рассмотрено влияние характерных размеров транспортируемых частиц на показатели эффективности рабочего оборудования роторного снегоочистителя. Представлены закономерности, установленные в результате сравнительного анализа осредненных значений по пространству и средних суммарных значений по времени как для опорной, так и для боковой поверхностей рабочего оборудования роторного снегоочистителя.

**Ключевые слова:** коммунальная машина, роторный снегоочиститель, снежная масса, ротор, рабочий орган.

Дата получения статьи: 16.06.2023  
 Дата принятия к публикации: 12.09.2023  
 Дата публикации: 25.09.2023

#### Сведения об авторах:

Алешков Денис Сергеевич – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», e-mail: denisaleshkov@mail.ru



**Abstract.** The article presents the results of theoretical studies aimed at studying the issue of increasing the efficiency of a rotary snowplow. A list of possible indicators used as performance criteria is presented, characterizing both individual subsystems and a separate system as a whole, in the field of road, construction and municipal vehicles. As a criterion for the efficiency of the working equipment of a rotary snowplow, from the presented list, in this case, the power expended on transporting the snow mass was selected. Graphical dependences are presented that reflect the values of the forces of normal reaction of the side surface of the cutter of the feeder and graphical dependences of the maximum value of the normal reaction force of the supporting surface of the feeder on the size of the transported particles. Cartograms of the average values of the forces of normal reactions of the supporting surface and the side surface for particles with a characteristic size of 0.03 m are shown, built on the basis of the results of spatial averaging of the calculation results. The influence of the characteristic dimensions of transported particles on the performance indicators of the working equipment of a rotary snowplow is considered. The regularities established as a result of a comparative analysis of the averaged values over space and the average total values over time for both the supporting and side surfaces of the working equipment of a rotary snowplow are presented.

**Keywords:** utility vehicle, rotary snow blower, snow mass, rotor, working body.

Date of manuscript reception: 16.06.2023  
 Date of acceptance for publication: 12.09.2023  
 Date of publication: 25.09.2023

#### Authors' information:

Denis S. Aleshkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), e-mail: denisaleshkov@mail.ru

ORCID 0000-0003-4204-7221

**Корчагин Павел Александрович** – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
*e-mail: korchagin\_pa@mail.ru*

ORCID 0000-001-8936-5679

**Тетерина Ирина Алексеевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
*e-mail: iateterina@mail.ru*

ORCID: 0000-0001-8012-8511

**Хирьянов Евгений Викторович** – аспирант ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
*e-mail: hiryanove@mail.ru*

ORCID: 0009-0006-5754-2400

‡ ORCID: 0000-0003-4204-7221

‡ **Pavel A. Korchagin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), *e-mail: korchagin\_pa@mail.ru*  
‡ ORCID 0000-001-8936-5679

‡ **Irina A. Teterina** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),  
‡ *e-mail: iateterina@mail.ru*  
‡ ORCID: 0000-0001-8012-8511

‡ **Evgeny V. Khiryanov** - postgraduate student, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),  
‡ *e-mail: hiryanove@mail.ru*  
‡ ORCID: 0009-0006-5754-2400

### Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-29-10014)*

### Acknowledgements

*The study was supported by the grant of Russian Science Foundation (project No. 23-29-10014)*

## 1. Введение

Проведение теоретических исследований направленных на изучение вопросов связанных с эффективностью работы роторного снегоочистителя и успешное решение задач синтеза эффективных решений базируется на выборе показателей эффективности и определении их значений, представляющих собой числовую оценку степени, в которой данная комбинация характеристик рабочего оборудования эффективна для проведения работ по очистке территорий от снега.

В работах [1, 2] указывается на иерархичность показателей эффективности, суть которой заключается в том, что чем выше уровень рассматриваемого объекта, например, включающего в себя несколько подсистем, тем сложнее по своей структуре будет показатель эффективности. При рассмотрении отдельного элемента, или одной подсистемы часто достаточно использовать единичные показатели, или их группу. Так, в работе [3] в качестве показателя эффективности использовался такой единичный показатель, как дальность отброса снежной массы  $L$ .

Гипотетически рассматриваемые далее показатели эффективности в определенном диапазоне значений, как и порядковые меры

эффективности согласно [4, 5] должны быть инварианты к масштабу и непрерывны.

В настоящее время устоявшимися показателями и их комбинациями, используемыми в качестве критериев эффективности, характеризующими как отдельные подсистемы, так и исследуемую систему в целом, в сфере дорожных, строительных и коммунальных машин являются [6-8]:

- время рабочего цикла проведения работ по очистке снега  $T$ , с [9];

- объемная производительность  $Q$ , м<sup>3</sup>/час;

- производительность по массе  $\Pi$ , т/час [2, 10];

- мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы  $N$ , Вт [2, 10].

Экспериментальные исследования по определению функциональных зависимостей потребляемой мощности и производительности питателя роторного снегоочистителя занимают ключевую позицию. Таким примером является работа [9] в которой экспериментально исследуется сопротивление резанию и перемещению снежной массы шнековым питателем. Теоретические исследования работы винтовых рабочих органов [10] широко используют положения теории резания. В работе [11] установлено, что эффективность процесса сепарации пласта материала роторами зависит от скорости его подачи,



угловой скорости вращения роторов [12] кривизны расположения продольных осей роторов, и свойств материала.

В данной статье представлены результаты теоретических исследований, в которых в качестве критерия эффективности рабочего оборудования роторного снегоочистителя выбрана мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы. Выбор параметра объясняется тем, что именно мощность является одним из показателей более высокого иерархического уровня и в неявном виде включают в себя наибольшее количество конструктивных и технологических показателей, описывающих работу роторного снегоочистителя.

## 2. Основная часть

Для проведения исследований с учетом того, что транспортируемая снежная масса представляется как взаимодействующие между собой отдельные частицы, необходимо установить соотношения, по которым будет определяться мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы. Для этого осуществлялось решение системы дифференциальных уравнений, составленной в системе координат  $X_\phi O_\phi Y_\phi Z_\phi$  (рис. 1). Результаты решения подставлялись в формулу [7], по которой определялась мощность  $N_i$ , затрачиваемая на транспортирование отдельной частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя в произвольный момент времени  $t$ :

$$N_i = (R_\phi - r_{ci}) \cdot [N_{\phi i} (\cos \theta + f_\phi \sin \theta) + N_{ci} \cdot f_\phi \frac{\dot{y}_{\phi i}}{\sqrt{\dot{x}_{\phi i}^2 + \dot{y}_{\phi i}^2 + \dot{z}_{\phi i}^2}}] \cdot \omega_\phi,$$

где  $N$  – сила нормальной реакции боковой поверхности, Н;  $N_{\phi i}$  – сила нормальной реакции опорной поверхности, Н;  $N_{ci}$  – сила нормальной реакции боковой поверхности, Н;  $\dot{x}_{\phi i}$  – скорость частицы по оси  $O_\phi X_\phi$ , м/с;  $\dot{y}_{\phi i}$  – скорость частицы по оси  $O_\phi Y_\phi$ , м/с;  $\dot{z}_{\phi i}$  – скорость частицы по оси  $O_\phi Z_\phi$ , м/с.

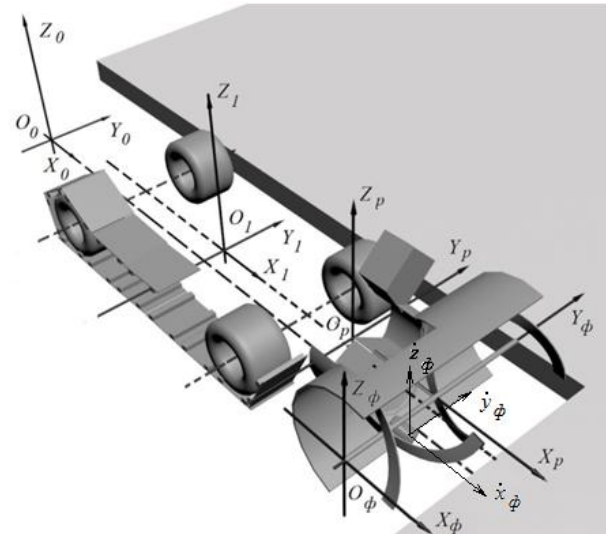


Рис. 1. Системы координат фрезерно-роторного снегоочистителя и система координат  $X_\phi O_\phi Y_\phi Z_\phi$  для описания процесса транспортирование снежных частиц

Исходные данные для проведения исследований соответствуют данным, представленным в табл. 1, и являются фиксированными параметрами, за исключением:

- радиус частиц варьировался в диапазоне  $r_{ci} = 0,005 \dots 0,04$  м, с шагом 0,005 [7,8];
- число заходов фрезы  $n_3 = 3$ .

При исследовании силовых характеристик рабочего оборудования роторного снегоочистителя из предлагаемого диапазона размера снежных частиц были выбраны численные значения  $r_{ci} = 0,015; 0,02; 0,03$  м, так как снежные частицы такого размера наиболее характерны для транспортируемой снежной массы на территории Российской Федерации [13, 14].

В процессе решения уравнений движения группы снежных частиц определялись мгновенные значения, координат, проекций векторов скоростей транспортируемых частиц, значений сил нормальных реакций опорной поверхности  $N_{ci}$ , боковой поверхности  $N_{\phi i}$  и мощности затрачиваемой на транспортирование каждой снежной частицы  $N_i$  за все время вычислительного цикла [15].

Таблица 1

Исходные данные для математической модели питателя фрезерного снегоочистителя

Параметр	Значение
Радиус фрезы $R_f$ , м	0,3
Угловая скорость вращения фрезы $\omega_f$ , рад/с	8
Скорость снегоочистителя $V_{nep}$ , м/с	0,55
Угол захода ленты фрезы $\theta$ , град	20
Половина ширины захвата питателя роторного снегоочистителя $B_f/2$ , м	0,69
Коэффициент трения снежной частицы о поверхность отвала $f_u$	0,03
Коэффициент трения снежной частицы о ленту фрезы $f_f$	0,03
Характерный размер частицы $r_{ci}$ , м	0,005
Плотность снежной частицы $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	500
Точность вычислений, с	0,00025
Время вычислений для одного захода, с	0,79

Для выявления закономерностей и характерных особенностей работы оборудования и поведения транспортируемой снежной массы, для каждого набора значений проводилось определение базовых статистических характеристик в программе Statistica [15-17].

В качестве примера, на рис. 2 и 3 отражены картограммы средних значений сил нормальных реакций опорной поверхности  $N_{nc\ ci}$  и боковой поверхности  $N_{nc\ phi}$  для частиц с характерными размерами  $r_{ci} = 0,03$ . Данные картограммы построены по результатам пространственного осреднения результатов вычислений [2].

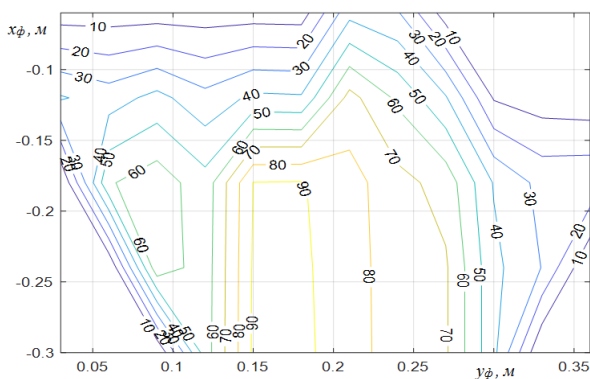


Рис. 2. Картограмма значений сил нормальных реакций опорной поверхности для частиц характерного размера  $r_{ci}=0,03$  м

В качестве примера, на рис. 4 и 5 представлены суммарные значения сил нормальных реакций опорной поверхности  $N_{c\ ci}$  и бо-

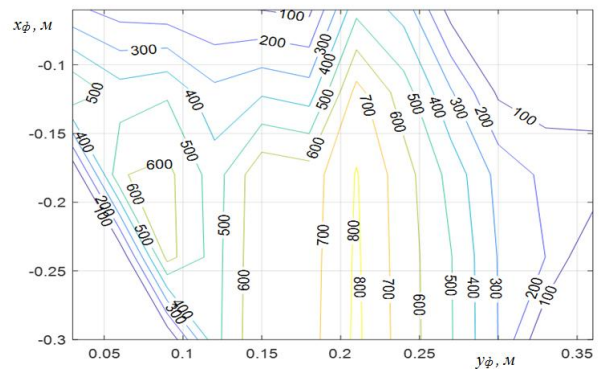


Рис. 3. Картограмма значений сил нормальных реакций боковой поверхности для частиц характерного размера  $r_{ci}=0,03$  м

ковой поверхности  $N_{c\ phi}$  для частиц с характерными размерами  $r_{ci} = 0,03$  м осредненные по времени [7, 15, 18].

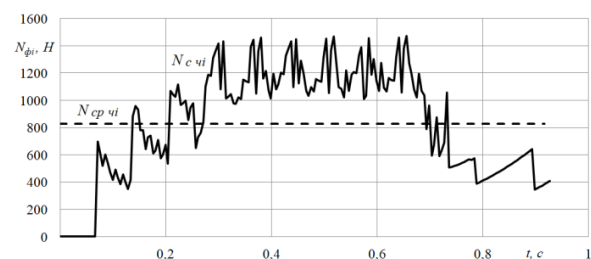


Рис. 4. Суммарные значения сил нормальных реакций боковой поверхности и их среднего значения для частиц характерного размера  $r_{ci} = 0,03$  м

Необходимо отметить, что интервал осреднения по времени соответствовал одному



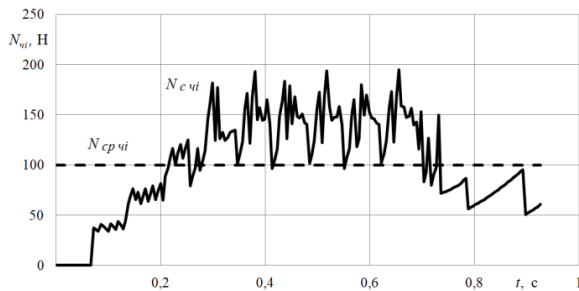


Рис. 5. Суммарные значения сил нормальных реакций опорной поверхности и их среднего значения для частиц характерного размера  $r_{\psi i}=0,03$  м

полному обороту фрезы, а также средние значения  $N_{cp\ \psi i}$ ,  $N_{cp\ \phi i}$  по всему рассматриваемому интервалу времени [7].

Сравнение осредненных значений по пространству (рис. 2 и 3) и средних суммарных значений по времени (рис. 4 и 5) как для опорной, так и для боковой поверхностей рабочего оборудования роторного снегоочистителя, демонстрируют следующие закономерности:

$$N_{cp\ \psi i} \approx N_{nc\ \psi i}^{max},$$

$$N_{cp\ \phi i} \approx N_{nc\ \phi i}^{max}.$$

Для значений сил нормальной реакции фрезы максимальное относительное превышение составило 8,6%, для силы нормальной реакции опорной поверхности – 11,8%, при транспортировании частиц характерного размера  $r_{\psi i} = 0,015$  м. При этом просматривается следующая тенденция: с уменьшением характерного размера транспортируемых частиц отклонение растет [19].

Исходя из этого, следует ожидать, что при увеличении точности осреднения и учета всех расчетных значений, равенства осредненных по времени средних значений  $N_{cp\ \phi i}$  и  $N_{cp\ \psi i}$  и максимальных значений, полученных в результате осреднения по пространству и соответственно [2, 19].

Также необходимо отметить смещение максимумов сил нормальных реакций опорной поверхности и боковой поверхности рабочего органа относительно друг друга. Из графиков следует, что наибольшую нагрузку создают вышележащие снежные частицы,

транспортируемой снежной массы [3, 7]. Также установлено, что при  $r_{\psi i} > 0,032$  м верхние частицы выходят за пределы питателя.

Одним из основных выводов, по описанным выше результатам, является то, что осреднение по пространству является актуальным для инженерных расчетов элементов рабочего оборудования, так как оно задает распределение значений действующих сил, однако в процессе осреднения по пространству происходит сглаживание пиковых значений [18]. Пиковые значения действующих сил получаются в результате непосредственного расчета по времени  $t$  и на их значения не влияет количество заходов ленты фрезы  $n_z$ , таким образом можно считать, что каждый заход работает независимо друг от друга [3].

### 3. Результаты исследований

На рис. 6 и 7 представлены зависимости максимальных средних значений сил нормальных реакций боковой и опорной поверхности питателя роторного снегоочистителя.

Из графиков можно сделать вывод: влияние размера транспортируемых частиц, проявляется в увеличении значений сил нормальных реакций, действующих как на опорную поверхность, так и на боковую поверхность, при увеличении характерного размера частиц.

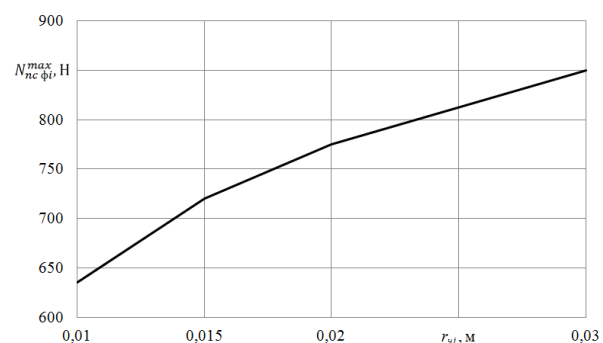


Рис. 6. Зависимость максимального значения сил нормальной реакции боковой поверхности фрезы питателя от размера транспортируемых частиц

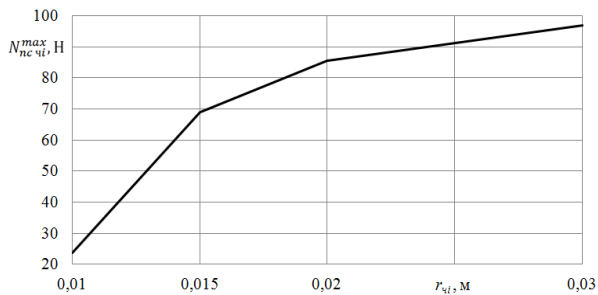


Рис. 7. Зависимость максимального значения силы нормальной реакции опорной поверхности питателя от размера транспортируемых частиц

#### 4. Обсуждения и выводы

В результате проведенных исследований были получены выражения показателей, на основании которых может осуществляться оценка энергоэффективности рабочих органов роторного снегоочистителя с учетом взаимодействия снежных частиц в транспортируемой снежной массе.

На основе решения уравнений математической модели были определены распределения значений сил нормальных реакций опорной поверхности питателя и боковой поверхности фрезы, что обеспечивает возможность проведения дальнейшей параметрической оптимизации, указанных конструктивных элементов роторного снегоочистителя. Полученные суммарные и средние, по

времени, значения сил нормальных реакций боковой поверхности фрезы питателя роторного снегоочистителя и его опорной поверхности, с учетом уравнения расчета необходимой мощности могут быть использованы для оценки энергоэффективности фрезы питателя.

Сравнительный анализ результатов, дал количественную оценку нагруженности элементов питателя роторного снегоочистителя. Так боковая поверхность фрезы испытывает, практически на порядок большие нагрузки (8-ми кратное увеличение) в процессе транспортирования снежной массы по сравнению с опорной поверхностью питателя.

Увеличение характерного размера транспортируемых частиц в питателе роторного снегоочистителя, приводит к нелинейному росту нагрузок воспринимаемых боковой поверхностью фрезы питателя и опорной поверхностью питателя роторного снегоочистителя и соответственно к росту затрат мощности. Однако при транспортировании крупнокусковых снежных образований следует ожидать возможного роста производительности питателя. Таким образом, более целесообразным, при оценке эффективности работы питателя роторного снегоочистителя, будет использование такого показателя, как отношение затрачиваемой мощности на теоретическую производительность по массе.

#### Список литературы

1. Кузнецов А.В., Сладкова Л.А. Конструкционные особенности устройства ударного действия, предназначенного для борьбы с зимней скользкостью // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 3. С. 260-267.
2. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Снегопогрузки // Строительные и дорожные машины. 2020. № 1. С. 3-9.
3. Алешков Д. С., Суковин М. В. Модель формирования снежных валов при работе фрезерно-роторного снегоочистителя // Вестник евразийской науки. 2018. Т. 10, № 6. С. 58.
4. Bobillier G., Bergfeld B., Capelli A., Dual J., Gaume J., Herwijnen A., Schweizer J.

#### References

1. Kuznecov A.V., Sladkova L.A. Konstruktsionnye osobennosti ustroystva udarnogo deystviya, prednaznachennogo dlya borby s zimney skolzkostyu. *Izvestija Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2020, No. 3, pp. 260-267. (In Russian)
2. Balovnev V.I., Danilov R.G. Snegopogruzchiki. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2020, No. 1, pp. 3-9. (In Russian)
3. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. Model formirovaniya snezhnyh valov pri rabote frezerno-rotornogo snegoochistitelya. *Vestnik evrazijskoj nauk*, 2018, Vol. 10, No. 6, pp. 58. (In Russian)
4. Bobillier G., Bergfeld B., Capelli A.,

Micromechanical modeling of snow failure // *Cryosphere*. 2020. №14. Pp. 39-49.  
DOI: 10.5194/tc-14-39-2020

5. Pluta Z., Hryniewicz T. On the Quantum Theory of Impact Phenomenon for the Conditions of Elastic Deformation of Impacted Body // *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*. 2013. № 12. Pp. 45-59.  
DOI:10.18052/www.scipress.com/ILCPA.12.4

6. Мерданов Ш.М., Конев В.В., Мальцева Л.П. Повышение эффективности плужной снегоуборочной машины // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 5-3. С. 491-496.

7. Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А. Математическая модель процесса транспортирования снежной массы в роторе снегоочистителя // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2022. Т. 19. № 5 (87). С. 610-623. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623.

8. Летопольский А.Б., Тетерина И.А., Корчагин П.А. Ротор проходческого щита // *Вестник машиностроения*. 2022. № 2. С. 15-18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-2-15-18.

9. Закиров, М. Ф. Оптимизация рабочей скорости фрезерно-роторного снегоочистителя // *Строительные и дорожные машины*. 2015. № 10. С. 55-57.

10. Желукевич Р.Б., Иванова Н.В., Кайзер Ю.Ф., Егоров А.В. Рабочий орган с режущими дисковыми резцами // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. № 7. С. 136-143.

11. Zonta T., Selvanathan J., Patel J., Wilson K., Kaura H., Berry C., Tayefeh M., Barari A. Autonomous snowblower utilizing internet of things for minimal power consumption // *14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*. 2021. №2. Number: 21135936.  
DOI: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529823

12. Xie Bing-lei, Jin L., Mu W. Snow disposal operations optimization in winter highway maintenance // *International Conference on Management Science & Engineering 21th Annual Conference Proceedings*. 2014. №104. Number: 14694734.  
DOI: 10.1109/ICMSE.2014.6930233.

Dual J., Gaume J., Herwijnen A., Schweizer J. Micromechanical modeling of snow failure. *Cryosphere*, 2020, No.14, pp. 39-49. DOI: 10.5194/tc-14-39-2020

5. Pluta Z., Hryniewicz T. On the Quantum Theory of Impact Phenomenon for the Conditions of Elastic Deformation of Impacted Body. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 2013, No. 12, pp. 45-59. DOI:10.18052/www.scipress (in Polish)

6. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Malceva L.P. Povyshenie effektivnosti pluzhnoj snegouborochnoj mashiny. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2016, No. 5-3, pp. 491-496. (In Russian)

7. Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A. Matematicheskaya model processa transportirovaniya snezhnoj massy v rotore snegoochistitelya. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, 2022, Vol. 19, No. 5 (87), pp. 610-623. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623. (In Russian)

8. Letopolskij A.B., Teterina I.A., Korchagin P.A. Rotor prohodcheskogo shchita. *Vestnik mashinostroeniya*, 2022, No. 2, pp. 15-18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-2-15-18. (In Russian)

9. Zakirov M.F. Optimizaciya rabochej skorosti frezerno-rotornogo snegoochistitelya. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2015, No. 10, pp. 55-57. (In Russian)

10. Zhelukevich R.B., Ivanova N.V., Kajzer Yu.F., Egorov A.V. Rabochij organ s rezhushchimi diskovymi rezcami. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2017, No. 7, pp. 136-143. (In Russian)

11. Zonta T., Selvanathan J., Patel J., Wilson K., Kaura H., Berry C., Tayefeh M., Barari A. Autonomous snowblower utilizing internet of things for minimal power consumption. *14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, 2021, №2, No. 21135936. DOI: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529823/

12. Xie Bing-lei, Jin L., Mu W. Snow disposal operations optimization in winter highway maintenance. *International Conference on Management Science & Engineering 21th An-*

13. Жарников В.Б., Пасько О.А., Ушакова Н.С., Макарецова Е.С. О содержании мониторинга снежных отвалов и подверженных их влиянию земель северных городов (на примере города Томска) // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2019. Т. 24, № 1. С. 174-191. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-174-191

14. Сладкова Л.А., Григорьев П.А., Кустарев Г.В. О необходимости создания инфраструктуры в регионах Арктики // Строительные и дорожные машины. 2021. № 11. С. 24–31.

15. Баловнев, В.И., Данилов, Р.Г. Роторные снегоочистители // Строительные и дорожные машины. 2019. № 6. С. 10-20.

16. Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А. Описательная статистика с использованием пакетов статистических программ STATISTICA и SPSS // Наука и здравоохранение. 2016. № 1. С. 7-23.

17. Гржибовский, А. М., Иванов С. В., Горбатова М. А. Корреляционный анализ данных с использованием программного обеспечения STATISTICA и SPSS // Наука и здравоохранение. 2017. № 1. С. 7-36.

18. Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А. Теоретические исследования движения снежной частицы в вертикальном питателе роторного снегоочистителя // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 263-274. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-263-274

19. Селиверстов Н.Д. Оптимальные параметры бульдозера-рыхлителя в зависимости от условий эксплуатации // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 4. С. 34-40.

nual Conference Proceedings, 2014, No. 104, No. 14694734.

DOI: 10.1109/ICMSE.2014.6930233.

13. Zharnikov V.B., Pasko O.A., Ushakova N.S., Makarcova E.S. O sodержanii monitoringa snezhnyh otvalov i podverzhennyh ih vliyaniyu zemel severnyh gorodov (na primere goroda Tomsk). *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij)*, 2019, Vol. 24, No. 1, pp. 174-191. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-174-191. (In Russian)

14. Sladkova L.A., Grigorev P.A., Kustarev G.V. O neobhodimosti sozdaniya infrastruktury v regionah Arktiki. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2021, No. 11, pp. 24–31. (In Russian)

15. Balovnev V.I., Danilov R.G. Rotornye snegoochistiteli. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2019, No. 6, pp. 10-20. (In Russian)

16. Grzhibovskij A.M., Ivanov S.V., Gorbatoва M.A. Opisatel'naya statistika s ispolzovaniem paketov statisticheskikh programm STATISTICA i SPSS. *Nauka i Zdravoohranenie*, 2016, No. 1, pp. 7-23. (In Russian)

17. Grzhibovskij A.M. Ivanov S.V., Gorbatoва M.A. Korrelyacionnyj analiz dannyh s ispolzovaniem programmnoho obespecheniya STATISTICA i SPSS. *Nauka i Zdravoohranenie*, 2017, No. 1, pp. 7-36. (In Russian)

18. Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A. Teoreticheskie issledovaniya dvizheniya snezhnoj chasticy v vertikalnom pitatele rotornogo snegoochistitelya. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No. 4, pp. 263-274. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-263-274 (In Russian)

19. Seliverstov N.D. Optimalnye parametry bul'dozera-ryhlitelya v zavisimosti ot uslovij ekspluatatsii. *Tekhnologiya kolesnyh i gusenichnyh mashin*, 2015, No. 4, pp. 34-40. (In Russian)



УДК (UDC) 621.86

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОТКЛОНЕНИЯ  
ПОЛОЖЕНИЯ ГУСЕНИЧНЫХ ШАССИ В ДВИЖЕНИИ  
ПРИ ПЕРЕМЕННОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ГРУНТАMATHEMATICAL DESCRIPTION OF DEVIATION MECHANISMS  
POSITIONS OF TRACK CHASSIS IN MOTION  
WITH VARIABLE GROUND RESISTANCEГончаров К.А.  
Goncharov K.A.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)  
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** Инженерные методики проектирования гусеничных механизмов передвижения мобильных шасси подъемно-транспортных, строительных, дорожных и других специализированных машин опираются на постоянные значения коэффициентов сопротивления движению грунта при выборе мощности двигателей и параметров гусеничных лент. В реальности грунт не является однородным, а коэффициент сопротивления движению в каждый момент времени является случайной величиной, находящейся в определенном интервале в зависимости от типа грунта. В данной статье предлагается математическое описание процесса совместного движения двух гусеничных контуров в рамках одного шасси при неравномерном во времени сопротивлении грунта, что отражается на скорости движения каждого контура и приводит к эффекту забегания гусениц, способствующему возникновению мгновенных поворотных моментов. В зависимости от вида подбираемого закона изменения коэффициента сопротивления движению грунта во времени показаны результаты декомпенсации неравномерности движения гусениц, не зависящие от возникающего дополнительного сопротивления от бокового среза слоя грунта при мгновенных поворотах шасси, характерные для механизмов с отдельным приводом каждого гусеничного контура.

**Ключевые слова:** гусеничный движитель, тяговый расчет, сопротивление движению, грунт.

**Дата получения статьи:** 28.06.2023  
**Дата принятия к публикации:** 15.09.2023  
**Дата публикации:** 25.09.2023

**Сведения об авторах:**

**Гончаров Кирилл Александрович** – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационному развитию, информатизации и цифровой трансформации ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: goncharov\_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

**Abstract.** Engineering methods for designing tracked mechanisms for moving mobile chassis of hoisting and transport, construction, road and other specialized machines are based on constant values of the coefficients of resistance to ground movement when choosing engine power and track parameters. In reality, the ground is not homogeneous, and the coefficient of resistance to movement at each moment in time is a random variable located in a certain interval depending on the type of ground. This article proposes a mathematical description of the process of joint movement of two tracked circuits within the same chassis with uneven ground resistance over time, which is reflected in the speed of movement of each circuit and leads to the effect of running tracks, which contributes to the occurrence of instantaneous turning moments. Depending on the type of selected law of change in the coefficient of resistance to ground movement over time, the results of decompensation of uneven movement of the tracks are shown, independent of the additional resistance arising from the lateral cut of the ground layer during instantaneous rotations of the chassis, characteristic of mechanisms with a separate drive of each track circuit.

**Keywords:** tracked chassis, traction calculation, movement resistance, ground.

**Date of manuscript reception:** 28.06.2023  
**Date of acceptance for publication:** 15.09.2023  
**Date of publication:** 25.09.2023

**Authors' information:**

**Kirill A. Goncharov** – Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Vice-Rector for Innovative Development, Informatization and Digital Transformation Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: goncharov\_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

### Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №22-29-00798)*

### Acknowledgements

*This study was supported by grant of Russian science Foundation (project №22-29-00798)*

## 1. Введение

В исследовании [1] установлен ряд факторов, не учитываемых при выборе расчетного значения коэффициента сопротивления движению грунта, в частности, неравномерность распределения свойств по всему грунтовому пласту, в результате чего коэффициент сопротивления движению в каждый момент времени представляет собой случайную величину, находящуюся в определенном интервале, соответствующем типу грунта. В случае проведения проектного расчета с целью выбора основных механических параметров и элементов гусеничного движителя пренебрежение случайной природой коэффициента сопротивления движению грунта оправдано и не приводит к негативным последствиям на стадии эксплуатации готовой машины. При этом учет неравномерности движения в случае выбора элементов привода (что особенно актуально для контуров с раздельным приводом), систем управления приводами может сыграть важную роль, заключающуюся в уточнении параметров циклов переменных напряжений при проведении усталостного расчета элементов привода, подборе режимов работы систем управления, повышении эффективности системы эксплуатации машины.

Отдельно стоит отметить процессы формирования физических механизмов компенсации забегания гусеничных контуров при неравномерности их скоростей движения. Классическим механизмом выравнивания скоростей в случае раздельного привода с применением электродвигателей является повышение сопротивления движению забегавшей гусеницы за счет начала процесса срезания пласта грунта данной гусеницей (по аналогии с наездом реборды кранового колеса на рельс). В результате происходит снижение скорости движения донагруженной гусеницы в соответствии с видом механической характеристики привода.

При этом гусеничные движители способны осуществлять выравнивание скоростей

движения без бокового среза грунта. Однако данный процесс является случайным и зависит от значения коэффициента сопротивления движению грунта под каждой из гусениц в конкретный момент времени. Подобная «случайная» компенсация может вносить неконтролируемые изменения в процесс управления машиной, особенно при смешанном составе грунта.

С учетом возможных отклонений механических характеристик электродвигателей приводов [2] математическое описание механизмов отклонения положения гусеничных шасси в движении при переменном сопротивлении грунта позволит устанавливать теоретические закономерности процесса движения гусеничных шасси разных конфигураций. Указанные теоретические закономерности, в свою очередь, позволят формировать взвешенные подходы к дифференцированному выбору мощности двигателей (с частичным или полным учетом сопротивления от бокового среза грунта) и подбору механического оборудования шасси при создании универсальных линеек машин для работ на разных типах грунтов при максимально возможной унификации узлов.

## 2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является создание математического описания механизмов отклонения положения гусеничных шасси в движении при переменном значении коэффициента сопротивления грунта. Результат применения разрабатываемого математического описания должен выражаться в создании дискретизированной по времени модели свободной траектории движения гусеничного шасси, зависящей только от вида закона изменения коэффициента сопротивления движению грунта (без учета сопротивления от бокового среза, изменения натяжения гусеничной ленты).

### 3. Особенности моделирования

Предлагаемое в настоящей статье математическое описание совместимо с зависимостями, приведенными в работах [1, 3].

Представим коэффициент сопротивления движению от грунта  $\mu_f$  в виде периодической функции времени, амплитуда которой всегда будет находиться в диапазонах изменения  $\mu_f$  в соответствии с типом исследуемого грунта.

Выбор периодической функции в качестве базовой для моделирования изменения коэффициента сопротивления движению во времени обосновывается следующими аргументами:

1. Периодическая функция (в частности,  $\sin(x)$ ,  $\cos(x)$ ) является бесконечной и непрерывной по оси абсцисс, что в процессе моделирования снимает ограничения на длину интервалов времени исследования сопутствующих процессов.

2. Периодические тригонометрические функции хорошо поддаются манипуляциям с преобразованием амплитуды и периода колебаний, что позволяет удобно управлять данными параметрами для создания на определенных отрезках времени различных конфигураций данных функций.

В общем случае коэффициент  $\mu_f$  опишем функцией вида

$$\mu_f(t) = A \cos\left(\frac{B\pi t}{180}\right) + m, \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, определяющий амплитуду колебаний коэффициента  $\mu_f$  в принятом интервале его значений;  $B$  – коэффициент преобразования аргумента с целью определения вида функции в пределах установленного интервала;  $m$  – медианное значение коэффициента сопротивления движению грунта.

Коэффициент  $A$  определяется следующим выражением

$$A = \frac{\mu_{f2} - \mu_{f1}}{2},$$

где  $\mu_{f2}$  – наибольшее граничное значение коэффициента сопротивления движению в выбранном интервале для соответствующего типа грунта;  $\mu_{f1}$  – наименьшее граничное значение коэффициента сопротивления движению в выбранном интервале.

Величина  $m$  определяется зависимостью

$$m = \mu_{f1} + A.$$

Коэффициент  $B$  выбирается в зависимости от необходимого вида функции в конкретный период времени. В настоящем исследовании величину коэффициента  $B$  будем принимать равной значениям углов, используемых в качестве аргумента тригонометрических функций.

Скорость движения гусеничного шасси в каждый момент времени определим с учетом внешнего вида рабочей ветви механической характеристики электропривода, приведенной к точке на делительной окружности приводной звездочки

$$v(t) = \frac{C - F_{\text{мяз}}(t)}{-k}, \quad (2)$$

где  $C$ ,  $k$  – коэффициенты, определяющие вид рабочей ветви механической характеристики привода;  $F_{\text{мяз}}(t)$  – тяговое усилие, реализуемое каким-либо гусеничным контуром в конкретный момент времени, определяется в результате процедуры тягового расчета с использованием зависимостей, приведенных в работах [1, 3].

Построение траекторий движения гусениц в результате постоянного изменения скоростей движения контуров осуществим дискретно на основе сопоставления длин пройденных путей каждой гусеницы за определенный интервал времени с разными скоростями при условии попадания длин этих путей в качестве частей соответствующих дуг окружности в один сектор с расстоянием между дугами, соответствующим колее гусеничного шасси  $b$  (рис. 1).

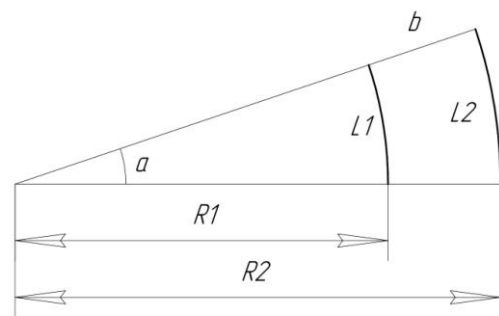


Рис. 1. Схема к расчету траекторий

Таким образом, в результате каждой итерации моделирования последовательно определяются скорости движения гусениц и



соответствующие пройденные ими расстояния  $L_1$  и  $L_2$ . При постоянном значении колеи гусениц  $b$  величины радиусов движения гусениц  $R_1$  и  $R_2$  определяются зависимостями

$$R_1 = \frac{bL_1}{L_2 - L_1}, \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{bL_1}{L_2 - L_1} + b. \quad (4)$$

Накопленное смещение той или иной гусеницы целесообразно определять графически из общей диаграммы построения траектории движения (рис. 2).

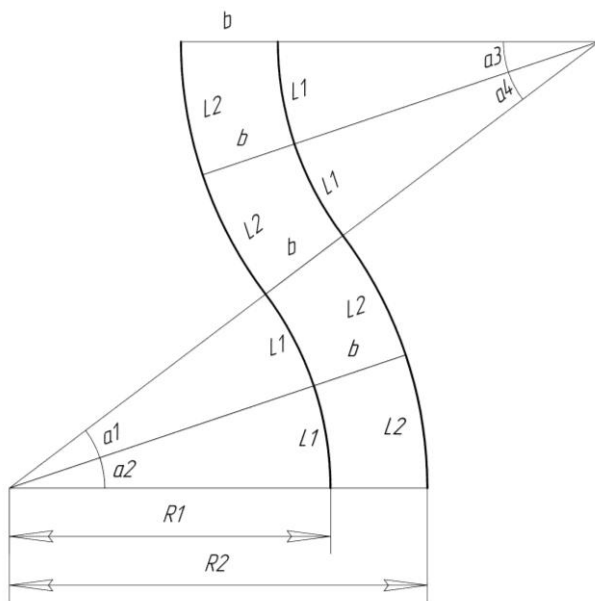


Рис. 2. Обобщенная схема составления диаграммы траекторий движения гусениц

#### 4. Анализ результатов моделирования

Оценим влияние переменности коэффициента сопротивления движению грунта на свободное (без учета бокового среза грунта) смещение гусеничного шасси.

Для построения элементов диаграммы перемещения гусеничного шасси, описание технических характеристик которого представлено в работах [1, 3], введем дополнительные параметры:

– номинальная скорость движения, развиваемая приводом и реализуемая для шасси, при номинальной нагрузке – 0,35 м/с;

– скорость движения шасси, соответствующая синхронной частоте вращения электродвигателя, в случае отсутствия нагрузки – 0,4 м/с;

– тип грунта, по которому движется машина – асфальт и бетон ( $\mu_{f2} = 0,07$ ;  $\mu_{f1} = 0,065$ ).

Величина амплитуды изменения коэффициента сопротивления движению

$$A = \frac{\mu_{f2} - \mu_{f1}}{2} = \frac{0,07 - 0,065}{2} = 0,0025.$$

Медианное значение коэффициента сопротивления движению

$$m = \mu_{f1} + A = 0,065 + 0,0025 = 0,0675.$$

Значение коэффициента  $B$  для первой гусеницы ( $B_1$ ) примем равным 90, что соответствует периоду изменения  $\mu_f$  – 4 секунды. Для второй гусеницы примем  $B_2 = 100$  (период изменения  $\mu_f$  – 3,6 секунды). Таким образом, функции изменения коэффициента сопротивления движению грунта во времени примут вид

$$\mu_{f1}(t) = 0,0025 \cos\left(\frac{90\pi t}{180}\right) + 0,0675,$$

$$\mu_{f2}(t) = 0,0025 \cos\left(\frac{100\pi t}{180}\right) + 0,0675.$$

Графический вид данных функций представлен на рис. 3.

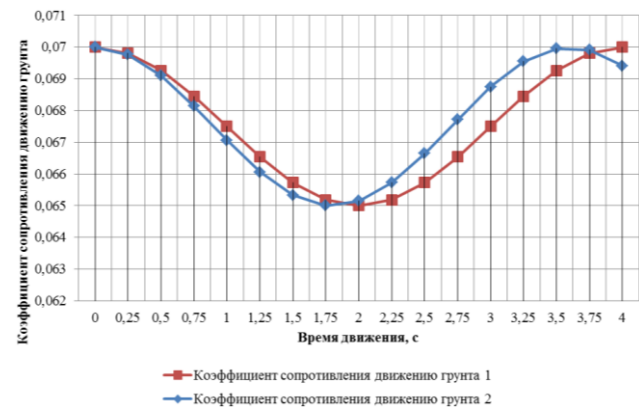


Рис. 3. Графики изменения коэффициента  $\mu_f$  во времени

Для каждого значения коэффициента сопротивления движению в соответствующий момент времени проведем процедуру тягового расчета с учетом зависимостей, представленных в работах [1, 3]. Результаты тягового расчета (в толкающем режиме) представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Результаты тягового расчета гусеничных контуров в толкающем режиме

Время $t$ , с	$\mu_1$	$S_{\min 1}$ , Н	$S_{\max 1}$ , Н	$F_{\text{мяс}1}$ , Н	$v_1$ , м/с	$\mu_2$	$S_{\min 2}$ , Н	$S_{\max 2}$ , Н	$F_{\text{мяс}2}$ , Н	$v_2$ , м/с
0	0,07	12500	50228,75	37728,75	0,349302	0,07	12500	50228,75	37728,75	0,349302
0,25	0,069809	12500	50189,23	37689,23	0,349355	0,069765	12500	50180,10	37680,10	0,349367
0,5	0,069267	12500	50076,68	37576,68	0,349506	0,069106	12500	50043,29	37543,29	0,349551
0,75	0,068456	12500	49908,25	37408,25	0,349733	0,068147	12500	49843,94	37343,94	0,349819
1	0,0675	12500	49709,57	37209,57	0,349999	0,067065	12500	49619,41	37119,41	0,350121
1,25	0,066543	12500	49510,89	37010,89	0,350266	0,066066	12500	49411,78	36911,78	0,350400
1,5	0,065732	12500	49342,46	36842,46	0,350493	0,065334	12500	49259,95	36759,95	0,350604
1,75	0,065190	12500	49229,91	36729,91	0,350644	0,065009	12500	49192,37	36692,37	0,350694
2	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697	0,065150	12500	49221,70	36721,70	0,350655
2,25	0,065190	12500	49229,91	36729,91	0,350644	0,065732	12500	49342,46	36842,46	0,350493
2,5	0,065732	12500	49342,46	36842,46	0,350493	0,066644	12500	49532,00	37032,00	0,350238
2,75	0,066543	12500	49510,89	37010,89	0,350266	0,067717	12500	49754,82	37254,82	0,349939
3	0,0675	12500	49709,57	37209,57	0,349999	0,06875	12500	49969,16	37469,16	0,349651
3,25	0,068456	12500	49908,25	37408,25	0,349733	0,069547	12500	50134,85	37634,85	0,349428
3,5	0,069267	12500	50076,68	37576,68	0,349506	0,069962	12500	50220,86	37720,86	0,349312
3,75	0,069809	12500	50189,23	37689,23	0,349355	0,069914	12500	50211,05	37711,05	0,349326
4	0,07	12500	50228,75	37728,75	0,349302	0,069415	12500	50107,28	37607,28	0,349465

Коэффициенты  $C$  и  $k$  механической характеристики привода вычислим исходя из условия, что прямая характеристики проходит через две точки:

– в первой точке тяговое усилие равно 0 при скорости движения 0,4 м/с, соответствующей синхронной частоте вращения электродвигателя;

– во второй точке тяговое усилие соответствует медианному значению коэффициента сопротивления движению грунта (0,0675) и составляет 37209,57 Н (табл. 1); номинальную скорость движения в данной точке примем равной 0,35 м/с.

Приведенные выше упрощения целесообразно применять при неизвестных параметрах приводов. В противном случае необходимо отталкиваться от реальных механических характеристик электродвигателей.

С учетом принятых значений коэффициенты  $C$  и  $k$  механической характеристики определяются решением системы уравнений

$$\begin{cases} 0 = k \cdot 0,4 + C; \\ 37209,57 = k \cdot 0,35 + C. \end{cases}$$

В результате решения системы получим  $k = -744191,4$ ;  $C = 297676,56$ .

Последовательно подставляя в зависимость (2) значения тяговых усилий, представленных в табл. 1, с учетом коэффициентов  $k$  и  $C$  получим величины скоростей гусеничных контуров (внесем в табл. 1 в соответствующие столбцы).

Графическая интерпретация разности скоростей движения тяговых контуров в каждый момент времени в пределах 4-х секунд движения машины показана на рис. 4.



Рис. 4. Графики изменения скоростей движения контуров во времени

Параметры  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ , необходимые для построения траектории движения машины, представлены в табл. 2.

Величины  $L_1$  и  $L_2$  для каждого отрезка времени (в соответствии с данными табл. 1) определим следующим образом:

$$L_1 = v_1 t_i ; L_2 = v_2 t_i .$$

Расчетное значение величины  $b$  (колеи гусеничного шасси) примем равным 5000 мм. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения параметров движения для построения траекторий

Время $t$ , с	$v_1$ , м/с	$L_1$ , м	$R_1$ , м	$v_2$ , м/с	$L_2$ , м	$R_2$ , м	$\alpha$ , град	$b$ , м
0	0,349302	0,087325589	0	0,349302	0,087325589	0	0	5
0,25	0,349355	0,087338865	142492,62	0,349367	0,08734193	142497,62	0,000035118	5
0,5	0,349506	0,087376672	38945,27	0,349551	0,08738789	38950,27	0,000128547	5
0,75	0,349733	0,087433255	20236,24	0,349819	0,087454858	20241,24	0,000247554	5
1	0,067065	0,087499999	14445,66	0,350121	0,087530285	14450,66	0,000347051	5
1,25	0,066066	0,087566742	13150,70	0,350400	0,087600036	13155,70	0,000381516	5
1,5	0,065334	0,087623325	15806,82	0,350604	0,087651042	15811,82	0,000317613	5
1,75	0,065009	0,087661132	34751,81	0,350694	0,087673745	34756,81	0,000144528	5
2	0,065150	0,087674408	-41677,54	0,350655	0,08766389	-41672,54	-0,00012052	5
2,25	0,065732	0,087661132	-11593,16	0,350493	0,087623325	-11588,16	-0,00043323	5
2,5	0,066644	0,087623325	-6880,55	0,350238	0,08755965	-6875,55	-0,00072965	5
2,75	0,067717	0,087566742	-5343,05	0,349939	0,087484798	-5338,05	-0,00093901	5
3	0,06875	0,087499999	-5016,92	0,349651	0,087412794	-5011,92	-0,00099929	5
3,25	0,069547	0,087433255	-5742,79	0,349428	0,087357131	-5737,79	-0,00087232	5
3,5	0,069962	0,087376672	-9020,23	0,349312	0,087328239	-9015,23	-0,00055500	5
3,75	0,069914	0,087338865	-59549,69	0,349326	0,087331532	-59544,69	-0,0000840	5
4	0,069415	0,087325589	10700,59	0,349465	0,087366393	10705,59	0,00046758	5

С учетом значительных полученных величин радиусов поворота машины привести полную масштабную диаграмму движения в соответствии с рис. 2 не представляется возможным. В данном случае целесообразно представить промежуточный результат в

сравнительной постановке для двух контуров. На рис. 5 показаны графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси. На рис. 6 – график изменения угла поворота машины во времени.

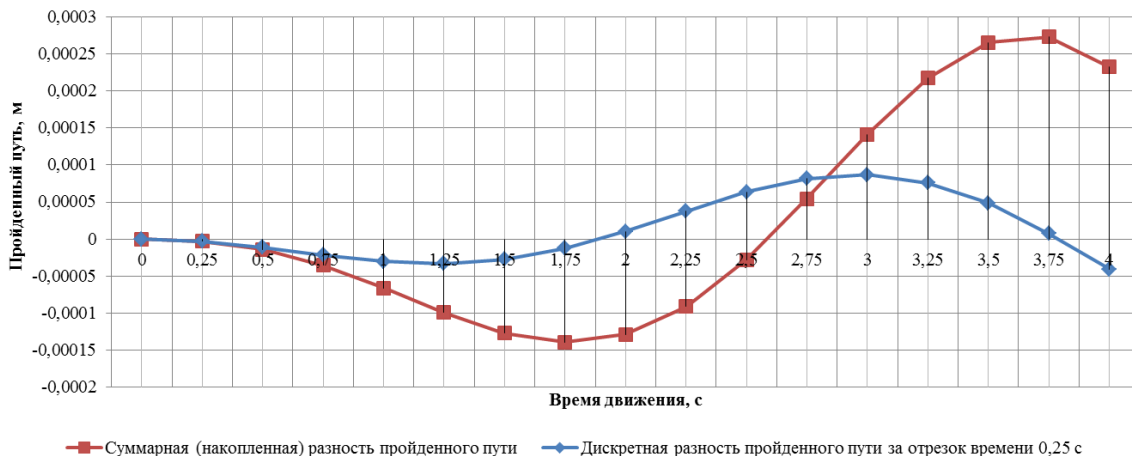


Рис. 5. Графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси

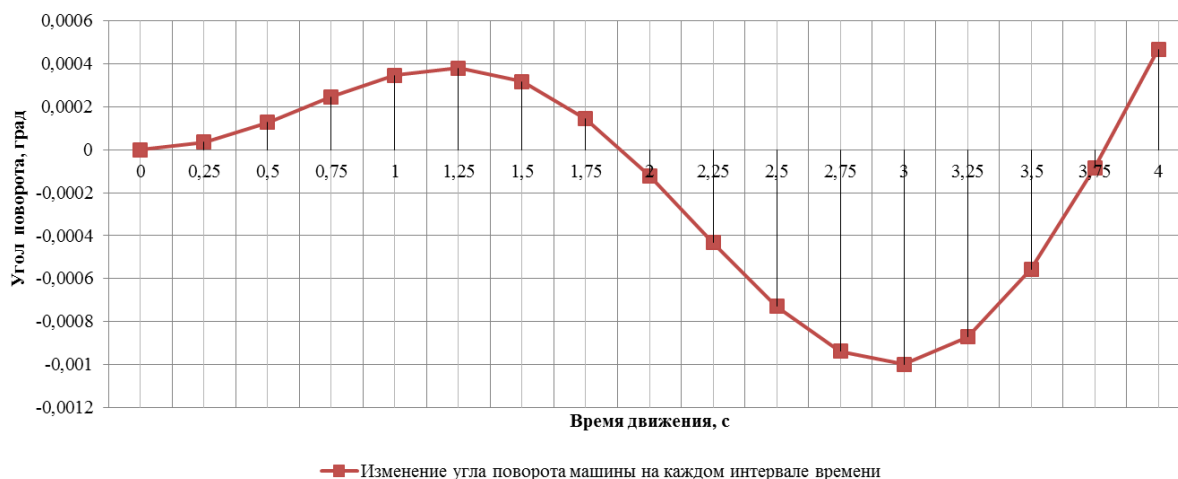


Рис. 6. График изменения угла поворота машины во времени

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие общие выводы:

1) максимальная разность пройденного пути контурами гусеничного шасси в результате неравномерного воздействия коэффициента сопротивления движению грунта составила примерно 0,27 мм;

2) полученное значение разности пройденного пути (0,27 мм) сравнительно велико, если вернуться к начальным условиям моделирования, характеризующимся самым маленьким значением коэффициента сопротивления движению (асфальт и бетон), а также самым маленьким интервалом его изменения (0,005); к примеру, при переходе с асфальта на неукатанную грязную или проселочную дорогу коэффициент сопротивления движению грунта может изменяться в диапазоне 0,065...0,145 [1], что составляет отрезок, соответствующий 0,08, превышающий предыдущий интервал в 16 раз (даже без учетакратно возрастающих тяговых усилий, определяющих значительное количество параметров гусеничного шасси [4]);

3) максимальный угол разворота машины по отношению к исходному положению составляет примерно 0,001°, что может количественно характеризовать эффект «стягивания» машины в сторону; компенсация «стягивания», как правило, производится ручным управлением оператора;

4) при моделировании не учитывалось возможное отклонение механических характеристик электродвигателей приводов [5],

что в большинстве случаев приводит к значительным отклонениям тяговых усилий [6];

5) стоит отметить, что выбор законов изменения величин коэффициентов сопротивления движению грунта для каждой гусеницы, а также их сопоставление друг с другом имеет большое значение в процессе проектирования машины и проектного исследования особенностей её работы на различных типах грунтов, т.к. частое попадание противоположно резонирующих значений коэффициента с уклоном в какую-либо одну сторону может приводить к системному изменению положения машины при движении; в проведенном исследовании период изучения изменений составил 4 секунды, в конце которого разница в пройденном гусеницами расстоянии составила 0,27 мм; с учетом эффекта накопления через 20 секунд возможная разница (в зависимости от совпадения законов) может составить примерно 1,5 мм, что значительно влияет на выравнивание машины в пространстве, особенно при её участии в проведении планировочных работ местности с использованием систем управления с лазерным позиционированием;

6) в контексте применения гусеничных шасси в структуре мобильных канатных дорог позиционирование машины при движении и выравнивание приводами её положения в случае «сползания» пластов грунта под гусеницами также очень важно, т.к. любые отклонения положения мгновенно отражаются на натяжении несущих канатов дороги.

## 5. Заключение.

Приведенное в настоящей статье математическое описание механизмов отклонения положения гусеничных шасси в движении при переменном сопротивлении грунта представляет собой базис для проведения проверочных расчетов при проектировании гусеничных механизмов передвижения. Реализация предложенных зависимостей при расчете в соответствующем проекте позволит получить информацию о возможном поведении одной и той же машины при движе-

нии по грунтам разного типа и выработать комплекс мер реагирования на возможные отклонения от принятых норм эксплуатации.

Полученный результат позволяет установить необходимость проведения дальнейших исследований особенностей движения гусеничных шасси с использованием предложенного в настоящей статье математического аппарата с целью выработки обобщенных рекомендаций по выбору коэффициента сопротивления движению грунта при проектировании, а также поиска наилучших сочетаний законов его изменения.

## Список литературы

1 Гончаров К.А. Моделирование распределения усилий в тяговых контурах гусеничных движителей в условиях переменной сопротивляемости движению грунтов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2023. №2. С. 127–133. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-02-127-133.

2 Гончаров К.А. Вероятностный подход к определению отклонений скольжения электродвигателей приводов ленточных конвейеров // Приводы и компоненты машин, 2016. №4-5. С. 13–15.

3 Гончаров К.А. Инверсионный подход к тяговому расчету гусеничных движителей подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2022. №2. С. 94–102. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-02-94-102.

4 Гончаров К.А. Совершенствование тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров с учетом механических характеристик приводов // Подъемно-транспортное дело, 2011. №4. С. 2–5.

5 Гончаров К.А., Дунаев В.П. Комплексный подход к тяговому расчету ленточных конвейеров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2018. №2. С. 144–151.

6 Гончаров, К. А. Тяговый расчет многоприводных ленточных конвейеров / К. А. Гончаров. Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2021. 271 с.

## References

1. Goncharov K.A. Simulation of distribution of forces in traction circuit tracked chassis under conditions of variability ground resistance. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.2, pp. 127-133. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-02-127-133 (In Russian)

2. Goncharov K.A. The probabilistic approach to determining the slide departures of electric motors of belt conveyors. *Machine drives and parts*, 2016, No.4-5, pp. 13-15. (In Russian)

3. Goncharov K.A. Inversion approach to traction calculation of tracked chassis of hoisting, construction, and road machines. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.2, pp. 94-102. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-02-94-102 (In Russian)

4. Goncharov K.A. Improving the calculation of traction of multi-drive belt conveyors taking into account the mechanical characteristics of drives. *Podyemno-transportnoe delo*, 2011, No.4, pp. 2-5. (In Russian)

5. Goncharov K.A., Dunaev V.P. The integrated approach to traction calculation of belt conveyors. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 144-151. (In Russian)

6. Goncharov K.A. *Tyagovyy raschet mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov* [Traction calculation of multi-drive belt conveyor]. Kursk, ZAO Universitetskaya kniga, 2021. 271 p. (In Russian)



УДК (UDC) 621.86

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ПОЛОЖЕНИЕ  
ГУСЕНИЧНЫХ ШАССИ В ДВИЖЕНИИTHEORETICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF A VARIABLE  
GROUND RESISTANCE BY POSITION  
TRACKED CHASSIS IN MOTIONГончаров К.А.  
Goncharov K.A.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)  
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** Положением гусеничного шасси машины в движении зачастую определяется точность создания сопутствующих сооружений при проведении строительных и дорожных работ. Существуют технические решения систем позиционирования шасси в нескольких плоскостях, опирающиеся на технологии лазерного нивелирования. Данные системы реализуют следящий принцип контроля положения шасси, реагируя на ненормированные изменения положения. Программная реализация контроля положения, основанная на его прогнозировании в процессе работы сложна в исполнении, так как должна учитывать влияние множества случайных факторов на движение машины (переменность сил сопротивления движению во времени т.п.). В настоящей статье рассмотрено влияние переменного сопротивления движению грунта на положение гусеничных шасси в движении. Показаны специфические аспекты, характеризующие изменение положения машины в зависимости от сочетания законов изменения коэффициентов сопротивления движению под каждой гусеницей. На примерах показаны процедуры математического прогнозирования физических и геометрических характеристик движения гусеничной машины, применение которых в программных алгоритмах систем контроля положения может способствовать повышению точности их работы.

**Ключевые слова:** гусеничный движитель, тяговый расчет, сопротивление движению, грунт.

**Дата получения статьи:** 05.07.2023  
**Дата принятия к публикации:** 21.09.2023  
**Дата публикации:** 25.09.2023

**Сведения об авторе:**

**Гончаров Кирилл Александрович** – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационному развитию, информатизации и цифровой трансформации ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: goncharov\_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

**Abstract.** The position of the tracked chassis of a vehicle in motion often determines the accuracy of the creation of related structures during construction and road work. There are technical solutions for chassis positioning systems in several planes, based on laser leveling technologies. These systems implement the tracking principle of monitoring the position of the chassis, reacting to abnormal changes in position. Software implementation of position control based on its prediction during operation is difficult to implement, since it must take into account the influence of many random factors on the movement of the machine (variability of movement resistance forces over time, etc.). This article examines the influence of variable resistance to ground movement on the position of tracked chassis in motion. Specific aspects are shown that characterize the change in the position of the machine depending on the combination of laws of change in the coefficients of resistance to movement under each caterpillar. The examples show procedures for mathematical prediction of the physical and geometric characteristics of the movement of a tracked vehicle, the use of which in software algorithms of position control systems can help improve the accuracy of their operation.

**Keywords:** tracked chassis, traction calculation, movement resistance, ground.

**Date of manuscript reception:** 05.07.2023  
**Date of acceptance for publication:** 21.09.2023  
**Date of publication:** 25.09.2023

**Author' information:**

**Kirill A. Goncharov** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Innovative Development, Informatization and Digital Transformation at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: goncharov\_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

### Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №22-29-00798)*

### Acknowledgements

*This study was supported by grant of Russian science Foundation (project №22-29-00798)*

## 1. Введение

Позиционирование рабочих органов и машин в целом при проведении планировочных работ на строительных объектах является важной задачей, что, в том числе, определяется конкуренцией систем позиционирования, предлагаемых на соответствующих рынках в данной отрасли.

В источнике [1] проведен обзор систем позиционирования для экскаваторной техники. Авторы выделили несколько групп технологий, используемых для позиционирования:

- спутниковые навигационные системы;
- радиочастотные технологии (включая радиочастотные метки – RFID);
- технологии инфракрасного и ультразвукового позиционирования;
- лазерное (оптическое) позиционирование;
- системы видеонаблюдения с ручным корректированием положения.

Наибольшей популярностью пользуются системы спутниковой навигации и лазерного (оптического) позиционирования. Наилучшая достигаемая ими точность позиционирования, описываемая изготовителями, составляет, в среднем, до 10 мм.

Основной управленческий принцип работы указанных выше систем – следящее управление, при котором система реагирует на появление источников внешних воздействий по факту уже произведенного на объект воздействия. Данный принцип фактически позволяет лишь исправлять уже приобретенные объектом отклонения.

Более прогрессивным с позиции управления является программное воздействие на объект, при котором поведение внешних факторов предварительно прогнозируется, и в момент воздействия объект уже находится под соответствующим управляющим противодействием, компенсирующим возможные отклонения характеристик объекта.

В работах [2, 3] предложены основные принципы расчета гусеничных контуров шасси как отдельных машин непрерывного

транспорта, показаны возможности данного подхода к изучению взаимодействия данных контуров в случае их исполнения с раздельным приводом. Фактор использования раздельного привода и разъединение действующих сопротивлений движению по соответствующим контурам создает предпосылки для создания ряда математических моделей, описывающих процессы движения гусеничного шасси с учетом внутренних особенностей работы (внутренних по отношению к факторам, воздействующим на шасси в целом, а не на каждый гусеничный контур).

Изучение протекания внутренних процессов в гусеничном шасси (распределение различных сопротивлений движению между контурами, тяговых усилий, взаимного движения контуров в случае реализации ими разных скоростей, отклонение механических характеристик приводов и т.д.) позволит усовершенствовать математическую и физическую базу для создания программных систем позиционирования специальных машин, работающих на шасси данного типа.

## 2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является изучение влияния переменного сопротивления грунта на положение гусеничного шасси в движении. При проведении исследования предполагается сравнение результатов моделирования движения шасси при различных сочетаниях законов изменения коэффициента сопротивления движению грунта. Результат исследования на данном этапе может отразить некоторые обобщенные тенденции при выборе законов изменения коэффициента сопротивления во времени, а также являться примером реализации процедур математического прогнозирования физических и геометрических характеристик движения гусеничной машины.



### 3. Особенности проведения исследования

Исследование, описанное в настоящей статье, основано на реализации математических моделей, предложенных в [2, 3].

Исследование включает в себя 3 этапа:

1) первый этап – коэффициенты сопротивления движению грунта во времени для соответствующих гусеничных контуров незначительно сдвинуты по фазе, диапазон изменения коэффициентов максимально расширен;

2) второй этап – коэффициенты сопротивления движению грунта гусеничных контуров находятся в противофазе, диапазон изменения коэффициентов также максимально расширен;

3) третий этап – коэффициенты сопротивления движению грунта гусеничных контуров находятся в противофазе, при этом для первого контура коэффициент изменяется в верхней половине максимального диапазона, для второго контура – в нижней половине.

### 4. Первый этап исследования

Функции изменения коэффициента сопротивления движению грунта во времени определяются выражениями

$$\mu_{f1}(t) = 0,04 \cos\left(\frac{90\pi t}{180}\right) + 0,105,$$

$$\mu_{f2}(t) = 0,04 \cos\left(\frac{100\pi t}{180}\right) + 0,105.$$

Графический вид данных функций представлен на рис. 1.



Рис. 1. Графики изменения коэффициента  $\mu_f$  во времени

Для каждого значения коэффициента сопротивления движению в соответствующий момент времени проведем процедуру тягового расчета с учетом зависимостей, представленных в работах [2, 3]. Результаты тягового расчета (в толкающем режиме) представлены в табл. 1.

Графическая интерпретация разности скоростей движения тяговых контуров в каждый момент времени в пределах 4-х секунд движения машины показана на рис. 2.

Результаты расчетов геометрических параметров позиционирования шасси приведены в табл. 2.

На рис. 3 показаны графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси. На рис. 4 – график изменения угла поворота машины во времени.

Таблица 1

Результаты тягового расчета гусеничных контуров в толкающем режиме

Время $t$ , с	$\mu_1$	$S_{\min 1}$ , Н	$S_{\max 1}$ , Н	$F_{\text{тяг}1}$ , Н	$v_1$ , м/с	$\mu_2$	$S_{\min 2}$ , Н	$S_{\max 2}$ , Н	$F_{\text{тяг}2}$ , Н	$v_2$ , м/с
0	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373
0,25	0,141955	12500	65171,72	52671,72	0,329222	0,141252	12500	65025,75	52525,75	0,329419
0,5	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642	0,130712	12500	62836,74	50336,74	0,332360
0,75	0,120307	12500	60676,10	48176,10	0,335263	0,115353	12500	59647,18	47147,18	0,336646
1	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535	0,098054	12500	56054,75	43554,75	0,341473
1,25	0,089692	12500	54318,33	41818,33	0,343807	0,082057	12500	52732,62	40232,62	0,345937
1,5	0,076715	12500	51623,40	39123,40	0,347428	0,070359	12500	50303,30	37803,30	0,349202
1,75	0,068044	12500	49822,71	37322,71	0,349847	0,065152	12500	49222,00	36722,00	0,350655
2	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697	0,067412	12500	49691,36	37191,36	0,350024
2,25	0,068044	12500	49822,71	37322,71	0,349847	0,076716	12500	51623,40	39123,40	0,347428
2,5	0,076715	12500	51623,40	39123,40	0,347428	0,091319	12500	54656,11	42156,11	0,343353
2,75	0,089692	12500	54318,33	41818,33	0,343807	0,108486	12500	58221,20	45721,20	0,338562
3	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535	0,125	12500	61650,62	49150,62	0,333954
3,25	0,120307	12500	60676,10	48176,10	0,335263	0,137766	12500	64301,76	51801,76	0,330391
3,5	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642	0,144392	12500	65677,84	53177,84	0,328542
3,75	0,141955	12500	65171,72	52671,72	0,329222	0,143637	12500	65520,99	53020,99	0,328753
4	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373	0,135642	12500	63860,61	51360,61	0,330984



Рис. 2. Графики изменения скоростей движения контуров во времени

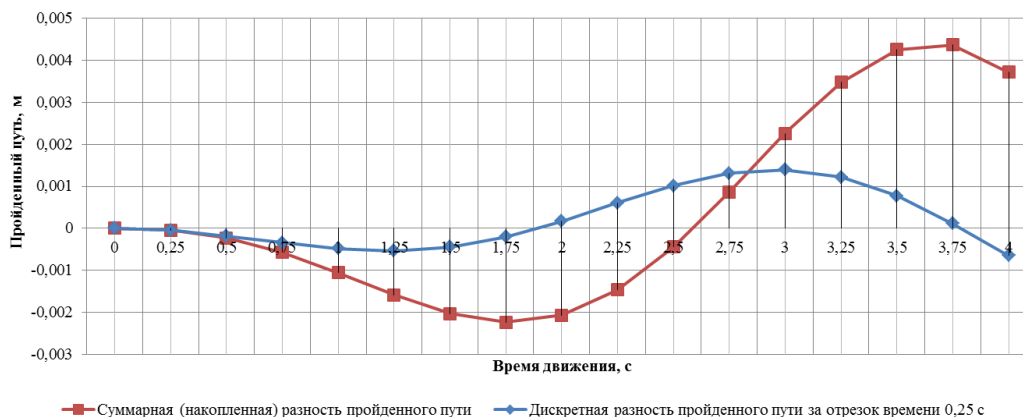


Рис. 3. Графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси

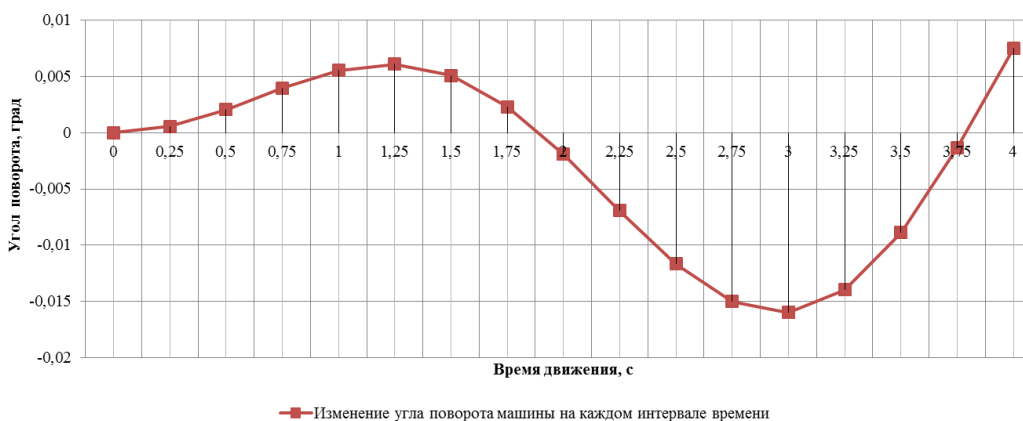


Рис. 4. График изменения угла поворота машины во времени

Таблица 2

Расчетные значения параметров движения для построения траекторий

Время $t$ , с	$v_1$ , м/с	$L_1$ , м	$R_1$ , м	$v_2$ , м/с	$L_2$ , м	$R_2$ , м	$\alpha$ , град	$b$ , м
0	0,328373	0,082093303	0	0,328373	0,082093303	0	0	5
0,25	0,329222	0,082305721	8392,5682	0,329419	0,082354756	8397,5682	0,0005618	5
0,5	0,331642	0,082910637	2309,6680	0,332360	0,083090123	2314,6680	0,0020567	5
0,75	0,335263	0,083815957	1212,4393	0,336646	0,084161607	1217,4393	0,0039608	5
1	0,339535	0,084883855	875,85986	0,341473	0,08536843	880,85986	0,0055528	5
1,25	0,343807	0,085951754	806,76024	0,345937	0,086484451	811,76024	0,0061042	5
1,5	0,347428	0,086857074	979,28739	0,349202	0,087300545	984,28739	0,0050818	5
1,75	0,349847	0,08746199	2167,0539	0,350655	0,087663789	2172,0539	0,0023124	5
2	0,350697	0,087674408	-2604,8465	0,350024	0,087506117	-2599,8465	-0,0019284	5
2,25	0,349847	0,08746199	-722,92696	0,347428	0,086857074	-717,92696	-0,0069318	5
2,5	0,347428	0,086857074	-426,27417	0,343353	0,085838281	-421,27417	-0,0116745	5
2,75	0,343807	0,085951754	-327,7821	0,338562	0,084640643	-322,7821	-0,0150242	5
3	0,339535	0,084883855	-304,18294	0,333954	0,083488579	-299,18294	-0,015988	5
3,25	0,335263	0,083815957	-344,07526	0,330391	0,082597968	-339,07526	-0,0139571	5
3,5	0,331642	0,082910637	-534,9492	0,328542	0,082135697	-529,9492	-0,0088801	5
3,75	0,329222	0,082305721	-3507,3738	0,328753	0,082188388	-3502,3738	-0,001344	5
4	0,328373	0,082093303	628,71543	0,330984	0,082746168	633,71543	0,0074812	5

### 5. Второй этап исследования

Функции изменения коэффициента сопротивления движению грунта во времени на втором этапе имеют вид

$$\mu_{f1}(t) = 0,04 \cos\left(\frac{90\pi t}{180}\right) + 0,105,$$

$$\mu_{f2}(t) = 0,04 \cos\left(\frac{180\pi t}{180}\right) + 0,105.$$

Графическое изображение данных функций представлено на рис. 5.

Результаты тягового расчета (в толкающем режиме) представлены в табл. 3.

Графическая интерпретация разности скоростей движения тяговых контуров показана на рис. 6.

Результаты расчетов геометрических параметров позиционирования шасси приведены в табл. 4.

На рис. 7 показаны графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси. На рис. 8 – график изменения угла поворота машины во времени.

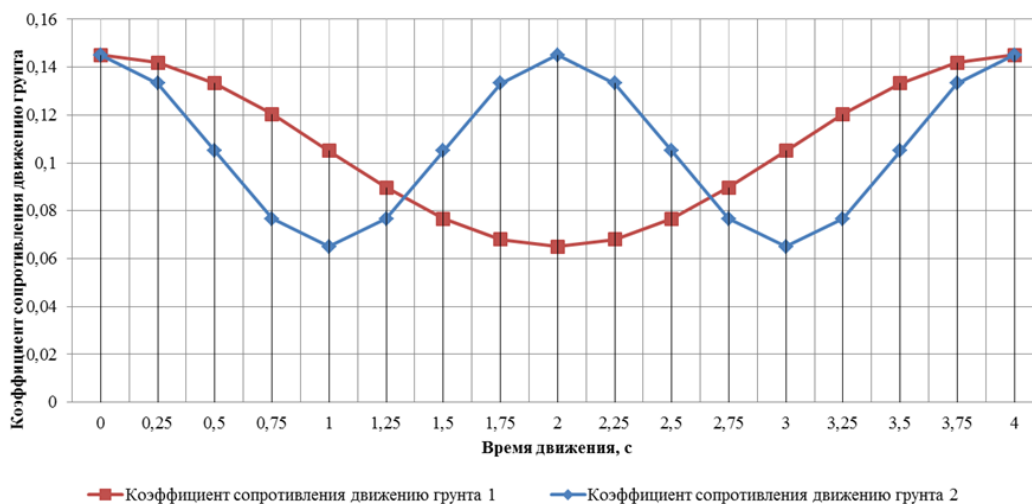


Рис. 5. Графики изменения коэффициента  $\mu_f$  во времени

Таблица 3

Результаты тягового расчета гусеничных контуров в толкающем режиме

Время $t$ , с	$\mu_{f1}$	$S_{min1}$ , Н	$S_{max1}$ , Н	$F_{тяг1}$ , Н	$v_1$ , м/с	$\mu_{f2}$	$S_{min2}$ , Н	$S_{max2}$ , Н	$F_{тяг2}$ , Н	$v_2$ , м/с
0	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373
0,25	0,141955	12500	65171,72	52671,72	0,329222	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642
0,5	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535
0,75	0,120307	12500	60676,10	48176,10	0,335263	0,076716	12500	51623,40	39123,40	0,347428
1	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697
1,25	0,089692	12500	54318,33	41818,33	0,343807	0,076716	12500	51623,40	39123,40	0,347428
1,5	0,076715	12500	51623,40	39123,40	0,347428	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535
1,75	0,068044	12500	49822,71	37322,71	0,349847	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642
2	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373
2,25	0,068044	12500	49822,71	37322,71	0,349847	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642
2,5	0,076715	12500	51623,40	39123,40	0,347428	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535
2,75	0,089692	12500	54318,33	41818,33	0,343807	0,076716	12500	51623,40	39123,40	0,347428
3	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697
3,25	0,120307	12500	60676,10	48176,10	0,335263	0,076716	12500	51623,40	39123,40	0,347428
3,5	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535
3,75	0,141955	12500	65171,72	52671,72	0,329222	0,133284	12500	63371,02	50871,02	0,331642
4	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373



Рис. 6. Графики изменения скоростей движения контуров во времени

Таблица 4

Расчетные значения параметров движения для построения траекторий

Время $t$ , с	$v_1$ , м/с	$L_1$ , м	$R_1$ , м	$v_2$ , м/с	$L_2$ , м	$R_2$ , м	$\alpha$ , град	$b$ , м
0	0,328373	0,082093303	0	0,328373211	0,082093303	0	0	5
0,25	0,329222	0,082305721	680,3072421	0,331642546	0,082910637	685,3072421	0,0069318	5
0,5	0,331642	0,082910637	210,08982	0,339535422	0,084883855	215,08982	0,0226114	5
0,75	0,335263	0,083815957	137,8045529	0,347428297	0,086857074	142,8045529	0,0348486	5
1	0,339535	0,084883855	152,0914703	0,350697633	0,087674408	157,0914703	0,031977	5
1,25	0,343807	0,085951754	474,7034637	0,347428297	0,086857074	479,7034637	0,0103742	5
1,5	0,347428	0,086857074	-220,08982	0,339535422	0,084883855	-215,08982	-0,0226114	5
1,75	0,349847	0,08746199	-96,083496	0,331642546	0,082910637	-91,083496	-0,0521546	5
2	0,350697	0,087674408	-78,545735	0,328373211	0,082093303	-73,545735	-0,0639547	5
2,25	0,349847	0,08746199	-96,08349	0,331642546	0,082910637	-91,08349	-0,0521546	5
2,5	0,347428	0,086857074	-220,08981	0,339535422	0,084883855	-215,08981	-0,0226114	5
2,75	0,343807	0,085951754	474,7034643	0,347428297	0,086857074	479,7034643	0,0103742	5
3	0,339535	0,084883855	152,0914703	0,350697633	0,087674408	157,0914703	0,0319773	5
3,25	0,335263	0,083815957	137,8045529	0,347428297	0,086857074	142,8045529	0,0348486	5
3,5	0,331642	0,082910637	210,0898199	0,339535422	0,084883855	215,0898199	0,0226114	5
3,75	0,329222	0,082305721	680,3072416	0,331642546	0,082910637	685,3072416	0,0069318	5
4	0,328373	0,082093303	0	0,328373211	0,082093303	0	0	5

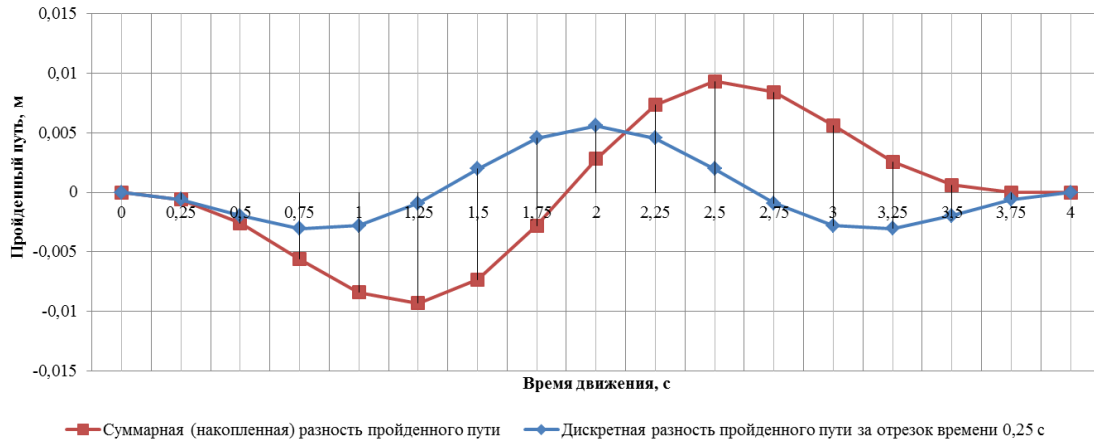


Рис. 7. Графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси



Рис. 8. График изменения угла поворота машины во времени

## 6. Третий этап исследования

Функции изменения коэффициента сопротивления движению грунта во времени на третьем этапе определяются выражениями

$$\mu_{f1}(t) = 0,02 \cos\left(\frac{90\pi t}{180}\right) + 0,125,$$

$$\mu_{f2}(t) = -0,02 \cos\left(\frac{90\pi t}{180}\right) + 0,085.$$

Графическое изображение данных функций представлено на рис. 9.

Полный период каждой функции составляет 4 секунды. Функции сходятся в момент времени, соответствующий двум секундам, величина коэффициента сопротивления

движению грунта в этот момент соответствует его медианному значению для полного интервала – 0,105.

Результаты тягового расчета (в толкающем режиме) представлены в табл. 5.

Графическая интерпретация разности скоростей движения тяговых контуров показана на рис. 10.

Результаты расчетов геометрических параметров позиционирования шасси приведены в табл. 6.

На рис. 11 показаны графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси. На рис. 12 – график изменения угла поворота машины во времени.

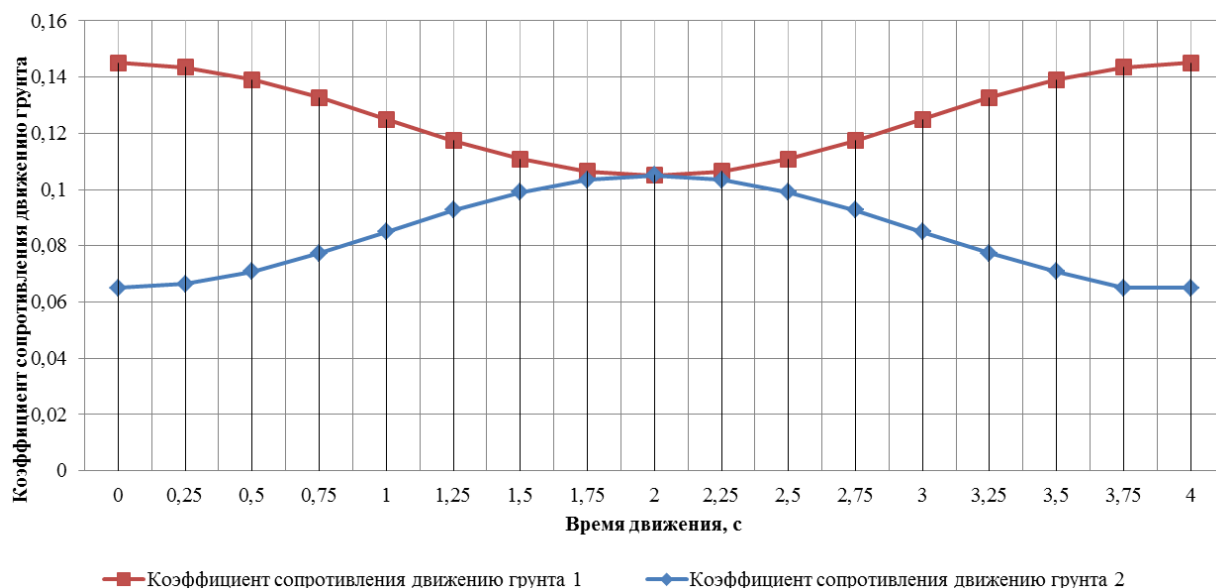


Рис. 9. Графики изменения коэффициента  $\mu_f$  во времени

Таблица 5

Результаты тягового расчета гусеничных контуров в толкающем режиме

Время $t$ , с	$\mu_f$	$S_{\min 1}$ , Н	$S_{\max 1}$ , Н	$F_{\max 1}$ , Н	$v_1$ , м/с	$\mu_f$	$S_{\min 2}$ , Н	$S_{\max 2}$ , Н	$F_{\max 2}$ , Н	$v_2$ , м/с
0	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697
0,25	0,143477	12500	65487,88	52987,88	0,328798	0,066522	12500	49506,55	37006,55	0,350272
0,5	0,139142	12500	64587,53	52087,53	0,330007	0,070858	12500	50406,90	37906,90	0,349062
0,75	0,132653	12500	63240,07	50740,07	0,331818	0,077346	12500	51754,36	39254,36	0,347252
1	0,125	12500	61650,62	49150,62	0,333954	0,085	12500	53343,80	40843,80	0,345116
1,25	0,117346	12500	60061,18	47561,18	0,336090	0,092654	12500	54933,24	42433,24	0,342980
1,5	0,110857	12500	58713,72	46213,72	0,337900	0,099142	12500	56280,71	43780,71	0,341170
1,75	0,106522	12500	57813,37	45313,37	0,339110	0,103478	12500	57181,05	44681,05	0,339960
2	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535	0,105	12500	57497,21	44997,21	0,339535
2,25	0,106522	12500	57813,37	45313,37	0,339110	0,103478	12500	57181,05	44681,05	0,339960
2,5	0,110857	12500	58713,72	46213,72	0,337900	0,099142	12500	56280,71	43780,71	0,341170
2,75	0,117346	12500	60061,18	47561,18	0,336090	0,092654	12500	54933,24	42433,24	0,342980
3	0,125	12500	61650,62	49150,62	0,333954	0,085	12500	53343,80	40843,80	0,345116
3,25	0,132653	12500	63240,07	50740,07	0,331818	0,077346	12500	51754,36	39254,36	0,347252
3,5	0,139142	12500	64587,53	52087,53	0,330007	0,070858	12500	50406,90	37906,90	0,349062
3,75	0,143477	12500	65487,88	52987,88	0,328798	0,065	12500	49506,55	37006,55	0,350272
4	0,145	12500	65804,04	53304,04	0,328373	0,065	12500	49190,39	36690,39	0,350697





Рис. 10. Графики изменения скоростей движения контуров во времени

Таблица 6

Расчетные значения параметров движения для построения траекторий

Время $t$ , с	$v_1$ , м/с	$L_1$ , м	$R_1$ , м	$v_2$ , м/с	$L_2$ , м	$R_2$ , м	$\alpha$ , град	$b$ , м
0	0,328373	0,082093303	73,54573514	0,350697	0,087674408	78,54573514	0,063954759	5
0,25	0,328798	0,082199512	76,55457057	0,350272	0,087568199	81,55457057	0,061520626	5
0,5	0,330007	0,08250197	86,59312057	0,349062	0,087265741	91,59312057	0,054588801	5
0,75	0,331818	0,08295463	107,4973188	0,347252	0,086813081	112,4973188	0,044214593	5
1	0,333954	0,083488579	149,5914703	0,345116	0,086279132	154,5914703	0,03197738	5
1,25	0,336090	0,084022528	243,8751635	0,342980	0,085745183	248,8751635	0,019740166	5
1,5	0,337900	0,084475188	516,7727605	0,341170	0,085292522	521,7727605	0,009365958	5
1,75	0,339110	0,084777646	1995,536471	0,339960	0,084990065	2000,536471	0,002434133	5
2	0,339535	0,084883855	0	0,339535	0,084883855	0	0	5
2,25	0,339110	0,084777646	1995,536473	0,339960	0,084990065	2000,536473	0,002434133	5
2,5	0,337900	0,084475188	516,7727607	0,341170	0,085292522	521,7727607	0,009365958	5
2,75	0,336090	0,084022528	243,8751635	0,342980	0,085745183	248,8751635	0,019740166	5
3	0,333954	0,083488579	149,5914703	0,345116	0,086279132	154,5914703	0,031977379	5
3,25	0,331818	0,08295463	107,4973188	0,347252	0,086813081	112,4973188	0,044214593	5
3,5	0,330007	0,08250197	86,59312057	0,349062	0,087265741	91,59312057	0,054588801	5
3,75	0,328798	0,082199512	76,55457058	0,350272	0,087568199	81,55457058	0,061520626	5
4	0,328373	0,082093303	73,54573514	0,350697	0,087674408	78,54573514	0,063954759	5

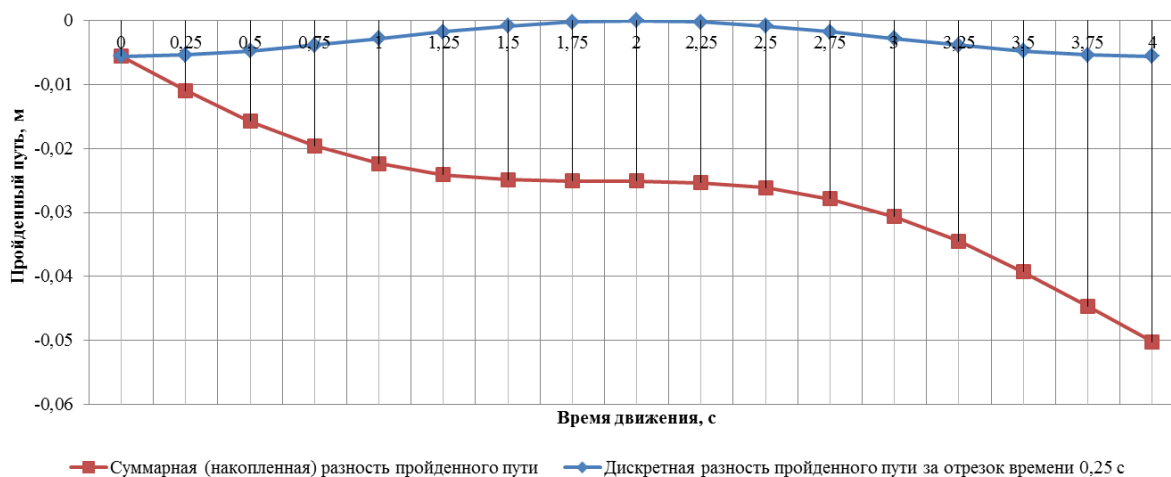


Рис. 11. Графики разностей пройденного пути каждым из контуров гусеничного шасси

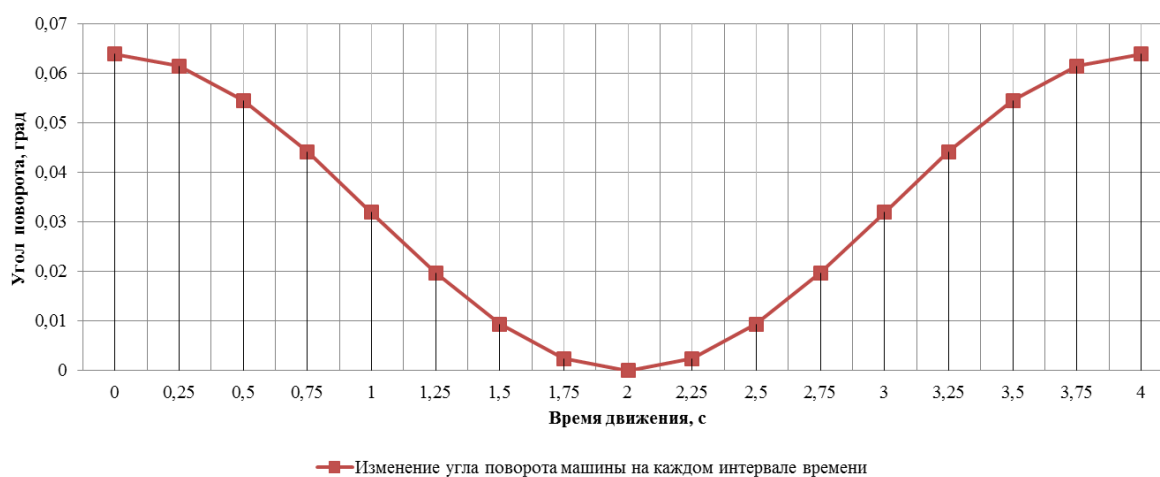


Рис. 12. График изменения угла поворота машины во времени

## 7. Результаты исследования

Анализируя полученные данные можно сделать следующие общие выводы:

1) максимальная разность пройденного пути контурами гусеничного шасси в результате неравномерного воздействия коэффициента сопротивления движению грунта на первом этапе составила примерно 4,4 мм; на втором этапе – 9,5 мм; на третьем этапе – 50 мм; значительный отрыв результата третьего этапа позволяет сделать следующий вывод: *циклическое изменение коэффициента сопротивления грунта во всем возможно диапазоне значений попеременно под каждой гусеницей незначительно влияет на изменение положения машины – гораздо более опасной является ситуация, в которой ко-*

*эффициенты сопротивления для каждой гусеницы постоянно находятся в разных эшелонах одного диапазона, что соответствует работе гусениц на стыке двух типов грунтов;*

2) следует отметить, что забегание одной гусеницы на величину 50 мм по отношению к другой в течение четырех секунд значительно превышает погрешности систем лазерного нивелирования, составляющие 10 – 20 мм; в реальных условиях полученный результат приводит к мгновенному управляющему воздействию системы нивелирования для исправления отклонения в следящем режиме работы;

3) применение в исследовании полного интервала изменения коэффициента сопротивления движению согласно [3] значитель-

но влияет на изменение тяговых усилий в каждом гусеничном контуре и на вариативность скоростей движения в соответствии с видом механических характеристик при тяговом расчете [4]; при этом можно предположить, что в случае отклонения механических характеристик электродвигателей гусеничных контуров возможны сочетания, при которых параметры изменения положения машины примут еще более весомые значения [5, 6].

4) максимальный угол разворота машины по отношению к исходному положению составляет на первом этапе исследования примерно  $0,016^\circ$ , на втором этапе –  $0,064^\circ$ , на третьем этапе –  $0,064^\circ$ ; отсутствие кратных изменений величины угла поворота по аналогии с кратным увеличением забегания объясняется одновременным (вместе с забеганием) кратным увеличением мгновенных радиусов поворота гусениц, что приводит к примерному сохранению соотношений углов поворота на разных этапах исследования; дополнительно стоит указать, что максимальные значения углов поворота во втором и третьем исследованиях соответствуют временным отрезкам, на которых коэффициенты сопротивления движению грунта нахо-

дились в противофазе и принимали, соответственно, максимально и минимально возможные значения.

## 8. Заключение

Проведенное в настоящей статье исследование наглядно демонстрирует влияние случайных факторов при движении гусеничной машины (коэффициента сопротивления движению грунта) на её положение в пространстве. В определенных сочетаниях коэффициентов сопротивления под разными гусеницами величины отклонений положения машины могут значительно превышать заявленные производителями погрешности точности систем позиционирования, реагирующие в следящем режиме и восстанавливающие заданную траекторию её движения.

Дальнейшее изучение внутренних факторов, влияющих на совместную работу гусеничных движителей в одном шасси, и создание математического описания протекающих при этом процессов позволит разрабатывать принципиально новые управляющие алгоритмы систем позиционирования на основе программного управления данным процессом.

## Список литературы

1. Марковнина А.И., Кривов А.В., Макаров В.С., Беляков В.В. Системы позиционирования для экскаваторной техники // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 01–02 октября 2020 года. Брянск: Брянский государственный технический университет, 2020. С.37-46.

2. Гончаров К.А. Моделирование распределения усилий в тяговых контурах гусеничных движителей в условиях переменности сопротивления движению грунтов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2023. №2. С. 127–133. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-02-127-133.

3. Гончаров К.А. Инверсионный подход к тяговому расчету гусеничных движителей подъемно-транспортных, строительных и

## References

1. Morkovnina A.I., Krivov A.V., Makarov V.S., Belyakov V.V. *Sistemy pozitsionirovaniya dlya ekskavatornoy tekhniki // Innovatsionnoe razvitie podemno-transportnoy tekhniki: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Bryansk, 01-02 oktyabrya 2020 goda. Bryansk, Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2020, pp. 37-46. (In Russian)*

2. Goncharov K.A. Simulation of distribution of forces in traction circuit tracked chassis under conditions of variability ground resistance. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2023, No.2, pp. 127-133. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-02-127-133 (In Russian)*

3. Goncharov K.A. Inversion approach to traction calculation of tracked chassis of hoisting, construction, and road machines.



УДК (UDC) 625.1/.5:629.369

ОБОСНОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРИНЦИПА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ  
ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОВ АЭРОМОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ УСТАНОВОК В  
ТРАНСПОРТНОМ СОСТОЯНИИJUSTIFICATION AND ANALYSIS OF THE PRINCIPLE OF ENSURING  
THE UNIVERSALITY OF THE AIRMOBILE ROPE UNITS OVERALL DIMENSIONS  
IN TRANSPORT CONDITIONЛагереv А.В.  
Lagerev A.V.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)  
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** Применение аэромобильных канатных установок для развертывания или перебазирования на новое место эксплуатации мобильных канатных дорог позволяет гибко использовать возможности современных видов грузового транспорта – воздушного, автомобильного, железнодорожного и водного. В статье предложены и проанализированы четырнадцать возможных альтернативных вариантов технологии перебазирования аэромобильных канатных установок, отличающиеся различным сочетанием и чередованием использования возможных видов транспортных средств с учетом географических и рельефных особенностей региона, технических, организационных и экономических возможностей, а также территориального размещения транспортной инфраструктуры (сети автомобильных или железных дорог, водных путей, наличия аэропортов или вертолетных площадок и др.). Также был сформулирован и обоснован принцип обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии. Его соблюдение при проектировании аэромобильных канатных установок обеспечивает как гибкость разработки технологии доставки оборудования мобильных канатных дорог к месту их эксплуатации, так и гибкость выполнения работ по монтажу или демонтажу указанного оборудования на месте эксплуатации. На основе анализа технических характеристик универсальных транспортных контейнеров ИСО серии 1 и универсальных авиационных контейнеров, используемых в самолетах отечественных и зарубежных фирм-производителей, сформулированы рекомендации о выборе габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии, на которые целесообразно ориентироваться при проектировании и компоновке основного и сопутствующего технологического оборудования мобильных канатных дорог.

**Ключевые слова:** аэромобильная канатная установка, универсальный транспортный контейнер, универсальный авиационный контейнер, средство доставки, вариант перебазирования.

**Abstract.** The use of airmobile rope units for deployment or relocation to a new place of operation of mobile ropeways allows you to flexibly use the capabilities of modern types of cargo transport – air, road, rail and water. The article proposes and analyzes fourteen possible alternative options for the technology of relocation of airmobile rope units, characterized by a different combination and alternation of the use of possible types of vehicles, taking into account the geographical and relief features of the region, technical, organizational and economic opportunities, as well as the territorial location of transport infrastructure (networks of roads or railways, waterways, the presence of airports or helicopter sites, etc.). The principle of ensuring the universality of the overall dimensions of airmobile rope units in transport condition was also formulated and justified. Its observance in the design of airmobile rope units provides both flexibility in the development of technology for the delivery of mobile ropeway equipment to the place of their operation, and flexibility in the mantling or dismantling of the specified equipment at the operation place. Based on the analysis of the technical characteristics of universal transport containers ISO series 1 and universal aviation containers used in aircraft of domestic and foreign manufacturers, recommendations are formulated on the choice of overall dimensions of airmobile rope units in transport condition, which it is advisable to focus on when designing and assembling the main and related technological equipment of mobile ropeways.

**Keywords:** airmobile rope unit, universal transport container, universal aviation container, delivery vehicle, relocation variant.



Дата получения статьи:	23.07.2023	†	Date of manuscript reception:	23.07.2023
Дата принятия к публикации:	11.09.2023	†	Date of acceptance for publication:	11.09.2023
Дата публикации:	25.09.2023	†	Date of publication:	25.09.2023

**Сведения об авторах:**

**Лагереv Александр Валерьевич** – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru).  
ORCID: 0000-0003-0380-5456

**Authors' information:**

**Alexander V. Lagerev** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,  
e-mail: [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru).  
ORCID: 0000-0003-0380-5456

**Благодарности**

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-00798)

**Acknowledgements**

The study was supported by the grant of Russian science Foundation (project No. 22-29-00798)

**1. Введение**

В настоящее время мобильные канатные дороги рассматриваются как перспективный вид оборудования двойного использования для решения транспортных задач в пределах относительно небольших по протяженности маршрутов в специфически сложных природных или деструктивных условиях – в горной местности с резко переменным по высоте рельефом, на экологически загрязненных или уязвимых территориях, очагах природных или техногенных катастроф и разрушений, труднодоступных и отдаленных местах [1].

Интерес к мобильным канатным дорогам, прежде всего, к грузовым канатным дорогам стал заметен преимущественно в последние 10-15 лет. Более ранние исследования, как правило, были направлены на создание методов проектирования, анализа работоспособности и эксплуатации стационарных грузовых и пассажирских многопролетных канатных дорог [2-5]. Известны различные конструкции мобильных канатных дорог, из которых в настоящее время эксплуатируются самоходные трелевочные машины для производства лесохозяйственных работ [6]. В процессе многолетней эксплуатации они показали свою эффективность. Подобная конструкция реализована в отечественных передвижных и самоходных установках СТУ-3С, ЛЛ-24, ЛЛ-31, МЛ-43, МЛ-139 и др. [7]. За рубежом используемые в настоящее время мобильные трелевочные канатные установки

выпускаются преимущественно такими фирмами-производителями, как Valentini (Италия), Madill (Канада), Tajfun (Словения), Larix (Чехия), Gantner (Австрия) [6]. Значительное число мобильных конструкций канатных дорог известны лишь в качестве технических предложений и патентов [6].

Наиболее разрабатываемой конструкцией мобильных канатных дорог можно считать однопролетные канатные дороги маятникового типа на базе двух сопряженных единой несущей канатной системой мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов, каждый из которых представляет собой автономную самоходную колесную машину на специальном шасси высокой проходимости и грузоподъемности [8]. В комплексе исследовательских работ, аналитический обзор которых содержится в [9, 10], в рамках построения предложенной в [11] комплексной математической модели были разработаны фундаментальные основы проектирования и моделирования рабочих процессов при эксплуатации подобных мобильных канатных дорог, включая создание их цифровых двойников [12].

Несмотря на несомненные достоинства использования автономных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов для развертывания и перебазирования мобильных канатных дорог на труднодоступной местности, необходимо отметить их следующий функциональный недостаток: ограниченность транспортировки основного технологического и сопутствующего оборуду-

дования мобильных канатных дорог только одним видом транспорта – наземным на базе колесных или гусеничных шасси. Поэтому логическим развитием указанной конструкции является создание мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок, предназначенных для транспортировки всеми современными видами грузового транспорта – автомобильного, воздушного, железнодорожного и водного. Одно из первых технических решений конструктивного исполнения аэромобильных канатных установок содержится в [13].

К числу технических задач, для решения которых целесообразно использовать рассматриваемую далее аэромобильную канатную установку, можно отнести [13]:

1) расширение возможности использования мобильной канатной дороги в труднодоступных и (или) в заранее необорудованных местностях со сложным природным рельефом, доступ к которым с помощью известных видов транспорта, кроме воздушного, невозможен или весьма проблематичен по причине недопустимых затрат средств или времени (например, в прибрежных зонах Арктики и Приморья, таежных районах Сибири и т.п.);

2) существенное снижение финансовых и материальных затрат, сокращение числа эксплуатационного персонала и повышение оперативности развертывания (монтажа и демонтажа) мобильной канатной дороги, существенное снижение издержек на эксплуатацию и техническое обслуживание мобильной канатной дороги во время ее работы;

3) повышение надежности эксплуатации мобильной канатной дороги, в частности, повышение таких основных количественных характеристик, как коэффициенты готовности, использования, оперативной готовности и др.

## 2. Постановка задачи исследования

Вследствие того, что мобильные канатные дороги на базе аэромобильных канатных установок предназначены преимущественно для использования на отдаленных и предвзрительно необорудованных территориях, ха-

рактеризующихся весьма низкой степенью транспортной доступности, технология их перебазирования и развертывания на новом месте эксплуатации является достаточно сложной и неоднозначной технико-экономической проблемой.

Характерной особенностью этой проблемы является необходимость использования, как правило, нескольких видов транспортных средств доставки аэромобильных канатных установок, а также обслуживающего их работу вспомогательного технологического оборудования и средств жизнеобеспечения эксплуатационно-технического персонала. Для решения этой проблемы могут быть использованы практически все известные виды грузового транспорта – автомобильный, воздушный (с помощью самолетов и вертолетов), водный (с помощью речных и морских судов) и железнодорожный.

Как результат, в каждом конкретном случае технология перебазирования аэромобильных канатных установок может быть реализована на основе нескольких альтернативных вариантов, отличающихся различным сочетанием и чередованием использования возможных видов транспортных средств, с учетом географических и рельефных особенностей региона, технических, организационных и экономических возможностей, а также территориального размещения транспортной инфраструктуры (сети автомобильных или железных дорог, водных путей, наличия аэропортов или вертолетных площадок и др.).

В этой связи одним из приоритетных принципов для разработки эффективной технологии перебазирования и развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок является реализация принципа обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок и сопутствующего технологического оборудования в транспортном состоянии. Названный принцип обеспечивает максимальное удобство транспортировки аэромобильных канатных установок и сопутствующего технологического оборудования максимально большим числом использующихся в настоящее время и перспективных

модификаций различных транспортных средств доставки.

### 3. Обоснование и анализ

Практическая необходимость в реализации принципа обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок и сопутствующего технологического оборудования в транспортном состоянии является важным отличием концепции создания однопролетных мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок от концепции создания однопролетных мобильных канатных дорог на базе самоходных колесных шасси высокой про-

ходимости и грузоподъемности [8, 14]. В последнем случае перебазирование мобильных канатных дорог с предыдущего места эксплуатации к новому месту развертывания осуществляется, как правило, с помощью одного средства транспортной доставки – самих автономных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов различного конструктивного исполнения [15, 16].

На рис. 1 приведена схема, иллюстрирующая возможные варианты использования различных средств доставки при перебазировании мобильной канатной дороги с предыдущего места эксплуатации (пункт А) к новому месту развертывания (пункт В).

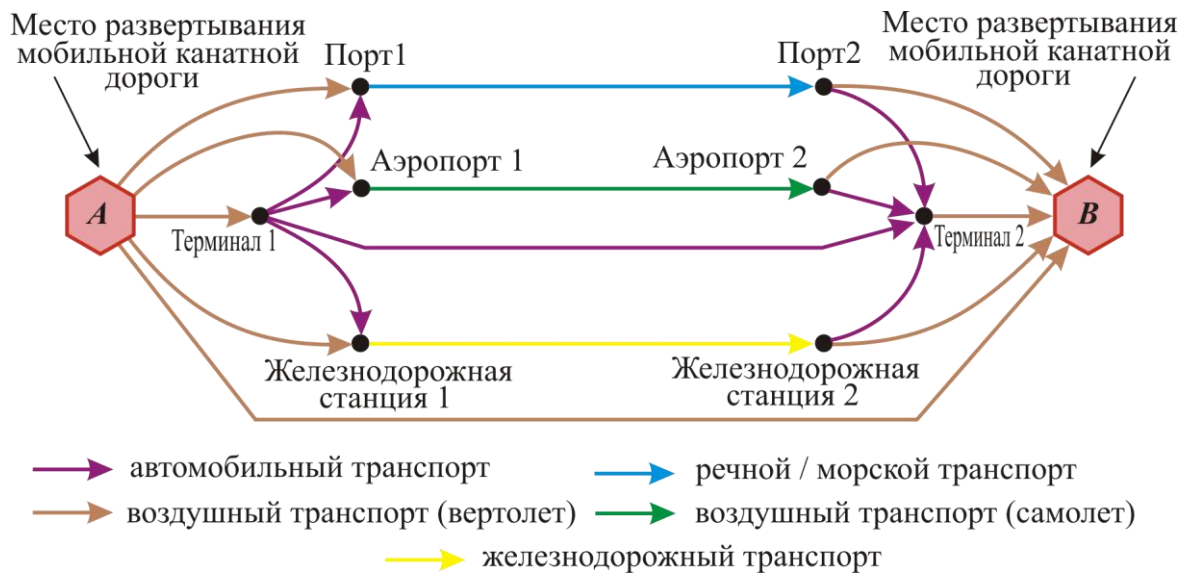


Рис. 1. Возможные варианты перебазирования мобильной канатной дороги на базе аэромобильных канатных установок

Анализ схемы, приведенной на рис. 1, позволяет выявить 14 альтернативных вариантов для разработки технологии перебазирования мобильной канатной дороги на базе аэромобильных канатных установок к новому месту своей эксплуатации. В их число входят следующие альтернативные варианты:

- вариант 1: пункт А → пункт В (используется только один вид транспорта – воздушный, вертолет);

- вариант 2: пункт А → железнодорожная станция 1 → железнодорожная станция 2 → пункт В (используются два вида транспорта – воздушный, вертолет; железнодорожный);

- вариант 3: пункт А → железнодорожная станция 1 → железнодорожная станция 2 → терминал 2 → пункт В (используются три вида транспорта – воздушный, вертолет; железнодорожный; автомобильный);

- вариант 4: пункт А → терминал 1 → железнодорожная станция 1 → железнодорожная станция 2 → пункт В (используются три вида транспорта – воздушный, вертолет; железнодорожный; автомобильный);

- вариант 5: пункт А → терминал 1 → железнодорожная станция 1 → железнодорожная станция 2 → терминал 2 → пункт В (используются три вида транспорта – воздуш-

ный, вертолет; железнодорожный; автомобильный);

- вариант 6: пункт А → терминал 1 → терминал 2 → пункт В (используются два вида транспорта – воздушный, вертолет; автомобильный);

- вариант 7: пункт А → терминал 1 → аэропорт 1 → аэропорт 2 → терминал 2 → пункт В (используются два вида транспорта – воздушный, вертолет, самолет; автомобильный);

- вариант 8: пункт А → терминал 1 → аэропорт 1 → аэропорт 2 → пункт В (используются два вида транспорта – воздушный, вертолет, самолет; автомобильный);

- вариант 9: пункт А → аэропорт 1 → аэропорт 2 → терминал 2 → пункт В (используются два вида транспорта – воздушный, вертолет, самолет; автомобильный);

- вариант 10: пункт А → аэропорт 1 → аэропорт 2 → пункт В (используется только один вид транспорта – воздушный, вертолет, самолет);

- вариант 11: пункт А → терминал 1 → порт 1 → порт 2 → терминал 2 → пункт В (используются три вида транспорта – воздушный, вертолет; автомобильный; водный);

- вариант 12: пункт А → терминал 1 → порт 1 → порт 2 → пункт В (используются три вида транспорта – воздушный, вертолет; автомобильный; водный);

- вариант 13: пункт А → порт 1 → порт 2 → терминал 2 → пункт В (используются три вида транспорта – воздушный, вертолет; автомобильный; водный);

- вариант 14: пункт А → порт 1 → порт 2 → пункт В (используются два вида транспорта – воздушный, вертолет; водный).

Указанные варианты отличаются как использованием различных видов средств доставки аэромобильных канатных установок и, соответственно, использованием различной наземной транспортной инфраструктуры, так и чередованием используемых средств доставки.

Во всех альтернативных вариантах необходима воздушная транспортировка аэромобильных канатных установок:

- однократная (от пункта А непосредственно до пункта В);

- двукратная (сначала от пункта А до терминала 1, железнодорожной станции 1, аэропорта 1 или порта 1; затем от терминала 2, железнодорожной станции 2, аэропорта 2 или порта 2 до пункта В).

Также во всех альтернативных вариантах (за исключением варианта 1) необходимо использовать два (варианты 2, 6, 10 и 14) или три (варианты 3-5, 7-9 и 11-13) вида транспорта, что требует проведения от двух до четырех перегрузочных операций между различными средствами доставки.

Такая мультитранспортная доставка аэромобильных канатных установок к новому месту развертывания мобильной канатной дороги в обязательном порядке требует, чтобы массо-габаритные характеристики этих установок в транспортном состоянии отвечали всем тем требованиям, которые предъявляются нормативно-распорядительными документами, регламентирующими перевозку грузов автомобильным [17-19], воздушным [20], железнодорожным [21-23] и водным [24-26] транспортом.

Требуемая универсальность массогабаритных характеристик аэромобильных канатных установок может быть реализована при условии, что габаритные размеры канатных установок в транспортном состоянии соответствуют габаритным размерам универсальных транспортных контейнеров, а их вес, включая вес несущей рамы с установленным на ней основным и вспомогательным технологическим оборудованием, соответствует весовой линейке универсальных транспортных контейнеров.

Идентификация современных универсальных грузовых транспортных контейнеров приведена в ISO 668:2013/Amd.1:2016 [27] и продублирована в отечественном ГОСТ Р 53350-2009 [28]. Они предназначены для перевозки грузов в смешанном сообщении железнодорожным, водным и автомобильным транспортом (исключая воздушный транспорт). Массогабаритные характеристики указанных контейнеров приведены в табл. 1.

Для перевозки грузов воздушным транспортом с помощью современных транспортных самолетов используются универсальные авиационные контейнеры. Применительно к



использованию на российских транспортных самолетах их идентификация содержится в ГОСТ 20917-87 [30]. Массогабаритные характеристики авиационных контейнеров, используемых самолетами отечественных фирм-производителей, приведены в табл. 2. Транспортные самолеты зарубежных фирм-производителей ориентированы на использование контейнеров на основе универсаль-

ных паллет. В табл. 2 также приведены массогабаритные характеристики авиационных контейнеров на основе универсальных паллет, используемых самолетами зарубежных фирм-производителей [31, 32]. Спецификация паллет соответствует классификации Международной ассоциации воздушного транспорта IATA.

Таблица 1  
Массогабаритные характеристики универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1 [28, 29]

Тип контейнера	Габаритные размеры, мм			Масса брутто, кг	Максимальная загрузка, кг
	длина	ширина	высота		
45-футовые контейнеры					
1EEE	13716	2438	2896	30480	26580
1EE			2591		
40-футовые контейнеры					
1AAA	12192	2438	2896	30480	26580
1AA			2591		
1A			2438		
1AX			< 2438		
1BBB	9125	2438	2896	30480	26580
1BB			2591		
1B			2438		
1BX			< 2438		
20-футовые контейнеры					
1CC	6058	2438	2591	30480	27530
1C			2438		
1CX			< 2438		
1DD	2991	2438	2591	24000	21920
1D			2438	10160	
1DX			< 2438		

Анализ данных табл. 1 и 2 позволяет выполнить ориентировочную оценку одной из ключевых характеристик аэромобильных канатных установок – длину концевой опоры  $l_i$ . Длина концевой опоры, которую можно разместить внутри транспортного контейнера, определяется как его габаритными размерами (табл. 1 и 2), так и положением продольной оси опоры внутри контейнера. Возможны четыре варианта расположения продольной оси концевой опоры внутри контейнера, показанные на рис. 2:

1 – вдоль продольной оси контейнера в горизонтальной плоскости длиной

$b_1 = \overline{A_1B_1}$  (вариант определяет минимально возможную длину  $l_i$ );

2 – вдоль диагонали продольной плоскости контейнера длиной  $b_2 = \overline{A_2B_2}$ ;

3 – вдоль диагонали горизонтальной плоскости контейнера длиной  $b_3 = \overline{A_3B_3}$ ;

4 – вдоль диагонали параллелепипеда длиной  $b_4 = \overline{A_4B_4}$  (вариант определяет максимально возможную длину  $l_i$ ).



Таблица 2

Массогабаритные характеристики авиационных контейнеров [30-32]

Тип контейнера	Габаритные размеры, мм			Внутренний объем, м <sup>3</sup>	Максимальная масса брутто, кг
	длина	ширина	высота		
Отечественные					
УАК-5	2991	2438	2438	14,15	5670
УАК-10	6058			29,60	11340
УАК-20	12192			60,60	20410
Зарубежные					
РУВ Q6	1400	2438	2438	8,3	
FLA (P9P)	3175	1534	1626	7,0	3175
PMC LD		2438	2438	11,5	4626
AMA (P6P)				18,9	6804
PMC Q6					
PMC Q7			2997	21,2	
РУВ Q7					
PZA Q6	4978	2438	1626	19,7	
PGA/PGF Q7			2438	29,5	
PZA Q7					
PGA/PGF Q6	6058	2438	2438	36,0	

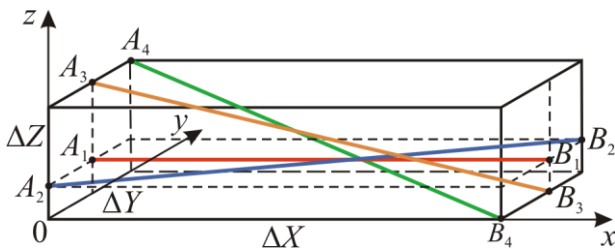


Рис. 2. Варианты расположения продольной оси концевой опоры внутри транспортного контейнера

Длина диагонали или продольной оси контейнера для  $i$ -го варианта расположения продольной оси концевой опоры определяется соответствующей зависимостью:

$$b_1 = \Delta X;$$

$$b_2 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2};$$

$$b_3 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Z_2^2};$$

$$b_4 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z_2^2},$$

где  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  - габаритные размеры транспортного контейнера (длина, ширина, высота).

Ориентировочная длина концевой опоры  $l_{t,i}$  для  $i$ -го варианта выражается следующим соотношением

$$l_{t,i} = \xi_{com,i} n_{s,i} b_i,$$

где  $b_i$  - длина диагонали или продольной оси контейнера для  $i$ -го варианта расположения продольной оси концевой опоры;  $\xi_{com,i} < 1$  - коэффициент, учитывающий неполноту использования длины диагонали или продольной оси контейнера  $b_i$ ;  $n_{s,i}$  - число секций концевой опоры.

В табл. 3 и 4 приведены ориентировочные значения длины концевой опоры при использовании универсальных транспортных контейнеров ИСО серии 1 и универсальных авиационных контейнеров различных типоразмеров.

Для создания концевых опор двухсекционной конструкции аэромобильных канатных установок может быть использован опыт проектирования грузоподъемных стрел переменной длины для крановых установок стрелового типа на базе мобильных колесных, гусеничных или путевых машин. Для удлинения концевой опоры относительно ее транспортной длины возможны два подхода:

1) телескопирование концевой опоры, вследствие чего ее конструкция будет аналогична конструкции телескопируемых стрел, представленных в [33-35];

Таблица 3

Ориентировочная длина концевой опоры при использовании транспортных контейнеров  
ИСО серии 1 различных типоразмеров

Тип контейнера	Ориентировочная длина концевой опоры, м			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Односекционная концевая опора				
1EEE	11,0	11,1	11,2	11,4
1EE				11,3
1AAA	9,8	9,9	10,0	10,2
1AA				10,1
1A, 1AX			9,9	
1BBB	7,3	7,6	7,7	7,9
1BB		7,5	7,6	7,8
1B, 1BX		7,5	7,5	
1CC	4,8	5,2	5,3	5,6
1C, 1CX			5,2	5,5
1DD	2,4	3,1	3,1	3,7
1D, 1DX				3,6
Двухсекционная концевая опора				
1EEE	22,0	22,3	22,4	22,8
1EE				22,7
1AAA	19,6	19,9	20,0	20,4
1AA				20,3
1A, 1AX			19,9	
1BBB	14,6	15,1	15,4	15,8
1BB			15,2	15,6
1B, 1BX			15,1	
1CC	9,6	10,4	10,7	11,2
1C, 1CX			10,4	11,1
1DD	4,8	6,2	6,2	7,4
1D, 1DX				7,3

Примечание: в расчетах было принято  $\zeta_{com,i} = 0,8$ .

Таблица 4

Ориентировочная длина концевой опоры при использовании универсальных авиационных контейнеров различных типоразмеров

Тип контейнера	Ориентировочная длина концевой опоры, м			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Односекционная концевая опора				
PYB Q6	1,2	2,3	2,3	3,0
YAK-5	2,4	3,1	3,1	3,7
FLA (P9P)	2,6	2,8	2,9	3,1
PMC LD		3,2	2,9	3,5
AMA (P6P), PMC Q6		3,2	3,2	3,8
PMC Q7, PYB Q7		3,2	3,2	4,0
PZA Q6	4,0	4,4	4,2	4,6
PGA/PGF Q7, PZA Q7		4,4	4,4	4,9
YAK-10, PGA/PGF Q6	4,9	5,2	5,2	5,6
YAK-20	9,8	10,0	10,0	10,2

Окончание табл. 4

Тип контейнера	Ориентировочная длина концевой опоры, м			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Двухсекционная концевая опора				
РУВ Q6	2,3	4,5	4,5	6,0
УАК-5	4,8	6,2	6,2	7,3
FLA (P9P)	5,1	5,6	5,7	6,2
PMC LD		5,7	5,7	6,9
AMA (P6P), PMC Q6		5,7	6,4	7,5
PMC Q7, РУВ Q7		5,7	6,4	8,0
PZA Q6	8,0	8,9	8,4	9,2
PGA/PGF Q7, PZA Q7		8,9	8,9	9,7
УАК-10, PGA/PGF Q6	9,7	10,4	10,4	11,2
УАК-20	19,5	19,9	19,9	20,3

Примечание: в расчетах было принято  $\xi_{com,i} = 0,8$ .

2) надстройка концевой опоры с помощью отдельной дополнительной секции по аналогии с удлинением стрел грузоподъемных кранов за счет использования дополнительных секций-вставок [36-38].

Анализ данных табл. 3 показывает, что ориентация на 45- и 40-фунтовые транспортные контейнеры при компоновке основного технологического оборудования аэромобильных канатных установок позволяет обеспечивать достаточную длину концевой опоры уже при ее односекционном исполнении, что является положительным фактором при проектировании вследствие большей простоты и технологичности конструкции, меньшей сложности в обеспечении прочности, устойчивости и ремонтпригодности.

Рис. 3 дает представление об относительной разнице между максимальной (вариант

4) и минимальной (вариант 1) ориентировочными длинами концевой опоры  $\bar{l}_t = l_{t,4}/l_{t,1}$  для разных типоразмеров транспортных контейнеров. Видно, что для 45- и 40-фунтовых контейнеров относительная разница составляет менее 10% (от 2,7 до 8,2%), тогда как для 20-фунтовых контейнеров – более 50% (от 50 до 54%). Таким образом, при ориентации на использование 45- и 40-фунтовых транспортных контейнеров при компоновке основного технологического оборудования аэромобильных канатных установок можно использовать любой из четырех альтернативных вариантов расположения концевой опоры в транспортном состоянии, так как выбор варианта практически не сказывается на увеличении ее длины.

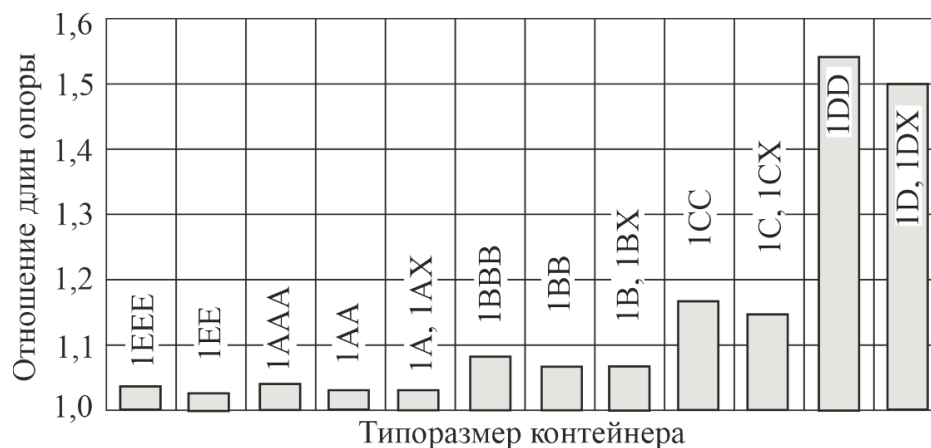


Рис. 3. Относительная разница между предельными длинами концевой опоры в зависимости от типоразмера транспортного контейнера

Сравнительный анализ массогабаритных характеристик универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1 (табл. 1) и универсальных авиационных контейнеров (табл. 2) позволяет сделать ряд необходимых выводов относительно габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии, целесообразных с точки зрения возможности их перевозки наземным и воздушным транспортом.

1. Применительно ко всем видам отечественного воздушного, автомобильного, железнодорожного и водного транспорта во внутрироссийском и международном сообщении универсальные грузовые транспортные контейнеры ИСО серии 1 и универсальные авиационные контейнеры имеют согласованные габаритные размеры: 20-фунтовые контейнеры 1D и 1C соответствуют авиационным контейнерам УАК-5 и УАК-10, 40-фунтовый контейнер 1A – авиационному контейнеру УАК-20. Однако разрешенная масса брутто контейнеров с одинаковыми габаритными размерами для авиационных перевозок значительно меньше, чем для наземных перевозок: масса брутто контейнеров УАК-5, УАК-10 и УАК-20 меньше массы брутто сравнимых транспортных контейнеров ИСО серии 1 в 1,8, 2,7 и 1,5 раза соответственно. Это обусловлено разницей технических характеристик погрузочно-разгрузочного оборудования, используемого при загрузке наземных и воздушных транспортных средств: грузоподъемность бортовых погрузочных устройств современных транспортных самолетов, как правило, не превышает 2,5 т, а для загрузки контейнеров большей массы используются грузовые лебедки и легкоъемное рольганговое оборудование [39].

2. Авиационные контейнеры, применяющиеся для загрузки грузовых отсеков транспортных самолетов зарубежных фирм-производителей, в целом ориентированы на габаритные размеры универсальных транспортных контейнеров, однако характеризуются большим разнообразием размеров и формы верхней части. Это обусловлено необходимостью более эффективного использования конфигурации пространственного

исполнения грузовых отсеков конкретных модификаций транспортных самолетов.

3. Вес единицы транспортируемого груза, который может быть размещен в пределах внутреннего пространства контейнеров, для транспортных контейнеров ИСО серии 1 существенно больше, чем для универсальных авиационных контейнеров. Это обусловлено разницей технических характеристик погрузочно-разгрузочного оборудования, используемого при загрузке наземных и воздушных транспортных средств: как правило, грузоподъемность бортовых погрузочных устройств современных транспортных самолетов ограничена, хотя имеются бортовые грузовые электролебедки и рольганговое оборудование для затягивания тяжелого груза.

4. Длина транспортных контейнеров ИСО серии 1 значительно превышает длину универсальных авиационных контейнеров: авиационные контейнеры по своей длине соответствуют наименее грузоподъемным 20-футовым контейнерам ИСО серии 1. Исключение составляет лишь авиационный контейнер УАК-20, длина которого сравнима с длиной 40-футового контейнера 1A. Как следствие, в транспортных контейнерах ИСО серии 1 можно разместить основное технологическое оборудование аэромобильных канатных установок, имеющее большие габаритные конструктивные размеры. Как показывают данные табл. 3 и 4, в них можно разместить концевую опору большей длины и, соответственно, большего веса, что положительно сказывается на повышении грузопро пространственных характеристик однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа [14].

#### 4. Заключение

Применение аэромобильных канатных установок для развешивания или перебазирования на новое место эксплуатации мобильной канатной дороги позволяет гибко использовать возможности всех существующих видов грузового транспорта – воздушного (вертолет, самолет), автомобильного (колесные и гусеничные шасси), железнодо-

рожного (вагоны и платформы), водного (морские и речные суда, паромы).

Технология развертывания и перебазирования аэромобильных канатных установок может быть реализована на основе четырнадцати альтернативных технологических вариантов, отличающихся различным сочетанием и чередованием использования возможных видов транспортных средств, с учетом географических и рельефных особенностей региона, технических, организационных и экономических возможностей, а также территориального размещения транспортной инфраструктуры. При этом возможность использования вертолетов в качестве транспорта «последней мили» обеспечивает создание мобильных канатных дорог практически в любых природно-географических и климатических условиях независимо от степени транспортной доступности требуемого места эксплуатации [43].

Для гибкой реализации возможностей всех видов современных грузовых транспортных средств по развертыванию или перебазированию мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок при их проектировании и выполнению компоновки основного и сопутствующего технологического оборудования целесообразно ориентироваться на определенные типы универсальных транспортных контейнеров ИСО серии 1 и универсальных авиационных кон-

тейнеров, размеры которых взаимно соответствуют: 20-фунтовые контейнеры 1D, 1C и авиационные контейнеры УАК-5, УАК-10; 40-фунтовый контейнер 1А и авиационный контейнер УАК-20.

Хорошо видно, что попытка учета массогабаритных возможностей всех современных видов транспорта приводит к существенному ограничению возможностей конструктора по проектированию и компоновке аэромобильных канатных установок. Как показывают исследования из смежных областей наук, в частности, инженерной психологии, дополнительные ограничения, накладываемые на работу инженерно-конструкторского персонала при создании сложных технических объектов и систем, оказывают негативное воздействие на результаты их труда [44]. Отказ от ориентации на современные транспортные самолеты для доставки основного технологического и сопутствующего оборудования мобильных канатных дорог резко расширяет указанные возможности конструктора. Учитывая, что основное преимущество воздушной доставки с помощью самолетов – доставка на большие расстояния – вполне может быть реализовано с помощью автомобильного, железнодорожного или водного транспорта, то такой отказ вполне оправдан.

### Список литературы

1. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Моделирование рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2021. 204 с.  
DOI: 10.5281/zenodo.6044972.
2. Wallis-Tayler A.J. Aerial or Wire-Ropes Tramways. Their Construction and Management. London: Crosby Lockwood, 1881. 200 p.
3. Pestal E. Seilbahnen und Seilkrane in Holz und Materialtransport. Wien: Fromme, 1961. 410 p.
4. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М.-Л.:

### References

1. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Modelirovanie rabochikh protsessov mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Modeling of working processes of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2021. 204 p. DOI: 10.5281/zenodo.6044972. (In Russian)
2. Wallis-Tayler A.J. Aerial or Wire-Ropes Tramways. Their Construction and Management. London, Crosby Lockwood, 1881. 200 p.
3. Pestal E. Seilbahnen und Seilkrane in Holz und Materialtransport. Wien, Fromme, 1961. 410 p.
4. Dukelskiy A.I. *Podvesnyye kanatnye dorogi i kabelnye krany* [Overhead cableways and cable cranes]. Moscow-Leningrad, Mashinostroenie,



Машиностроение, 1966. 484 с.

5. Беркман М.Б., Бовский Г.Н., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. Подвесные канатные дороги. Москва: Машиностроение, 1984. 264 с.

6. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи Б.Ч., Лагереv И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с.

DOI: 10.5281/zenodo.3551132.

7. Передвижные и самоходные канатные установки [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://lektsii.org/1-88050.html> (дата обращения 29.05.2023).

8. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2020. 207 с.

9. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2019 году в сфере транспортно-логистических технологий и машин для урбанизированной среды // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135

10. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2021 году в сфере проектирования и моделирования рабочих процессов в мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 1. С. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26

11. Таричко В.И., Химич А.В. Комплексная математическая модель мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №4. С. 523-532. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-523-532

12. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Общий подход к созданию цифровых двойников

1966. 484 p. (In Russian)

5. Berkman M.B., Bovskiy G.N., Kuybida G.G. *Podvesnye kanatnye dorogi* [Aerial ropeways]. Moscow, Mashinostroenie, 1984. 264 p.

6. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urban environment]. Rostov-on-Don, Don State Technical University, 2019. 268 p. DOI: 10.5281/zenodo.3551132 (In Russian)

7. *Peredvizhnye i samokhodnye kanatnye ustanovki* [site]. Available: <https://lektsii.org/1-88050.html> (accessed 29 May 2023). (In Russian)

8. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktsii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2020. 207 p. (In Russian)

9. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of the Bryansk State University in 2019 in the field of transport and logistics technologies and machines for the urban environment. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.1, pp. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135. (In Russian)

10. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of Bryansk State University in 2021 in the field of design and modeling of work processes in mobile transport and overloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26. (In Russian)

11. Tarichko V.I., Khimich A.V. Comprehensive model of the mobile transport and overloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.4, pp. 523-532. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-523-532 (In Russian)

12. Lagerev A.V., Lagerev I.A. A general approach to the creation of digital twins of mobile ropeways based on mobile transport and reloading rope units. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 38-60. DOI: 10.22281/2413-

мобильных канатных дорог на основе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 1. С. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-38-60

13. Пат. 2780877 Рос. Федерация: МПК<sup>7</sup> В61В 7/00. Быстромонтируемая мобильная канатная дорога / Лагерев А.В., Лагерев И.А. – №2022117303; заявл. 24.06.2022; опубл. 04.10.2022, Бюл. № 32.

14. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Надежность и безопасность эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2022. 207 с.

15. Лагерев И.А., Лагерев А.В., Таричко В.И. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 236-255. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250

16. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Компоновка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

17. Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 21 декабря 2020 г. № 2200.

18. Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта: федеральный закон Рос. Федерации от 08 ноября 2007 № 259-ФЗ.

19. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.

9920-2022-08-01-38-60 (In Russian)

13. Patent RU 2780877, B61B 7/00. *Bystromontiruemaya mobilnaya kanatnaya doroga* [Fast-mounted mobile ropeway]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 24.06.2022. Published 04.10.2022. (In Russian)

14. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Nadezhnost i bezopasnost ekspluatatsii mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Reliability and safety of operation of mobile transport and overloading rope complexes]. Bryansk, RISO BGU, 2022. 207 p. (In Russian)

15. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Variants of the layout of the main technological equipment on the base chassis of mobile transport and reloading rope complexes and their comparative analysis. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.3, pp. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250 (In Russian)

16. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Placement of technological equipment on the basic chassis of the mobile transportation and reloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403 (In Russian)

17. Ob utverzhdenii Pravil perevozok грузов автомобилным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации: postanovlenie Pravitelstva Ros. Federatsii ot 21 dekabrya 2020 g. No. 2200 (In Russian)

18. Ustav avtomobilnogo transporta i gorodskogo nazemnogo elektricheskogo transporta: federalnyy zakon Ros. Federatsii ot 08 noyabrya 2007 № No. 9-FZ (In Russian)

19. GOST R 52748-2007 *Automobile roads of the general using. Standard loads, loading systems and clearance approaches*. Moscow, Standartinform, 2008. 16 p. (In Russian)

20. Ob utverzhdenii Federalnykh aviatsionnykh pravil «Obshchie pravila vozdushnykh perevozok passazhirov, bagazha, грузов и trebovaniya k obsluzhivaniyu passazhirov, gruzootpraviteley, gruzopoluchateley»: prikaz Ministerstva

20. Об утверждении Федеральных авиационных правил «Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей»: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 28 июня 2007 г. № 82.

21. Об утверждении Правил перевозок железнодорожным транспортом грузов в открытом подвижном составе: Приказ Минтранса России от 14.01.2020 № 9. Зарегистрировано в Минюсте России 28.04.2020 № 58239.

22. ГОСТ 9238-2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. Введ. 2014-07-01. Москва: Изд-во стандартов, 2015.

23. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах: утв. МПС России от 27 мая 2003 г. № ЦМ-943.

24. Об утверждении Правил безопасности морской перевозки грузов (с изменениями и дополнениями): Приказ Минтранса РФ от 21.04.2003 г. № ВР-1/п.

25. ГОСТ 26653-2015. Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие требования. Введ. 2017-03-01. М.: Стандартиформ, 2018. 19 с.

26. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 07.03.2001 № 24-ФЗ (ред. от 28.02.2023): [принят Государственной Думой РФ 07 февраля 2001 г.].

27. ISO 668:2013/Amd.1:2016. Series 1 freight containers – Classification, dimensions and rating.

28. ГОСТ Р 53350-2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. Введ. 2009-05-25. М.: Стандартиформ, 2018. 16 с.

29. ГОСТ Р 51876-2008. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 1. Контейнеры общего назначения. Введ. 2008-09-03. М.: Стандартиформ, 2011. 54 с.

30. ГОСТ 20917-87. Контейнеры авиационные. Типы, основные параметры и размеры. Введ. 1988-07-01. М.: ИПК Изда-

transporta Rossiyskoy Federatsii ot 28 iyunya 2007 g. No. 82. (In Russian)

21. Ob utverzhdenii Pravil perevozok zheleznodorozhnym transportom грузов в открытом подвижном составе: Prikaz Mintransa Rossii ot 14.01.2020 No. 9. Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 28.04.2020 No. 58239. (In Russian)

22. GOST 9238-2013 *Construction and rolling stock clearance diagrams*. Moscow, Standartinform, 2014. 211 p. (In Russian)

23. Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepneniya грузов в вагонах и контейнерах: utv. MPS Rossii ot 27 maya 2003 g. No. CM-943. (In Russian)

24. Ob utverzhdenii Pravil bezopasnosti morskoy perevozki грузов (s izmeneniyami i dopolneniyami): Prikaz Mintransa RF ot 21 aprelya 2003 g. No. VR-1/p. (In Russian)

25. GOST 26653-2015 *Preparation of general cargoes for transportation. General requirements*. Moscow, Standartinform, 2018. 19 p. (In Russian)

26. Kodeks vnutrennego vodnogo transporta Rossiyskoy Federatsii ot 07.03.2001 № 24-FZ (In Russian)

27. ISO 668:2013/Amd.1:2016. Series 1 freight containers – Classification, dimensions and rating.

28. GOST R 53350-2009 *Series 1 freight containers - Classification, dimensions and ratings*. Moscow, Standartinform, 2018. 16 p. (In Russian)

29. GOST R 51876-2008 *Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 1: General cargo containers for general purposes*. Moscow, Standartinform, 2011. 54 p. (In Russian)

30. GOST 20917-87 *Aircraft containers. Types, basic parameters and dimensions*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2003. 4 p. (In Russian)

31. *Aircraft Loading Guide* [site]. Available: <https://ataint.ru/advantage/information.php> (accessed 29 May 2023). (In Russian)

32. *AirBridgeCargo Airlines - Types of pallets and containers (ULD)* [site]. Available: <https://www.airbridgecargo.com/ru/page/70/tipw-pallet-i-kontejnerov-uld> (accessed 29 May 2023). (In Russian)

33. Vaynson A.A. *Podemno-transportnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow,



тельство стандартов, 2003. 4 с.

31. Справочник по загрузке ВС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ataint.ru/advantage/information.php> (дата обращения 29.05.2023).

32. AirBridgeCargo Airlines - Типы паллет и контейнеров (ULD) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.airbridgecargo.com/ru/page/70/tipw-pallet-i-kontejnerov-uld> (дата обращения 29.05.2023).

33. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1989. 536 с.

34. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высш. шк., 2000. 552 с.

35. Лагереv И.А., Лагереv А.В. Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации. Брянск: РИО БГУ, 2018. 190 с. DOI: 10.5281/zenodo.1294622

36. Справочник по кранам: в 2-х т. / Под ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение, 1987. Т. 1. 536 с.

37. Белецкий Б.Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. 608 с.

38. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.

39. Корнеев В.А. Особенности работы лод-мастера грузового самолета. М.: Издательские решения, 2017. 60 с.

40. Технические характеристики грузовых самолетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glx.su/tehnicheskie-harakteristiki-samoletov/> (дата обращения 29.05.2023).

41. Типы воздушных судов – классификация грузовых воздушных судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://instels.ru/stati/tipy-vozdushnyh-sudov/> (дата обращения 29.05.2023).

42. Cargo\_Aircraft\_Guide\_RUS.pdf [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.volga-dnepr.com/files/brochure/190219-en/Cargo\\_Aircraft\\_Guide](https://www.volga-dnepr.com/files/brochure/190219-en/Cargo_Aircraft_Guide)

Mashinostroenie, 1989. 536 p. (In Russian)

34. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnyye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MG TU imeni N.E. Bauman, 2000. 552 p. (In Russian)

35. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Sovremennaya teoriya manipulatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselevykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Konstruktsiya i usloviya ekspluatatsii* [Modern theory of manipulation systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes. Design and operating conditions]. Bryansk, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, 2018. 190 p. DOI: 10.5281/zenodo.1294622

36. *Spravochnik po kranam. Tom 2* [Handbook on cranes. Vol. 2]. Leningrad, Mashinostroenie, 1987. 536 p. (In Russian)

37. Beletskiy B.F., Bulgakova I.G. *Stroitelnye mashiny i oborudovaniya* [Construction machinery and equipment]. Rostov-na-Donu, Feniks, 2005. 608 p. (In Russian)

38. Sokolov S.A. *Metallicheskie konstruksii podemno-transportnykh mashin* [Lifting-transport machines metall constructions]. SPb, Politekhnik, 2005. 423 p. (In Russian)

39. Korneev V.A. *Osobennosti raboty loud-mastera gruzovogo samoleta* [Features of the work of the cargo plane's lode master]. Moscow, Izdatelskie resheniya, 2017. 60 p. (In Russian)

40. *Technical characteristics of cargo aircraft* [site]. Available: <https://glx.su/tehnicheskie-harakteristiki-samoletov/> (accessed 29 May 2023). (In Russian)

41. Types of aircraft – classification of cargo aircraft [site]. Available: <https://instels.ru/stati/tipy-vozdushnyh-sudov/> (accessed 29 May 2023). (In Russian)

42. Cargo\_Aircraft\_Guide\_RUS.pdf [site]. Available: [https://www.volga-dnepr.com/files/brochure/190219-en/Cargo\\_Aircraft\\_Guide\\_RUS.pdf](https://www.volga-dnepr.com/files/brochure/190219-en/Cargo_Aircraft_Guide_RUS.pdf) (accessed 29 May 2023). (In Russian)

43. Shatunova E.A., Lagerev I.A. Analysis of the technical and organizational capabilities of helicopters for the deployment of mobile rope-ways based on airmobile rope units *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.3, pp. 255-268. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-255-268 (In Russian)

\_RUS.pdf (дата обращения 29.05.2023).

43. Шатунова Е.А., Лагереv И.А. Анализ технико-организационных возможностей вертолетов для развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 3. С. 255-268. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-255-268

44. Шатунова Е.А. Доверие работников к технике как фактор их отношения к труду: авторферат диссертации ... кандидата психологических наук. Тверь: Тверской государственной университет, 2016. 22 с.

44. Shatunova E.A. *Doverie rabotnikov k tekhnike kak factor ikh otnosheniya k trudu* [Employees' trust in technology as a factor of their attitude to work]. Diss. Cand. Sci. (Psychology). Tver. 2016. (In Russian)



УДК (UDC) 625.1/5:629.369

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ  
ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ НА БАЗЕ  
АЭРОМОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ УСТАНОВОКANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ORGANIZATIONAL CAPABILITIES OF  
HELICOPTERS FOR THE DEPLOYMENT OF MOBILE ROPEWAYS BASED ON  
AIRMOBILE ROPE UNITSШатунова Е.А.<sup>1</sup>, Лагереv И.А.<sup>2</sup>  
Shatunova E.A.<sup>1</sup>, Lagerev I.A.<sup>2</sup><sup>1</sup> - ООО «Промбезопасность» (Брянск, Россия)<sup>2</sup> - Кубанский государственный технологический университет (Краснодар, Россия)<sup>1</sup> - LLC Prombezopasnost (Bryansk, Russian Federation)<sup>2</sup> – Kuban State Technological University (Krasnodar, Russian Federation)

**Аннотация.** Мобильные канатные дороги на базе аэромобильных канатных установок являются новой конструктивной разновидностью грузовых и грузо-пассажирских канатных дорог для оперативного развертывания транспортно-перезрузочных мероприятий в труднодоступных районах и высокогорных территориях. В статье выполнен подробный анализ технико-организационных возможностей ключевого для указанных мобильных дорог способа доставки необходимого основного и вспомогательного технологического оборудования к месту эксплуатации – транспортировки грузов с помощью транспортных и многоцелевых вертолетов. Рассмотрены возможные модификации российских вертолетов и на основании анализа их технических характеристик (размеров грузовых отсеков, грузоподъемности, практической дальности) сделаны рекомендации по их использованию, исходя из требуемых габаритных размеров и веса аэромобильных канатных установок. Показана необходимость использования способа транспортировки оборудования преимущественно с помощью системы внешней подвески, рассмотрены условия использования транспортировки в грузовом отсеке вертолета. Предложены и проанализированы четыре возможных технологических способа использования вертолета для проведения операции по доставке аэромобильных канатных установок и сопутствующего оборудования к месту предполагаемого развертывания мобильной канатной дороги в зависимости от допустимого расстояния между пунктами загрузки и монтажа оборудования.

**Ключевые слова:** аэромобильная канатная установка, вертолет, вариант использования вертолета.

**Дата получения статьи:** 25.06.2023  
**Дата принятия к публикации:** 09.09.2023  
**Дата публикации:** 25.09.2023

**Abstract.** Mobile ropeways based on airmobile rope units are a new constructive type of cargo and cargo-passenger ropeways for the rapid deployment of transport and overloading activities in hard-to-reach areas and high-altitude territories. The article provides a detailed analysis of the technical and organizational capabilities of the key method for delivering the necessary main and auxiliary technological equipment to the place of operation for these mobile ropeways - cargo transportation using transport and multi-purpose helicopters. Possible modifications of Russian helicopters are considered and based on the analysis of their technical characteristics (dimensions of cargo compartments, carrying capacity, practical range), recommendations for their use are made based on the required overall dimensions and weight of airmobile rope units. The necessity of using a method of transporting equipment mainly using an external load sling system is shown, the conditions for using transportation in the helicopter cargo hold are considered. Four possible technological variants of using a helicopter to carry out an operation for the delivery of airmobile rope units and related equipment to the place of the proposed deployment of a mobile ropeway, depending on the permissible distance between the points of loading and mantling of equipment, are proposed and analyzed.

**Keywords:** airmobile rope unit, helicopter, helicopter use variant.

**Date of manuscript reception:** 25.06.2023  
**Date of acceptance for publication:** 09.09.2023  
**Date of publication:** 25.09.2023

**Сведения об авторах:**

**Шатунова Елена Александровна** – ведущий инженер-исследователь, ООО «Промбезопасность»,  
*e-mail: shatea@yandex.ru.*

*ORCID: 0000-0001-5938-2937*

**Лагереv Игорь Александрович** – доктор технических наук, доцент, и.о. ректора ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
*e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.*

*ORCID: 0000-0002-0921-6831*

**Authors' information:**

**Elena A. Shatunova** - leading research engineer at LLC Prombezopasnost, *e-mail: shatea@yandex.ru.*  
*ORCID: 0000-0001-5938-2937*

**Igor A. Lagerev** - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Rector at Kuban State Technological University, *e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.*  
*ORCID: 0000-0002-0921-6831*

**Благодарности**

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-00798)*

**Acknowledgements**

*The study was supported by the grant of Russian science Foundation (project No. 22-29-00798)*

**1. Введение**

Мобильные канатные дороги в настоящее время рассматриваются как один из перспективных видов грузового или грузопассажирского транспорта [1]. Несмотря на значительное естественное сходство, которое имеют между собой мобильные и уже хорошо зарекомендовавшие стационарные канатные дороги [2], тем не менее реализация функции мобильности требует не только внедрения новых специфических конструкций аналогичных механизмов и узлов, но также разработки и использования при проектировании новых специфических математических моделей и вычислительных алгоритмов [3].

Как показывают исследования [4], грузопро пространственные характеристики мобильных канатных дорог могут быть существенно ниже, чем у стационарных канатных дорог вследствие ограниченности длины трассы и веса допускаемого для транспортирования груза из-за преимущественно однопролетного исполнения. Также оказываются ниже показатели производительности вследствие преимущественно маятникового характера движения транспортируемого груза [5]. Однако все эти естественные конструктивно-функциональные недостатки перестают играть принципиальную роль, если возникает задача обеспечения быстрого развертывания комплекса транспортно-перегрузочных операций в процессе проведения спасательно-восстановительных работ в зонах природных или техногенных аварий, на труднодоступных, заранее не обустроенных

или экологически уязвимых территориях, в горной местности и т.п. Решение указанной задачи – это и есть область наиболее рационального использования мобильных канатных дорог.

Методы проектирования ключевых конструктивных элементов и систем основного технологического оборудования мобильных канатных дорог [6], методы моделирования протекания рабочих процессов при его эксплуатации [7, 8], а также методы прогнозирования кинетики количественных показателей надежности [9, 10] и формирования оптимальных стратегий технического обслуживания [11] наиболее полно разработаны применительно к мобильным канатным дорогам, формируемым с помощью сопряженных единой несущей канатной системой двух концевых станций – автономных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах на базе специальных колесных шасси высокой проходимости и грузоподъемности [12]. Эти исследования позволили сформировать общий подход к разработке цифрового двойника однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа [13] и реализовать его применительно к названной выше конструкции мобильной канатной дороги.

В последнее время наблюдается развитие научных исследований применительно к новому виду мобильных канатных дорог, формирующихся на основе сопряженных единой несущей канатной системой двух концевых станций – автономных аэромобильных канатных установок. По сравнению с мобильными канатными дорогами на основе мо-

бильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов конструктивное исполнение грузовых и грузо-пассажирских канатных дорог на основе аэромобильных канатных установок позволяет не только повысить оперативность развешивания транспортно-перегрузочных мероприятий, но и в большей степени обеспечить их эффективное проведение в труднодоступных отдаленных районах российской Арктики или Дальнего Востока или на высокогорных территориях [14].

## 2. Постановка задачи исследования

Исходя из установленной в [14] целесообразности выполнения компоновки основного технологического оборудования аэромобильных канатных установок в габаритах универсальных транспортных контейнеров, представляет практический интерес проведение анализа возможности их транспортировки на дальние расстояния с помощью современных транспортных средств доставки высокой грузоподъемности – воздушной транспортировки с помощью грузовых и многоцелевых вертолетов.

Следует отметить, что в настоящее время для транспортировки грузов воздушным транспортом используются универсальные авиационные контейнеры. Они предназначены для размещения внутри грузовых отсеков транспортных (военно-транспортных) самолетов: для самолетов отечественного производства (Ил-76, Ил-112В, Ил-276, Ан-26, Ан-12, Ту-204) – контейнеры типа УАК [15], для самолетов зарубежного производства (Airbus, Boeing, McDonnell Douglas, Embraier, Kawasaki, ХАС и др.) – контейнеры на основе паллет типа АМА, FLA, PGA/PGF, РСМ, PZA [16, 17].

Для транспортировки грузов в смешанном сообщении железнодорожным, водным и автомобильным транспортом используются универсальные грузовые транспортные контейнеры ИСО серии 1 [18, 19]. Массогабаритные характеристики указанных контейнеров приведены в табл. 1. Как видно из анализа данных табл. 1, ориентация на габаритные размеры и максимальную грузоподъемность указанных контейнеров при проек-

тировании аэромобильных канатных установок и компоновке их основного технологического оборудования в транспортном состоянии позволяет разрабатывать оборудование для достаточно протяженных мобильных канатных дорог, так как определяющая характеристика [4, 12] – длина концевой опоры – может быть получена до 11 м при односекционной конструкции концевой опоры и до 23 м – при двухсекционной [20].

Использование универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1 для транспортировки грузов воздушным транспортом не предусмотрено. Однако это связано с тем, что по своим габаритным размерам большинство из них не может быть размещено в грузовых отсеках современных транспортных самолетов средней и большой грузоподъемности. Кроме того, зачастую требуемые весовые характеристики аэромобильных канатных установок превышают максимально допустимый вес загрузки универсальных авиационных контейнеров. В то же время, современные модификации транспортных и многоцелевых вертолетов имеют техническую возможность транспортировки крупногабаритных тяжелых грузов не в грузовом отсеке внутри фюзеляжа, а на внешней подвеске, что устраняет ограничения на их габаритные размеры.

Поэтому анализ технико-организационных возможностей использования вертолетов для развешивания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок целесообразно проводить как отношении ориентации на габаритные размеры универсальных авиационных контейнеров, так и универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1.

## 3. Анализ и обсуждение его результатов

В настоящее время вертолеты являются достаточно распространенным видом пассажирского, грузового и грузопассажирского транспорта практически во всех странах мира. В число стран-производителей вертолетной техники входят такие, как Российская Федерация (холдинг «Вертолеты России»), США (Boeing Rotorcraft Systems, Sikorsky

Таблица 1

Массогабаритные характеристики универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1 [18, 19]

Тип контейнера	Габаритные размеры, мм			Масса брутто, кг	Максимальная загрузка, кг
	длина	ширина	высота		
45-футовые контейнеры					
1EEE	13716	2438	2896	30480	26580
1EE			2591		
40-футовые контейнеры					
1AAA	12192	2438	2896	30480	26580
1AA			2591		
1A			2438		
1AX			< 2438		
1BBB	9125	2438	2896	30480	26580
1BB			2591		
1B			2438		
1BX			< 2438		
20-футовые контейнеры					
1CC	6058	2438	2591	30480	27530
1C			2438		
1CX			< 2438		
1DD	2991	2438	2591	24000	21920
1D			2438	10160	
1DX			< 2438		

Aircraft, Bell Helicopters), Западная Европа (консорциум Eurocopter в составе французской Eurocopter France и германской Eurocopter Deutschland, консорциум AgustaWestland в составе итальянской Agusta и английской Westland Aircraft), Бельгия (Dynali Helicopter Company), Италия (Agusta).

Применительно к рассматриваемой проблеме перебазирования и проведения монтажных и демонтажных работ при эксплуатации аэромобильных канатных установок целесообразность использования вертолетов как эффективного вида воздушного транспорта связана, в первую очередь, со способностью вертолетов совершать вертикальный взлет и вертикальную посадку, т.е. взлетать или приземляться практически на любой местности – там, где имеется ровная и твердая площадка размером не менее полутора диаметров несущего винта [21].

Важное значение для задач по перебазированию аэромобильных канатных установок также имеет высокая маневренность вертоле-

тов, выражающаяся в его способности зависать в воздухе над требуемой точкой на поверхности земли, что важно для удобства проведения монтажных и демонтажных работ при эксплуатации канатной установки.

Кроме того, вертолеты могут перевозить транспортируемый груз не только внутри фюзеляжа, но и на внешней подвеске, что является обязательным условием при перебазировании аэромобильных канатных установок, спроектированных в габаритах универсальных транспортных контейнерах ИСО серии 1. 45- и 40-футовых контейнеров, реже – 20-футовых контейнеров ИСО серии 1 (табл. 1).

В числе основных недостатков при использовании вертолетов для перебазирования аэромобильных канатных установок следует отметить меньшую максимальную скорость полета, большую длительность транспортной операции и повышенный удельный расход топлива по сравнению с использованием самолетов, что обуславливает более высокую стоимость полета в расчёте на единицу массы перевозимого груза



[21]. Однако эти недостатки не являются определяющими при выборе варианта технологии перебазирования мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок вследствие их преимущественного использования в необорудованных условиях на труднодоступных или отдаленных территориях. Вертолет в большинстве случаев будет являться практически единственным транспортным средством для доставки аэромобильной канатной установки к месту развешивания в пределах «последней мили».

Для осуществления транспортных перевозок целесообразно использовать многоцелевые или транспортные вертолеты 1-3 клас-

сов, относящиеся исходя из взлетного веса к легким (от 1 до 5 т поднимаемого груза), средним (от 5 до 15 т), тяжелым (свыше 15 т) и сверхтяжелым типам [22].

Ведущей вертолетостроительной фирмой Российской Федерации является АО «Национальный центр вертолетостроения имени М.Л. Миля и Н.И. Камова» [23]. Основные технические характеристики отечественных многоцелевых и транспортных вертолетов, определяющие их возможности по транспортировке аэромобильных канатных установок, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики многоцелевых и транспортных вертолетов

Техническая характеристика	Значение характеристики для модификации вертолета							
	Ми-6	Ми-10К	Ми-8АМТ	Ми-38	Ми-26	Ми-26К	Ка-62	Ка-32
Экипаж, чел.	5	3	3	2	5	5	2	2
Взлетная масса, т								
- нормальная	39,7	38,0		14,2	49,5	49,5		
- максимальная	41,7	43,6	12,0	15,6	56,0	56,0	6,5	11,0
Скорость, км/ч								
- максимальная	250	235	250	300	295	295	310	260
- крейсерская	200	220	225	280	255	255	290	240
Практическая дальность, км	500	250	610	820	490	490	720	800
Практический потолок, м	4500	3000	3900	5250	2900	2900	6100	3500
Полезная нагрузка, т								
- нормальная	12,0	12,0			15,0	15,0		
- максимальная		15,0			20,0	20,0		
- в кабине	6,0	3,0	4,0	5,0			2,2	3,7
- на внешней подвеске	8,0	8,0	4,0	5,0	20,0	25,0	2,5	5,0
Размеры грузового отсека, м								
- длина	12,00	15,95	5,34	8,70	12,00	12,00	3,30	4,52
- ширина	2,65		2,30	2,34	3,20	3,20	1,75	1,30
- высота	2,50		1,80	1,82	3,10	3,10	1,30	1,32
Максимальный объем грузового отсека, м <sup>3</sup>	80	60	23	37	110	110	7,5	7,8

Транспортные и многоцелевые вертолеты позволяют осуществлять перемещение аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии и сопутствующего технологического оборудования мобильных канатных дорог как внутри фюзеляжа, так и на внешней подвеске.

Размеры грузовых отсеков отечественных транспортных и многоцелевых вертолетов приведены в табл. 2. Сравнительный анализ

габаритных размеров грузовых отсеков отечественных вертолетов и универсальных транспортных контейнеров ИСО серии 1, результаты которого приведены в табл. 3, позволяет сделать вывод о том, что возможности размещения аэромобильных канатных установок внутри фюзеляжа весьма ограничены. Оказывается невозможным размещение аэромобильных канатных установок, ориентированных на использование всех ти-



пов 45-футовых контейнеров и 40-фунтовых контейнеров типов 1AAA, 1AA, 1A и 1AX, длина которых (13716 и 12292 мм) превышает максимальную возможную длину грузового отсека (12000 мм) вертолетов Ми-6, Ми-26 и Ми-26К. Оказываются полностью непригодными для перевозки аэромобильных канатных установок внутри фюзеляжа вертолеты Ми-8 АМТ, Ми-38, Ка-62 и Ка-32. Возможность перевозки внутри фюзеляжа ограниченного числа типов универсальных контейнеров имеют только вертолеты Ми-6, Ми-26 и Ми-26К.

Таблица 3

Возможности размещения аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии внутри фюзеляжа отечественных транспортных вертолетов

Модификация вертолета	Типы контейнеров для размещения в грузовом отсеке
Ми-6	1B, 1BX; 1C, 1CX; 1D, 1DX
Ми-8АМТ	-
Ми-38	-
Ми-26	1BBB, 1BB, 1B, 1BX; 1CC, 1C, 1CX; 1DD, 1D, 1DX
Ми-26К	1BBB, 1BB, 1B, 1BX; 1CC, 1C, 1CX; 1DD, 1D, 1DX
Ка-62	-
Ка-32	-

Учитывая возможные габаритные размеры транспортных контейнеров (табл. 1) и вес аэромобильных канатных установок, наиболее вероятным способом их транспортирования вертолетом будет являться транспортировка на внешней подвеске. Внешняя подвеска вертолётá представляется собой комплекс технических средств, установленных на вертолете, который предназначен для перевозки грузов вне фюзеляжа, их подъема с грунта или специально обустроенных площадок и опускания на грунт, а также для выполнения строительно-монтажных работ [24]. Конструкции внешних подвесок различаются для разных моделей вертолётá, Тем не менее, в целом они содержат такие основные узлы, как:

- узел крепления внешней подвески к фюзеляжу;
- центральный замок внешней подвески;

- центральный канат;
- грузовой замок;
- грузозахват;
- лебедку для подъема центрального каната;
- систему рабочей и аварийной отцепки.

Ко всем конструктивным элементам внешней подвески и такелажной оснастки вертолета предъявляются повышенные требования как с точки зрения безопасности перемещения транспортируемого груза к месту назначения, так и с точки зрения безопасного ведения монтажно-строительных работ в месте назначения [25]. Грузовые крюки, оснащенные электрическим приводом, имеют электрическое устройство безопасности, предотвращающее несанкционированное срабатывание привода и открытие грузового крюка. Основной крюк включает в себя быстросъемное устройство, которое дает пилоту вертолета возможность оперативно избавиться от транспортируемого груза в условиях полета. Также предусматривается возможность механического управления грузовыми крюками с целью аварийного высвобождения транспортируемого груза. При этом основной грузовой крюк должен располагаться как можно ближе к фюзеляжу вертолета, что обусловлено необходимостью исключения случайного зацепления крюка и такелажного оборудования за внешние неподвижные металлоконструкции вертолета.

Дополнительно к основному устройству управления работой грузовых крюков предусматривается устройство аварийного отключения, которое может иметь привод, основанный на различных принципах - механический, электрический, гидравлический, пневматический, взрывной, комбинированный. Указанный привод независим от источника питания основной системы управления раскрытия грузовых крюков. Как правило, механизм автоматического раскрытия крюка используется только при проведении погрузочно-разгрузочных технологических операций, которые не предусматривают участие наземного обслуживающего персонала.

Такелажное оборудование и оснастка, используемые для крепления транспорти-

руемого груза на внешней подвески вертолета, как правило, включают:

- грузоподъемную траверсу, выполненную из тонкостенных металлических элементов с открытым или коробчатым поперечным сечением;

- стальные или текстильные стропы для непосредственного крепления к грузу с помощью специально предусмотренных крепежных элементов;

- вертолетные грузоподъемные текстильные сети из полиамидного или полипропиленового каната для обхватывания транспортируемого груза [26].

Конфигурация траверсы и, ее габаритные конструктивные размеры определяются внешней формой и габаритными размерами транспортируемого груза, а размеры поперечных сечений металлических элементов – весом транспортируемого груза с дополнительным учетом различных видов возможного силового воздействия на груз при полете и во время проведения погрузочно-разгрузочных работ [27], исходя из обеспечения прочности и надежности конструкции.

Технические характеристики вертолетных грузоподъемных текстильных сетей, выпускаемые в настоящее время отечественной промышленностью, приведены в [26]. Их грузоподъемность составляет 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 5500, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 16000 и 20000 кг, а размеры – 3000×3000, 4000×4000, 5000×5000, 6000×6000, 7000×7000, 8000×8000, 9000×9000 и 10000×10000 мм при размере ячеек 50, 100, 150, 200, 250 и 300 мм. Однако возможно изготовление вертолетных сетей и других необходимых размеров. Таким образом, по своим габаритным размерам и грузоподъемности некоторые марки вертолетных сетей могут быть использованы для транспортирования аэромобильных канатных установок, у которых габаритные размеры соответствуют 20-футовым транспортным контейнерам ИСО серии 1 (табл. 1).

При принятии решения о начале эксплуатации или перебазировании аэромобильной канатной установки необходимо определить модификацию и количество подходящих грузовых или многоцелевых вертолетов, со-

гласовав их технические характеристики по грузоподъемности в кабине или на внешней подвески с весом и габаритными размерами в транспортном состоянии аэромобильной установки и другого вспомогательного оборудования, обеспечивающего работу мобильной канатной дороги в целом. Возможно, при этом потребуется использование вертолетов различной модификации, так как ориентация на модификацию вертолета с максимальной грузоподъемностью может не быть оправдана по экономическим соображениям, так как вертолеты с большей грузоподъемностью имеют более высокие эксплуатационные расходы. Поэтому использование вертолета повышенной грузоподъемности для транспортировки тех грузов, которые мог бы доставить вертолет меньшей грузоподъемности, может оказаться существенно неэкономичным мероприятием. Так как в процессе развертывания мобильной дороги на базе аэромобильных канатных установок требуется переброска по воздуху не только самих этих установок, но и дополнительного канатного оборудования [7, 12, 28], то сочетание вертолетов различной модификации по грузоподъемности может оказаться более выгодным, чем использование вертолета одной модификации. Естественно, правильное решение этого вопроса требует проведения соответствующего технико-экономического обоснования.

Важной технической характеристикой вертолета является практическая дальность полета, которая определяет время пребывания его в воздухе в процессе доставки аэромобильной канатной установки к месту эксплуатации мобильной канатной дороги и в процессе возвращения на базовый аэродром или аэродром дозаправки. Присущее вертолетам уникальное свойство вертикальных взлета и посадки и зависания над заданной точкой поверхности обуславливает отсутствие необходимости в специальных посадочных средствах и наличие открытого пространства с относительно ровной поверхностью, что позволяет вертолету выполнить необходимые работы по разгрузке транспортируемого груза с внешней подвески без приземления. Это актуально для доставки аэромобильных канат-

ных установок, так как для них характерен минимальный объем участия вертолета в общем объеме монтажных/демонтажных работ: требуется лишь опускание установки, находящейся в транспортном состоянии, на заранее подготовленную поверхность и ее отсоединение от крепежных элементов внешней подвески вертолета.

Таким образом, удаленность места развешивания мобильной канатной дороги на базе аэромобильных канатных установок от базового аэродрома  $L_{dis}$ , которая должна учитываться при выборе требуемой модификации вертолета, является функцией нескольких слагаемых:

$$L_{dis} = f(\tau_b + \tau_c + \tau_{nc} + \tau_{mon} + \tau_r),$$

где  $\tau_b$  - продолжительность полета вертолета без груза между базовым аэродромом и пунктом забора/возврата транспортируемого груза;  $\tau_c$  - продолжительность полета вертолета с транспортируемым грузом между пунктом забора/возврата груза и местом развешивания мобильной канатной дороги;  $\tau_{nc}$  - продолжительность возвратного полета вертолета между местом развешивания и базовым аэродромом или аэродромом дозаправки;  $\tau_{mon}$  - продолжительность нахождения вертолета в воздухе в месте развешивания мобильной канатной дороги;  $\tau_r$  - продолжительность нахождения вертолета в воздухе в пункте забора/возврата груза.

В зависимости от вида средства предварительной доставки оборудования в качестве пункта забора транспортируемого груза вертолетом могут выступать железнодорожная станция, автомобильный терминал, аэропорт или морской/речной порт. При оценке удаленности места развешивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома  $L_{dis}$  следует рассмотреть возможные технологические варианты использования вертолета. Применительно к задаче развешивания мобильной канатной дороги на новом месте ее эксплуатации эти технологические варианты графически иллюстрируются схемами на рис. 1.

*Технологический вариант 1* предусматривает один цикл вылета вертолета с базового аэродрома, перелет за полетное время  $\tau_b$  и

взятие транспортируемого груза за полетное время  $\tau_r$  из пункта забора груза, его доставку к месту развешивания мобильной канатной дороги за полетное время  $\tau_c$ , разгрузку аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время  $\tau_{mon}$  и возвращение на базовый аэродром за полетное время  $\tau_{nc}$ . Для этого варианта удаленность места развешивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома  $L_{dis}$  составляет

$$L_{dis} < 0,5L_{pd},$$

где  $L_{pd}$  - практическая дальность вертолета.

*Технологический вариант 2* предусматривает два цикла полета вертолета:

- 1-й цикл: вылет с базового аэродрома, перелет за полетное время  $\tau_b$  и взятие транспортируемого груза за полетное время  $\tau_r$  из пункта забора груза, его доставка к месту развешивания мобильной канатной дороги за полетное время  $\tau_c$ , разгрузка аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время  $\tau_{mon}$ , приземление и дозаправка в полном объеме на вертолетной площадке в месте развешивания мобильной канатной дороги;

- 2-й цикл: перелет с вертолетной площадки в месте развешивания мобильной канатной дороги на базовый аэродром за полетное время  $\tau_{nc}$ .

Для этого варианта удаленность места развешивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома  $L_{dis}$  составляет

$$L_{dis} < L_{pd}$$

при условии наличия запаса топлива для полной заправки вертолета.

*Технологический вариант 3* также предусматривает два цикла полета вертолета:

- 1-й цикл: вылет с базового аэродрома, перелет за полетное время  $\tau_b$  и взятие транспортируемого груза за полетное время  $\tau_r$  из пункта забора груза, его доставка к месту развешивания мобильной канатной

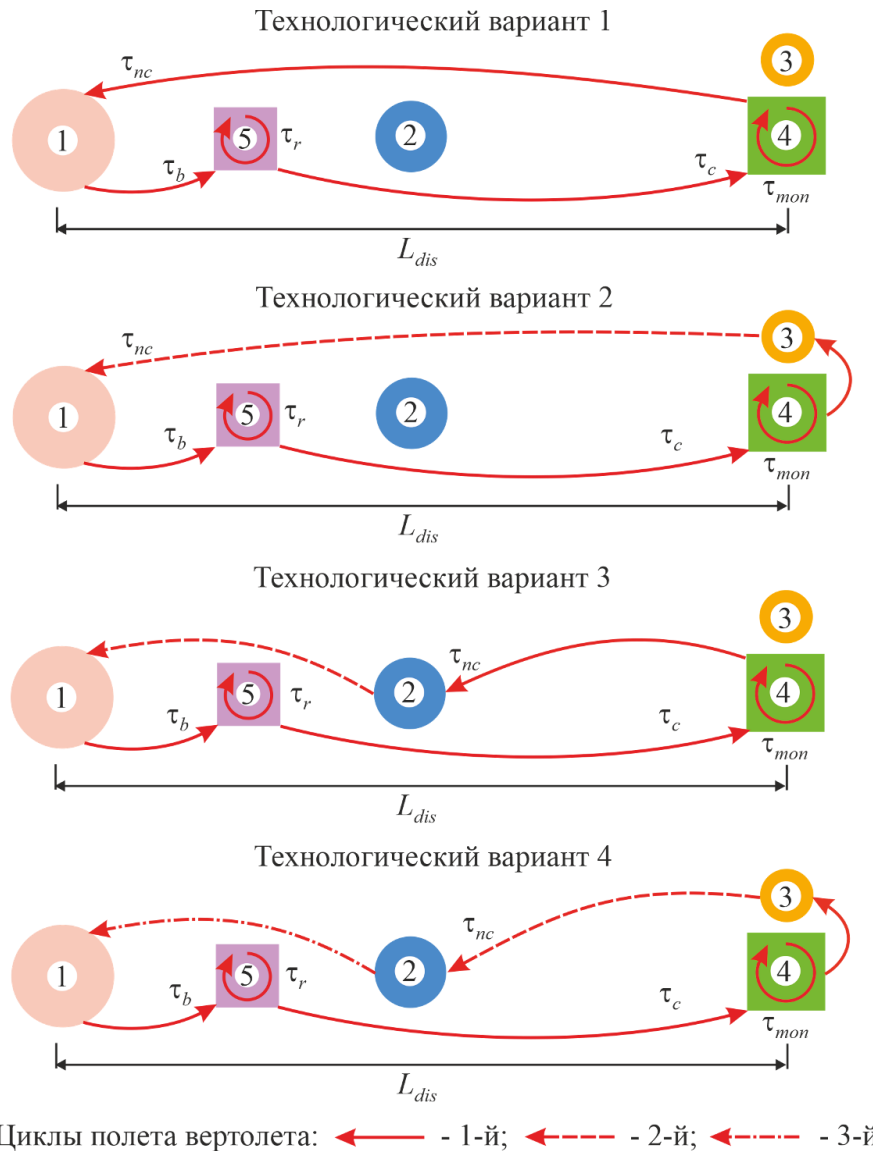


Рис. 1. Технологические варианты использования вертолетов при разворачивании мобильной канатной дороги: 1 – базовый аэродром; 2 – промежуточный аэродром дозаправки; 3 – вертолетная площадка в месте разворачивания мобильной канатной дороги; 4 - место разворачивания мобильной канатной дороги; 5 – пункт забора транспортируемого груза

дороги за полетное время  $\tau_c$ , разгрузка аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время  $\tau_{mon}$ , перелет на вспомогательный аэродром за полетное время  $\tau_{nc}$ , приземление и дозаправка вертолета в частичном объеме;

- 2-й цикл: перелет вертолета со вспомогательного аэродрома на базовый аэродром.

Для этого варианта удаленность места разворачивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома  $L_{dis}$  составляет

$$0,5L_{pd} < L_{dis} \ll L_{pd}.$$

Технологический вариант 4 предусматривает три цикла полета вертолета:

- 1-й цикл: вылет с базового аэродрома, перелет за полетное время  $\tau_b$  и взятие транспортируемого груза за полетное время  $\tau_r$  из пункта забора груза, его доставка к месту разворачивания мобильной канатной дороги за полетное время  $\tau_c$ , разгрузка аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время  $\tau_{mon}$ , приземле-



ние и дозаправка в частичном объеме на вертолетной площадке в месте развертывания мобильной канатной дороги;

- 2-й цикл: перелет с вертолетной площадки в месте развертывания мобильной канатной дороги на вспомогательный аэродром за полетное время  $\tau_{nc}$ , приземление и повторная дозаправка вертолета в частичном объеме;

- 3-й цикл: перелет вертолета со вспомогательного аэродрома на базовый аэродром.

Использование вспомогательного аэродрома для второй дозаправки вертолета может оказаться необходимым, если на вертолетной площадке в месте развертывания мобильной канатной дороги имеется дефицит авиационного топлива. Такая ситуация является наиболее вероятной, так как создание запаса авиационного топлива в полном объеме требует его предварительной доставки к месту развертывания мобильной канатной дороги, что создает дополнительные логистические проблемы. Для этого варианта удаленность места развертывания мобильной канатной дороги от базового аэродрома  $L_{dis}$  составляет

$$0,5L_{pd} < L_{dis} < L_{pd}.$$

Анализ возможных технологических операций использования вертолета при развертывании мобильной канатной дороги на базе аэромобильных канатных установок позволяет сделать вывод о том, что наибольшая удаленность места развертывания мобильной канатной дороги от базового аэродрома может быть реализована при использовании технологических вариантов 2 и 4.

Использование вертолетов, особенно на начальном этапе перебазирования аэромобильных канатных установок сопряжено с очевидными рисками при проведении монтажных/демонтажных работ на месте эксплуатации указанных установок. Это требует качественной проработки проекта производства работ, строгого контроля его исполнения со стороны экипажа вертолета, привлекаемых специалистов-монтажников и штатного обслуживающего персонала, а также тщательного соблюдения мер безопасного ведения работ на площадке [29]. Любая не-

штатная ситуация, как правило, может иметь более значительные последствия и вести к более значительному увеличению продолжительности монтажных работ, чем в обычных ситуациях вследствие более сложных климатических и географических условий эксплуатации аэромобильных канатных установок. Поэтому специфической особенностью проведения монтажных работ с использованием вертолета является требование ориентации всех технологических операций, исходя из функциональных возможностей вертолета [29]. При использовании других типов монтажного оборудования, как правило, его выбор и использование диктуются содержанием требуемых технологических операций.

#### 4. Заключение

Проведенный анализ технико-организационных возможностей современных транспортных и многоцелевых вертолетов для решения задач развертывания и перебазирования на новое место мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок показал, что по своим тактико-техническим характеристикам они вполне способны выполнить указанную логистическую задачу.

Наиболее широкие возможности имеет транспортировка аэромобильных канатных установок и сопутствующего технологического оборудования мобильных канатных дорог на внешней подвеске вертолета. Максимально приемлемыми для этой цели являются российские вертолеты Ми-26 и Ми-26К, способные доставлять грузы весом до 20...25 т, а также вертолеты Ми-6 и Ми-10К, способные доставлять грузы весом до 8 т. Возможности перевозки транспортируемого оборудования внутри фюзеляжа оказываются весьма ограниченными – для этого можно использовать лишь тяжелые вертолеты Ми-26 и Ми-26К.

Предложенные в статье альтернативные варианты использования вертолетов позволяют достаточно гибко подойти к решению вопроса о выборе возможной для использования модификации вертолета, исходя из его практической дальности полета и требуемой



величиной плеча транспортирования от места загрузки оборудования до места эксплуатации мобильной канатной дороги.

Присущее вертолетам уникальное свойство вертикальных взлета и посадки и зависания над заданной точкой поверхности обуславливает отсутствие необходимости в специальных посадочных средствах и наличие открытого пространства с относительно ровной поверхностью, что позволяет вертолету выполнить необходимые работы по разгрузке транспортируемого груза с внешней под-

вески без приземления. Как следствие, вертолет в большинстве случаев может служить практически единственным транспортным средством для доставки аэромобильной канатной установки к месту развертывания в пределах «последней мили», что имеет исключительное значение для развертывания мобильных канатных дорог в труднодоступных высокогорных условиях или на отдаленных территориях, в частности, в районах арктического побережья, Приморья и Дальнего Востока России.

### Список литературы

1. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2019 году в сфере транспортно-логистических технологий и машин для урбанизированной среды // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135
2. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 484 с.
3. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2021 году в сфере проектирования и моделирования рабочих процессов в мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 1. С. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26
4. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И. Надежность и безопасность эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2022. 207 с.
5. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Производительность грузовых мобильных канатных дорог на базе сопряженных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 310-321. DOI: 10.22281/2413-9920-

### References

1. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of the Bryansk State University in 2019 in the field of transport and logistics technologies and machines for the urban environment. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.1, pp. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135. (In Russian)
2. Dukelskiy A.I. *Podvesnye kanatnye dorogi i kabelnye kраны* [Overhead cableways and cable cranes]. Moscow-Leningrad, Mashinostroenie, 1966. 484 p. (In Russian)
3. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of Bryansk State University in 2021 in the field of design and modeling of work processes in mobile transport and overloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26. (In Russian)
4. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Nadezhnost i bezopasnost ekspluatatsii mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Reliability and safety of operation of mobile transport and overloading rope complexes]. Bryansk, RISO BGU, 2022. 207 p. (In Russian)
5. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Productivity of cargo mobile ropeways based on coupled mobile transport and overloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.4, pp. 310-321. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-310-321 (In Russian)
6. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A.

2022-08-04-310-321

6. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Компоновка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

7. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Моделирование рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2021. 204 с. DOI: 10.5281/zenodo.6044972.

8. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Моделирование режимов работы гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №4. С. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480

9. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Вероятностно-временной анализ кинетики показателей надежности на стадии проектирования канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 256-275. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-256-275.

10. Лагерев А.В., Лагерев Е.А. Оптимальное проектирование гидравлических механизмов поворота поршневого типа крано-манипуляторных установок многоцелевых транспортно-технологических машин // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. №1. С. 37-45. DOI: 10.12737/23372

11. Лагерев И.А., Таричко В.И., Лагерев А.В. Формирование стратегии восстановления канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 276-293. DOI: 10.22281/2413-9920-

† Placement of technological equipment on the basic chassis of the mobile transportation and reloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403 (In Russian)

† 7. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Modelirovanie rabochikh protsessov mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Modeling of working processes of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2021. 204 p. DOI: 10.5281/zenodo.6044972. (In Russian)

† 8. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Modeling operation modes of hydraulic drives with frequency-throttle regulation of mobile transport and overloading ropes complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.4, pp. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480 (In Russian)

† 9. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Probability-temporal analysis of reliability indicators kinetics at the stage of designing a rope system of a mobile transport and reloading ropeway. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 256-275. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-256-275 (In Russian)

† 10. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Optimal design of hydraulic turning mechanisms of the pistoning type of crane facilities of multipurpose hoisting machines. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 37-45. DOI: 10.12737/23372 (In Russian)

† 11. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Lagerev A.V. Formation of the strategy for restoring the rope system of the mobile transport and reloading rope complex during operation. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 276-293. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-276-293 (In Russian)

† 12. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktsii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facili-



Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертолёт> (дата обращения 12.05.2023).

22. Дудник В.В. Конструкция вертолетов. Ростов н/Д: Издательский дом ИУИ АП, 2005. 158 с.

23. Вертолёты России - Национальный центр вертолетостроения имени М.Л. Миля и Н.И. Камова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rhc.aero/structure/nhc> (дата обращения 12.05.2023).

24. Козловский В.Б., Паршенцев С.А., Ефимов В.В. Вертолет с грузом на внешней подвеске. М.: Машиностроение, 2008. 304 с.

25. Балашов М.М. Подъемно-спусковые работы на вертолете. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2011. 51 с.

26. ГОСТ Р 51876-2008. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 1. Контейнеры общего назначения. Введ. 2008-09-03. М.: Стандартинформ, 2011. 54 с.

27. Лагереv А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники. Брянск: БГТУ, 2010. 180 с.

28. Лагереv И.А., Лагереv А.В., Таричко В.И. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250

29. MacDonald J.A., Rossnagel W.E., Higgins L.R. Handbook of Rigging. Lifting, Hoisting, and Scaffolding for Construction and Industrial Operations. New York: McGraw Hill, 2009. 759 p.

24. Kozlovskiy V.B., Parshentsev S.A., Efimov V.V. *Vertolet s gruzom na vneshney podveske* [Helicopter with cargo on an external load]. Moscow, Mashinostroenie, 2008. 304 p. (In Russian)

25. Balashov M.M. *Podemno-spuskovyye raboty na vertolete* [Lifting and lowering operations by helicopter]. Ulyanovsk, UVAU GA(I), 2011. 51 p. (In Russian)

26. GOST R 51876-2008 *Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 1: General cargo containers for general purposes*. Moscow, Standartinform, 2011. 54 p. (In Russian)

27. Lagerev A.V. *Nagruzhennost podmno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p. DOI: 10.5281/zenodo.1306614 (In Russian)

28. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Variants of the layout of the main technological equipment on the base chassis of mobile transport and reloading rope complexes and their comparative analysis. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.3, pp. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250 (In Russian)

29. MacDonald J.A., Rossnagel W.E., Higgins L.R. Handbook of Rigging. Lifting, Hoisting, and Scaffolding for Construction and Industrial Operations. New York, McGraw Hill, 2009. 759 p.



УДК (UDC) 656.078.1

## КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ АЭРОПОРТОВ

## INTEGRATED DEVELOPMENT OF REGIONAL AIRPORTS

Степаненко А.С., Куренкова Е.О  
Stepanenko A.S., Kurenkova E.O.Московский государственный технический университет гражданской авиации (Москва, Россия)  
Moscow State Technical University of Civil Aviation (Moscow, Russia)

**Аннотация.** В статье рассматривается состояние авиатранспортной отрасли с целью исследования региональной авиатранспортной системы и определение новых экономически эффективных решений ее развития, исходя из влияния различных внешних факторов – политических, экономических, социальных. Сделан анализ проекта авиатранспортного холдинга «Новпорт»; анализируются ключевые показатели эффективности создания холдинговой системы, а также основные преимущества авиатранспортной холдинга в условиях «турбулентной» среды рынка. Изучена система субсидирования государством региональной авиатранспортной системы - представлены финансовые показатели государственной программы «Развитие транспортной системы». Системный анализ результатов деятельности регионального авиатранспортного холдинга показал, что в период турбулентности внешней среды субсидии не оказывают достаточную помощь для развития предприятий авиатранспортной отрасли, поэтому проект создания региональных авиатранспортных холдингов стоит рассматривать как способ комплексного и экономически эффективного развития региональных авиалиний. Также кооперация предприятий отрасли позволит создать условия для сохранения устойчивости на рынке, каждого из членов холдинга, что в современных условиях крайне важно для региональных авиатранспортных систем.

**Ключевые слова:** показатели эффективности, региональная авиатранспортная система.

**Дата получения статьи:** 30.06.2023  
**Дата принятия к публикации:** 10.08.2023  
**Дата публикации:** 25.09.2023

**Сведения об авторах:**

**Степаненко Анастасия Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент каф. организации перевозок на воздушном транспорте ФГБОУ ВО «Московский государственный университет гражданской авиации (МГТУ ГА)»,  
e-mail: a.stepanenko@mstuca.aero  
ORCID 0000-0002-0170-5227

**Куренкова Екатерина Олеговна** – студент ФГБОУ ВО «Московского государственного университета гражданской авиации (МГТУ ГА)»,  
e-mail: katya.kurenkova.2002@mail.ru  
ORCID: 0009-0003-6984-7795

**Abstract.** The article discusses the state of the air transport industry in order to study the regional air transport system and identify new cost-effective solutions for its development, based on the influence of various external factors - political, economic, social. An analysis of the project of the air transport holding "Novoport" was made; the key performance indicators of the creation of the holding system are analyzed, as well as the main advantages of the aviation holding in the conditions of the "turbulent" market environment. The system of state subsidizing of the regional air transport system was studied - the financial indicators of the state program: "Development of the transport system" are presented. A systematic analysis of the results of the activities of the regional air holding showed that during the period of turbulence in the external environment, subsidies do not provide sufficient assistance for the development of air transport enterprises, so the project of creating regional air transport holdings should be considered as a way of integrated and cost-effective development of regional air transportation. Also, the cooperation of the enterprises of the industry will create conditions for maintaining stability in the market, each of the members of the holding, which in modern conditions is extremely important for regional air transport systems.

**Keywords:** performance indicators, regional air transport system.

**Date of manuscript reception:** 30.06.2023  
**Date of acceptance for publication:** 10.08.2023  
**Date of publication:** 25.09.2023

**Authors' information:**

**Anastasia S. Stepanenko** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Organization of Air Transport at Moscow State Technical University of Civil Aviation (MGTU GA),  
e-mail: a.stepanenko@mstuca.aero  
ORCID 0000-0002-0170-5227

**Ekaterina O. Kurenkova** - Student at Moscow State Technical University of Civil Aviation (MGTU GA), e-mail: katya.kurenkova.2002@mail.ru  
ORCID: 0009-0003-6984-7795



## 1. Введение

В связи с изменением конъюнктуры рынка авиаперевозок, снижения процента рентабельных международных перевозок, наблюдается изменение маршрутных сетей ведущими авиакомпаниями Российской Федерации. Развитие региональной авиации удовлетворяет потребность рынка в местных и межрегиональных авиаперевозках, будет способствовать увеличению занятости населения, повысит доступность трудовых ресурсов, увеличит туристический поток, приведёт к повышению социальной мобильности населения, а также внесет вклад в экономическое развитие регионов.

Цель работы – исследование региональной авиатранспортной системы на примере авиатранспортного холдинга «Новпорт», разработка предложения по повышению эффективности региональной авиатранспортной системы.

Политические, экономические, социальные факторы внешней среды диктуют акцентировать внимание на второй по значимости сегмент рынка гражданской авиации – региональную авиацию, которая осуществляет регулярные коммерческие авиаперевозки между отдельными регионами и в пределах регионов, тем самым обеспечивая транспортную доступность населения, опережая при этом автомобильный и железнодорожный транспорт [1].

Для того чтобы развить данную отрасль, потребуется единая система, которая будет изменяться со временем, по причине постоянных изменений во внешней среде отрасли, обеспечивающая пассажирские перевозки и перевозки грузов в кратчайшие сроки, которую следует назвать авиатранспортной системой [1].

Региональная авиатранспортная система – многомерная система региональной отрасли, которая состоит из действующих воздушных судов, аэродромов и комплексов средств по подготовке и обеспечению полетов, осуществляющая воздушные перевозки пассажиров, багажа, грузов и (или) выполнение авиационных работ между отдельными регионами, а также в пределах регионов, ис-

пользуемая в экономике и целях обеспечения потребностей граждан.

Большинство задач принадлежит именно региональной авиатранспортной системе, которую следует моделировать. Поэтому, опираясь на государственную политику в сфере гражданской авиации, необходимо ввести инновации и правила преобразования, которые обеспечат комплексное, устойчивое развитие региональных аэропортов и авиакомпаний, так как на сегодняшний день часть из них находится на стадии банкротства.

Одним из способов преобразования региональной авиатранспортной системы при возникновении турбулентности внешней среды может послужить объединение компаний в холдинг, при котором возникает синергетический эффект, посредством умножения возможностей всех организаций.

Основные преимущества холдинга в условиях турбулентной среды рынка [2]:

1. Устойчивость и стабильность. Головная компания принимает адаптационное решение, которое становится единым для всех компаний холдинга, в результате чего и осуществляется целостность объединения. При этом дочерняя компания не может по своему желанию выйти из холдинга.

2. Мобильность и гибкость. Обеспечение производства происходит рациональным путём: там, где меньше издержки. В случае неэффективности производства во время нестабильности среды, производство закрывается, что обеспечивает снижение себестоимости единицы продукции и переходит в более выгодное место. Мобильность также связана с процессом отделения неэффективных направлений деятельности с помощью продажи контрольного пакета акций дочернего общества.

3. Ограничение риска материальной ответственности. Дочерние компании остаются самостоятельными юридическими лицами и несут ответственность за свои имущества. Следовательно, материнская компания разделяет риски дочерней. Если убыточность дочерней компании произошла не по вине материнской, то материнская компания не должна обанкротиться. С целью уменьшения рисков основные ликвидные активы холдин-

га размещаются в дочерние лизинговые компании, которые передают имущество в финансовую аренду другим участникам объединения. Участники лизинговых отношений приобретают возможность ускоренной амортизации основных средств, переданных в лизинг, возможности отнесения лизинговых платежей к экономически обоснованным расходам.

4. Централизация и диверсификация капиталов. С помощью централизации капиталов появляется возможность в поддержке убыточной (отстающей) части холдинга, при этом сохраняется целостность и конкурентоспособность холдинга в целом. Стабильность дохода достигается за счет перевода капитала в прибыльную сферу деятельности.

5. Прозрачность бизнеса. Позволяет привлечь инвестирование, способствует заключению стратегических партнерств, улучшая репутацию бизнеса.

6. Финансовое и налоговое планирование. Рациональное распределение функций между участниками холдинга, внутреннее ценообразование направлено на снижение налоговых потерь.

7. Диверсификация производства. Расширение ассортимента, освоение новых видов производств позволяет снизить риски и обеспечивает высокий уровень конкурентоспособности. Участники холдинга могут помочь компании, осваивающие новый продукт, или выходящие на новый рынок.

8. Интеграция НИР и производства позволяет достигать наибольшей выгоды от слияния производства и разработок. Совершенствует выпускаемую продукцию, увеличивая на неё спрос, а также способствует снижению инвестиционной стоимости проектов.

При объединении компаний в холдинг, положение во внешней среде становится устойчивее и безопаснее. Холдинг позволит компаниям противостоять экономическим и финансовым рискам, повысить эффективность производства, увеличить экономическую выгоду и способствует предотвращению компании от банкротства.

Авиатранспортный холдинг «Новпорт» – это крупная сеть региональных аэропортов,

которая управляет и владеет контрольными пакетами акций двадцати двух региональных аэропортов. Совместно с холдингом «Аэропорты Регионов», «Новпорт» производит капитальные вложения ещё в шести аэропортах [3].

Холдингу «Новпорт» удалось достигнуть темпов роста пассажиропотока выше рыночных, что является одним из ключевых показателей эффективного создания данного холдинга. В 2009–2021 гг. среднегодовой рост суммарного пассажиропотока сети «Новпорт» составил 19%, а грузопотока – 13%.

Показатель консолидированной рентабельности составляет свыше 40%, что является очень близким к лучшим мировым практикам [3].

В период с 2012 по 2021 год за счёт средств федерального бюджета и бюджетов субъектов РФ было осуществлено финансирование в размере около 30 млрд.рублей и примерно столько же за счет заемных и собственных средств. Данные средства были вложены в усовершенствование аэродромной и аэропортовой инфраструктуры, по примерным подсчетам которых это составляет около 100000 кв.м. в пассажирских терминалах и 20000 кв.м. в грузовых терминалах. В указанный период «Новпорт» привлек десятки авиакомпаний в аэропорты сети [3].

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующий вывод: внедряя холдинговую систему, можно достичь высоких результатов, которые способствуют росту привлекательности для авиакомпаний и пассажиров, а также финансовой, экономической и операционной эффективности. Эффективность – это понятие, обозначающее результативность функционирования любой системы [4].

## 2. Основная часть

Система горизонтальных авиатранспортных холдингов представляется как головное общество, управляющее компаниями, которые специализируются на одних и тех же задачах, но находятся в разных городах. Предлагаемый проект представляет собой сеть материнских компаний, которые в свою оче-

редь будут иметь контроль над другими компаниями, владеть их пакетом акций и долями уставного капитала. Использование холдинговой компании создает юридическое разделение между активами и владельцами и уменьшает ответственность для владельцев, если один из холдингов сталкивается с финансовыми проблемами [5]. Эффективность функционирования масштабного проекта, связанного с созданием регионального аэропортового холдинга, заключается в том, что данный комплекс:

- обеспечит транспортную целостность и экономическую связанность регионов РФ;
- создаст условия для успешного развития авиаперевозок в регионах России;
- систематизирует и повысит качество авиаперевозок;
- определит перспективные сценарии стратегического развития;
- даст высокий синергетический эффект развития регионов России;
- позволит синхронизировать развитие отечественной транспортной системы с глобальными мировыми аналогами;
- выявит проблемные зоны, выявит оптимальные направления развития транспортной сети;
- обеспечит мобильность населения;
- снизит затраты на осуществление транспортно-экономических связей.

При создании региональных холдингов на территории РФ действует программа субсидирования. Региональные воздушные перевозки, билеты на которые являются льготными, и выпускаются по фиксированному сниженному тарифу, установленному государством, называются субсидированными авиаперевозками. За счёт средств федерального и(или) регионального бюджета происходит компенсация части стоимости билета, вследствие чего пассажир оплачивает определённую цену, которую установило правительство, при этом освобождаясь от сборов и налогов.

Постановление Правительства РФ на осуществление региональных воздушных перевозок пассажиров в 2023 году [6] обеспечило финансирование в размере 9313015,1 тыс. рублей из федерального бюджета, что

предполагает собой перевозку 3,4 миллионов человек. Финансирование произведено с целью развития авиатранспортной отрасли, в частности формирования региональной маршрутной сети (табл.1).

Для организации региональных и местных перевозок в целях обновления парка воздушных судов Постановлением Правительства РФ утверждены Правила предоставления субсидий из федерального бюджета российским авиакомпаниям, а также региональным унитарным предприятиям в 2023 году [6] в размере 35128700 тыс. рублей из федерального бюджета (табл.2).

Прогнозная потребность в региональных воздушных судах российскими авиакомпаниями [6] представлена в табл. 3.

Приоритетными маршрутами для субсидирования авиаперевозок являются те, которые обеспечивают максимальный эффект для повышения уровня транспортной доступности. Повышение транспортной доступности является одной из приоритетных целей при определении экономической стратегии развития любого региона. Транспортная доступность определяется исходя из статистических показателей, таких как плотность транспортной сети, обеспеченность транспортной инфраструктуры и т.д. Такой показатель отражается в стратегических документах федерального и регионального уровней. Аэропорты являются важнейшим элементом в обеспечении транспортной доступности регионов.

На основе перечня [7] субсидируемых в 2023 году маршрутов в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 25.12.2013 № 1242 были произведены следующие расчёты:

1. Определены авиакомпании, осуществляющие региональные воздушные перевозки пассажиров в определённый аэропорт субсидированного маршрута как пункт назначения или пункт отправления.

2. Подсчитано, сколько раз в неделю тот или иной авиаперевозчик посещает аэропорт как пункт назначения или пункт отправления.

В качестве примера рассмотрен аэропорт города Калининград как пункт отправления:

Таблица 1

Финансовые показатели государственной программы «Развитие транспортной системы» [6]

Период (год)	2022	2023	2024	2030	2022–2030
Всего (тыс. руб.)	9 313 015,1	9 313 015,1	9 313 015,1	9 313 015,1	83 817 135,9

Таблица 2

Финансовые показатели государственной программы «Развитие транспортной системы» [6]

Период (год)	2022-2025	2026-2030	2022-2030
Всего (тыс.руб.)	35 128 700	52 361 925	87 490 625

Таблица 3

Количество региональных воздушных судов [6]

Период (год)	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Целевой сценарий потребности в ВС	105	105	107	115	127	139	151	163	175
Итого (кол-во ВС)	78	78	76	74	71	65	58	50	36

1. ООО «Северный Ветер» выполняет 3 маршрута. Частота выполнения: 2 маршрута 2 раза в неделю, 1 маршрут 1 раз в неделю.

2. АО «Авиакомпания АЗИМУТ» выполняет 1 маршрут. Частота выполнения: 2 раза в неделю.

3. ООО «Авиакомпания Икар» выполняет 1 маршрут. Частота выполнения: 3 раза в неделю.

Итого, три авиаперевозчика аэропорта Калининграда за неделю осуществили вылет по субсидированной программе 10 раз как из пункта отправления. Аналогично рассчитанные данные по вс

Местоположение этих аэропортов географически выгодное, так как они находятся на пересечении авиатранспортных потоков между крупными регионами России и мира. Эффективность создания холдинга за счёт данных аэропортов будет обеспечена такими показателями как: повышение туристского потенциала региона, повышение инвестиционной привлекательности региона, повышение уровня мобильности населения, повышение привлекательности качества жизни в регионе.

Для оценки выбранных аэропортов, автором была разработана система ключевых характеристик, определяющих основные параметры деятельности предприятий, а именно:

- пассажиропоток; определяется в млн. человек за выбранный период;

- число авиакомпаний и направлений; характеризует количество авиакомпаний, выполняющих полеты через аэропорт и количество направлений, по которым производятся полеты;

- субсидированные авиакомпании; имеющие субсидированные рейсы;

- имеющиеся достижения; награды отрасли и рейтинговые значения;

- задачи со стороны моделируемого холдинга для конкретного аэропорта;

- показатели эффективности поставленных задач.

Характеристики выбранных аэропортов представлены в табл. 5.

Учитывая, что субсидирование авиабилетов, не приводит к росту пассажиропотока, рекомендуется разработка новых мер поддержки, обеспечивающих комплексное развитие региональных авиаперевозок. Вследствие, чего рассмотренные аэропорты городов предлагается объединить в холдинг. Карта данного холдинга представлена на рис. 1.

### 3. Результаты и их анализ

Проанализировав характеристики аэропортов, в качестве материнской компании предлагается использовать аэропорт г. Казани имени Габдуллы Тукая, так как он является одним из самых перспективных аэропортов региона, который развивается и совершенст-

Таблица 4

## Количественное участие в субсидировании [7]

Город	Отправ- ление	Назна- чение	Город	Отправ- ление	Назна- чение	Город	Отправ- ление	Назна- чение
Абакан	5	0	Владивосток	2	0	Иваново	11	0
Апатиты	7	0	Владикавказ	3	7	Йошкар-Ола	2	0
Архангельск	5	4	Волгоград	13	7	Иркутск	15	4
Астрахань	17	0	Вологда	2	0	Казань	43	13
Благовещенск	13	0	Грозный	6	3	Калуга	11	0
Бугульма	10	0	Екатеринбург	59	6	Кемерово	7	10
Кемерово	2	0	Курган	5	0	Минеральные воды	37	19
Когалым	1	0	Кызыл	2	8	Мурманск	7	2
Кострома	7	0	Магадан	2	5	Нарьян-Мар	20	0
Котлас	6	0	Магас	4	0	Нижневартовск	14	11
Красноселькуп	8	0	Магнитогорск	4	6	Нижнекамск	6	6
Красноярск	41	7	Махачкала	21	9	Нижний Новгород	12	25
Новокузнецк	3	20	Санкт-Петербург	15	57	Томск	3	16
Ноябрьск	12	10	Саранск	6	4	Тюмень	20	42
Омск	23	27	Сочи	23	25	Улан-Удэ	1	10
Пермь	8	28	Сургут	5	17	Уфа	11	29
Псков	2	6	Сыктывкар	12	2	Ханты-Мансийск	4	15
Самара	13	26	Тамбов	6	0	Челябинск	4	23
Чита	1	12	Усинск	0	2	Певек	0	4
Ярославль	0	13	Полярный	0	1	Анадырь	0	2
Чебоксары	0	3	Ленск	0	2	Толька	0	5
Чара	0	2	Игарка	0	2	Талакан	0	6
Новый Уренгой	2	27	Таксимо	0	1	Надым	0	17
Нерюнгри	0	5	Оренбург	0	15	Киров	0	2
Нижнеангарск	0	5	Жуковский	0	2	Тобольск	0	25
Салехард	0	18	Пенза	0	2	Нягань	0	2
Саратов	0	10	Ставрополь	0	2	Ульяновск	0	5
Южно-Сахалинск	0	2	Урай	0	2	Ижевск	0	3
Новосибирск	119	0						

Примечание:

Исключая города, в которых аэропорт входит в действующие холдинги, выбраны аэропорты с наибольшим суммарным количеством посещаемости:

- Казань - Республика Татарстан ИАТА: KZN – ИКАО: UWKD;
- Сочи - Краснодарский край ИАТА: AER – ИКАО: URSS;
- Омск - Омская область ИАТА: OMS – ИКАО: UNOO;
- Красноярск - Красноярский край ИАТА: KJA – ИКАО: UNKL;
- Уфа - Республика Башкортостан ИАТА: UFA – ИКАО: UWUU;
- Махачкала - Республика Дагестан ИАТА: MCX – ИКАО: URML;
- Нижневартовск - Ханты-Мансийского автономного округа – Югры ИАТА: NJC – ИКАО: USNN.



Таблица 5

## Характеристики аэропортов РФ, предлагаемых для включения в региональный холдинг

Характеристики	Аэропорты, предлагаемые для включения в региональный холдинг						
	Аэропорт г.Сочи [8]	Аэропорт г.Уфы [9]	Аэропорт г.Казани [10]	Аэропорт г.Красноярска [11]	Аэропорт г.Махачкалы [12]	Аэропорт Омск-Центральный [13]	Аэропорт г. Нижневартовск [14]
Пассажиропоток	12,91 млн.чел	4,09 млн.чел.	4,018 млн.чел.	3,092 млн.чел	2,51 млн.чел.	1,585 млн.чел.	0,764 млн.чел.
Число а/к и направлений	25 а/к 77 направлений	40 а/к. 60 направлений	42 а/к. 90 направлений	26 а/к. 68 направлений	11 а/к. 11 направлений	21 а/к. 45 направлений	17 а/к. 15 направлений
Субсидируемые авиакомпании	Азимут, Икар, Nordwind Airlines, Ямал, Smartavia, NordStar	Азимут, Икар, Рус-Лайн, Utair, Ямал, S7 Airlines	UVTaero, РусЛайн, Nordwind Airlines, Red Wings, Utair, S7 Airlines	КрасАвиа, Азимут, ИрАэро, Аэрофлот, Red Wings	Азимут, Nordwind Airlines, Red Wings, Utair	UVTaero, Азимут, КрасАвиа, Nordwind Airlines, Red Wings, Utair, Ямал	UVTaero, Азимут, Utair, S7 Airlines, Nordwind Airlines
Имеющиеся достижения	5 место в РФ по пассажиропотоку; звание «Лучший аэропорт Европы по качеству обслуживания пассажиров»; присвоено 4*	Первый региональный аэропорт России; входит в топ 10 крупнейших аэропортов России; присвоено 4*	Звание «Лучший региональный аэропорт России и СНГ»; награды «Лучший аэропортовый персонал России и СНГ»; премии «Воздушные ворота России»; присвоено 4*	«Лучший аэропорт 2022»; премии «Воздушные ворота России»	-	Номинация «Лучший аэропорт – противостояние вызовам 2020»	-
Задачи со стороны холдинга	-Строительство международного терминала; -реконструкция прилегающей к аэропорту территории	-Открытие новых рейсов в страны ближнего зарубежья; -реконструкция аэродромной части	-Увеличение складских помещений; -увеличение ВПП	-Расширение пассажирского терминала; -расширение перрона	-Строительство внутреннего терминала; -строительство международного терминала; -расширение ВПП; -реконструкция рулежных дорожек; -строительство новых рулежных дорожек; -расширение перрона; -привлечение авиакомпаний	-Строительство модуля аэровокзала;	-Модернизация терминалов аэровокзального комплекса; -обеспечение безопасности аэропорта; -замена покрытия ИВПП; -расширение маршрутной сети; -привлечение авиакомпаний; -внедрение клиентоориентированного подхода к ведению бизнеса
Показатели эффективности поставленных задач	-Расширение площади аэровокзала; -увеличение доступности; -обеспечение удобства для железнодорож. путей, автотранспорта	-Увеличение пассажиропотока по международным воздушным авиалиниям; -увеличение способности принять больше ВС	Главный региональный транспортный узел	Увеличение пропускной способности	-Увеличение пропускной способности -снятие ограничения по типам и интенсивности принятия ВС	-Увеличение пропускной способности; -получение статуса мультимодального логистического центра	-Развитие аэропортовой инфраструктуры



Рис.1. Карта распределения холдинга по регионам

вуется на постоянной основе. Для объединения аэропортов в холдинг, предлагается аэропорту г. Казань осуществить покупку миноритарного пакета акций аэропорта г. Уфы, аэропорта г. Сочи, затем аэропорта г. Красноярска, г. Махачкалы, г. Омска и г. Нижневартовска.

Создание региональных авиахолдингов позволит способствовать развитию региональных авиатранспортных систем и отрасли в целом. Также описанное решение даст возможность повысить устойчивость авиапредприятий в условиях динамичного положения на рынке в целом. Реализация масштабного проекта, связанного с созданием модели авиатранспортной региональной системы России, будет включать решение следующих задач:

- развитие экономики регионов;
- создание учебных центров для качественной подготовки пилотов;
- разработку и принятие законодательных актов, регламентирующих деятельность региональных и местных аэропортов;
- разработку технических средств информатизации, предназначенных для автоматизации технологических процессов и воспроизведения комплексного функционирования авиатранспортной региональной системы;
- создание совета по созданию и развитию региональных авиатранспортных комплексов

в субъектах РФ, обеспеченных материально-технической базой.

В связи, с постановкой вышеперечисленных задач, следует сформулировать комплексное решение, которое позволит контролировать и направлять развитие региональной авиатранспортной системы.

Комплексное решение заключается:

- в создании единого регионального концепта;
- в обозначении цели построения инструментов, функционирующих на уровне единого глобального механизма страны;
- в создании единой для каждого регионального аэропорта высокотехнологической инфраструктуры – пассажирские и грузовые терминалы, производственные и транспортные объекты;
- во внедрении единых корпоративных стандартов управления;
- в оптимизации производственных и технологических процессов;
- в создании единых стандартов данных, аналитики и принятия решений;
- в построении схем взаимодействия разнородных процессов в единый проект.

Повышение устойчивости в турбулентной внешней среде также является одним из преимуществ объединений предприятий в горизонтальные холдинги. Нестабильная внешняя ситуация может резко отрицательно

сказываться на производственной деятельности аэропортов, в связи с изменением маршрутных сетей авиакомпаний, проявляющимся как реакция на изменения рынка авиаперевозок. В связи с этим, имея больший охват, чем одиночные предприятия, холдинги могут удерживать более высокие показатели устойчивости. Следовательно, и более высокую степень адаптивности, что позволяет аэропортам, объединенным в кооперативные формы, показывать стабильные результаты и эффективно противостоять турбулентной среде рынка. Говоря о объединении авиатранспортных предприятий также следует отметить повышение эффективности производственных процессов в области взаимодействия различных областей предоставления услуг авиакомпаниям при организации воздушных перевозок. Упрощение процессов оплаты услуг, работы информационных систем и общее планирование про-

изводства позволяет более точно прогнозировать и учитывать ключевые показатели расходов объединенного предприятия, а следовательно, снижает процент расхождения между планируемыми и фактическими показателями предприятия.

Формирование объединения предприятий на основе субсидированных перевозок, дает дополнительный фактор стабильности производственной деятельности холдинга, так как решение о сокращении воздушных линий коммерческих перевозок больше зависит от динамики рынка, чем в случае субсидированных перевозок. Также при создании кооперативных форм на основе перспективных с точки зрения экономического роста, регионов можно говорить о дополнительных факторах повышения устойчивости авиатранспортных систем. Таких как растущие потребности населения в повышении транспортной доступности, выбранных регионов.

### Список литературы

1. Бабкина Л.Н., Отверченко Л.Ф. Концепции стратегического развития авиатранспортной системы в регионах Российской Федерации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 2. С. 13–21.
2. Нюхаев Д.В. Преимущества и недостатки организации бизнеса в холдинговой компании // Гуманитарные науки. Экономика. 2009. №9 (77). С. 39-45.
3. Аэропортовая сеть «Новаяпорт». <https://novaport.ru/?ysclid=leh1f7t9kz882658228>
4. Степаненко Е.В. Основы современного менеджмента. М.: Авиа Бизнес Групп, 2009. 176 с.
5. Что такое холдинг: ясно и понятно - Определение // SendPulse Inc. <https://sendpulse.com/ru/support/glossary/holding>
6. Российская Федерация. Правительство. Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 июня 2022 г. №1693-р // Документы Правительства РФ. 2022. С. 1-5.

### References

1. Babkina L.N., Otverchenko L.F. Concepts of strategic development of the air transport system in the regions of the Russian Federation. *Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty*, 2017, Vol. 7, No. 2, pp. 13-21. (In Russian).
2. Nyukhaev D.V. Advantages and disadvantages of business organization in a holding company. *Humanities. Economy*, 2009, No.9, pp. 39-45. (In Russian).
3. Airport network "Novaport": <https://novaport.ru/?ysclid=leh1f7t9kz882658228>
4. Stepanenko E.V. Fundamentals of Modern Management. Moscow, Avia Business Group, 2009. 176 p. (In Russian).
5. What is a holding: clear and understandable - Definition // SendPulse Inc. <https://sendpulse.com/ru/support/glossary/holding>.
6. The Russian Federation. Government. Comprehensive program for the development of the air transport industry of the Russian Federation until 2030: Decree of the Government of the Russian Federation No. 1693-r dated June 25, 2022 // Documents of the Government of the Russian Federation. 2022. Pp. 1-5.
7. Russian Federation. Government. The list of routes subsidized in 2023: Government Decree

7. Российская Федерация. Правительство. Перечень субсидируемых в 2023 году маршрутов: постановление Правительства от 25 декабря 2013 г. № 1242. †  
8. Международный аэропорт Сочи: <https://aer.aero/airport/about/>. †  
9. АО «Международный аэропорт Уфа»: <https://airportufa.ru/?ysclid=lecuxusrd4963748547>. †  
10. Портал международного аэропорта города Казани: <https://www.kazan.aero/about-us/>. †  
11. Международный аэропорт Красноярск: <https://www.kja.aero/?ysclid=leh3qqu1uw470320230>. †  
12. Аэропорт Махачкала: <http://www.mcx.aero/about/history/>. †  
13. Омский аэропорт: <http://oms.aero/dostupnaya-sreda>. †  
14. НВА: Главная: URL: <https://nvavia.ru/>. †
- No. 1242 of December 25, 2013. †  
8. Sochi International Airport: <https://aer.aero/airport/about/>. †  
9. Ufa International Airport JSC: <https://airportufa.ru/?ysclid=lecuxusrd4963748547>. †  
10. Portal of the Kazan International Airport: <https://www.kazan.aero/about-us/>. †  
11. Krasnoyarsk International Airport: <https://www.kja.aero/?ysclid=leh3qqu1uw470320230>. †  
12. Makhachkala Airport: <http://www.mcx.aero/about/history/>. †  
13. Omsk Airport: <http://oms.aero/dostupnaya-sreda>. †  
14. NVA: Home: <https://nvavia.ru/>. †



УДК (UDC) 656.025.4:656.073.7

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ В ОЧЕРЕДИ НА ВРЕМЯ ДОСТАВКИ

## THE EFFECT OF QUEUE ON DELIVERY TIME

Чандра А.<sup>1</sup>, Наталиа К.<sup>2</sup>  
Agung Chandra<sup>1</sup>, Christine Natalia<sup>2</sup><sup>1</sup> – Университет Мерку Буана (Джакарта, Индонезия)<sup>2</sup> – Католический университет Индонезии Атма Джая (Джакарта, Индонезия)<sup>1</sup> – Universitas Mercu Buana (Jakarta, Indonesia)<sup>2</sup> – Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya (Jakarta, Indonesia)

**Аннотация.** Планирование маршрута - сложная проблема в сфере перевозок и поэтому необходимо учитывать несколько факторов, начиная с вместимости транспортного средства и потребительского спроса, распределения водителей для перевозки, расстояния, времени в пути. Транспортировка, как один из ключевых элементов логистики и две трети логистических затрат, нуждается в дальнейшем изучении. В этой статье изучалось влияние ожидания в очереди на время в пути, которое могло произойти в магазине покупателя. В этом исследовании были собраны соответствующие данные, которые включали три грузовика, двадцать четыре координаты покупателей-детских магазинов, вместимость грузовиков и объем товаров. Связанными теориями были задача множественного коммивояжера и теория массового обслуживания – один сервер и использование дисциплины FIFO – первый вход, первый выход (M/M/1), а также экспоненциально распределенная случайная величина. Маршрут начался с главного склада в 08:30 из Тангеранга, заказы были отправлены клиентам, расположенным в Джакарте, обеденный перерыв с 12:00 до 13:00 и возвращение на главный склад до 17:30 с обычной скоростью. OptimoRoute, как одно из подходящих программ для решения проблемы маршрутизации транспортных средств, использовалась для определения последовательности отправки, распределения заказов для водителей и необходимого времени. Онлайн-симулятор использовался для устранения эффекта очереди. Результаты показали, что время в пути на каждую остановку увеличивалось примерно на пятнадцать минут; чем больше магазинов, тем больше времени требовалось. Это дополнительное время может повлиять на стоимость сверхурочных, если время в пути превышает рабочие часы. Планировщик должен учитывать время ожидания в очереди при планировании следующего маршрута.

**Ключевые слова:** планирование маршрута, ожидание в очереди, время в пути.

**Дата получения статьи:** 21.07.2023  
**Дата принятия к публикации:** 15.08.2023  
**Дата публикации:** 25.09.2023

**Abstract.** Route planning is a complex problem in transportation, and one has to consider several factors starting from vehicle's capacity and customer's demand, allocation of drivers for shipment, distance, travel time. Transportation as a one of the key elements in logistics and two third logistics costs, needs study further. This paper studied the effect of queuing activity on travel time that could be happened at customer's shop. This study collected the related data which were three trucks, twenty-four coordinates of customers-baby shops, capacities of trucks, and volume of goods. The related theories were multiple traveling salesman problem (mTSP) and queuing theory – single server and using the FIFO – First In First Out discipline (M/M/1), and exponential distributed random variable. The route started from the main warehouse at 08:30 from Tangerang, shipped the orders to the customers located in Jakarta, lunch break 12:00 to 13:00 and return to the main warehouse before 17:30 by using normal speed. OptimoRoute as one of the suitable software for solving the vehicle routing problem was used to solve the sequence of shipment, order allocation for drivers and time needed; where On Line Simulator was used to solve the effect of queue. The results indicated that there was an additional time around fifteen minutes per stop to travel time; the more shops, the longer time was needed. This additional time may impact the overtime cost if the amount of travel time exceeds the working hour and queuing time must be considered for the next route planning by the planner.

**Keywords:** route planning, queuing activity, travel time.

**Date of manuscript reception:** 21.07.2023  
**Date of acceptance for publication:** 15.08.2023  
**Date of publication:** 25.09.2023



**Сведения об авторах:**

**Чандра Агунг** – магистр гражданского строительства и финансового менеджмента, старший преподаватель кафедры промышленного инжиниринга Университета Мерку Буана,  
email: agung.chandra@mercubuana.ac.id.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0338-1588>

**Наталиа Кристина** – магистр промышленного инжиниринга, старший преподаватель кафедры промышленного инжиниринга Католического университета Индонезии Атма Джая,  
e-mail: chrisnatalia@atmajaya.ac.id.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4260-684X>

**Authors' information:**

**Agung Chandra** – Master in Civil Engineering and Financial Management, Senior Lecturer, Department of Industrial Engineering, Universitas Mercu Buana, email: [agung.chandra@mercubuana.ac.id](mailto:agung.chandra@mercubuana.ac.id).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0338-1588>

**Christine Natalia** – Master in Industrial Engineering, Senior Lecturer, Department of Industrial Engineering, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, e-mail: [chrisnatalia@atmajaya.ac.id](mailto:chrisnatalia@atmajaya.ac.id).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4260-684X>

**Благодарности**

*Исследование было поддержано и профинансировано Университетом Мерку Буана и Католическим Университетом Индонезии Атма Джая (проект № 02-5/863/B-SPK/V/2023)*

**Acknowledgements**

*The study was supported and funded by Universitas Mercu Buana and Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya (project No. 02-5/863/B-SPK/V/2023)*

**1. Introduction**

It is essential to offer products and services to consumers at the desired time and place and to deliver them on time [1]. When delivering goods or services, time becomes a critical issue for driver, in this paper we call time as a travel time. The sensitivity to travel time is usually referred to value of time. There are some factors that affect travel time, such as length or distance, congestion such as parking of vehicles along the route, delay such as number of stops, number of signalized inter-section, accident, and environment such as route direction [2,3]. Distance relates to velocity and time, when distance become farther then time needed to travel become longer. Congestion is a condition that arises because more people wish to travel at a given time than the transportation system can accommodate: a simple case of demand exceeding supply [4] and congestion makes vehicle run slower and take more time than normal to arrive at customer's destination and congestion can be avoided by choosing another route. The route choice problem can be stated as follows. Given a transportation network composed of nodes, links, origins and destinations; and given an origin, a destination and a transportation mode, what is the chosen route between origin and destination on mode [5]. Transportation is a key element of logistics, and it occupies around one third to two third of logistics cost [6], then it is

important to minimize the cost of transport. Delay also affects delivery time, and queue happens when many trucks are waiting for unloaded by customer. This waiting line depends on number of trucks and goods that are ready to be unloaded. Trucks that wait for unloaded cannot be predicted by driver, and this queue makes travel time longer than normal. When supplier's driver delivers goods to customer or baby shop, he often finds that he is not the only supplier who delivers goods at the time, then, he has to wait in line until all suppliers that come before him have been finished. From this reality, planning route should consider not only travel time from starting point to destination's point, but also the amount of time that spent in a customer's place especially queue.

In this paper, the objective of research is to know how big the effect of queue for unloading process on travel time from Tangerang to Jakarta – capital city during office hours. This result will help transportation planner allocating the right amount of customer's point to driver.

**2. Methods and materials****2.1. Multiple Traveling Salesman Problem**

The multiple traveling salesman problem (mTSP) is a generalization of the well-known traveling salesman problem (TSP), where more

than one salesman is allowed to be used in the solution [7]. The characteristics of the mTSP seem more appropriate for real-life applications, such as robotics, transportation and delivery, networking, disaster management, precision agriculture, search and rescue [8], order picking [9]. Mathematical model for mTSP is as follows:

The m-TSP is defined on a graph  $G = (V, A)$ , where  $V$  is the set of vertices or nodes and  $A$  is the set of arcs or edges. Let  $C = (c_{ij})$  be the cost or distance matrix defined on the set of  $A$ . The matrix  $C$  is said to be symmetric when  $(c_{ij})=(c_{ji})$ ,  $\forall(i, j) \in A$  and otherwise is said to be asymmetric. If the cost matrix satisfies  $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$  for  $\forall_{i,j,k}$  then the matrix  $C$  satisfies the triangle inequality. There are various models have been proposed for the m-TSP in the literature, but assignment based mathematical model, tree based mathematical model and a three-index flow-based model have been widely used. The three-index flow-based model for the m-TSP is as follows:

Let  $n$  be the number of cities or pick locations, and  $m$  be the number of salesmen or pickers (we assume  $n \geq 3m+1$ ), then the variable  $x_{ij}$  is defined as follows [10]:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if edge (ij) is used in the tour} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Goal Function: Minimize:

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Constraints:

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m \quad (2)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, j = 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \forall S \subseteq V - 1, S \neq \emptyset \quad (6)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1, (i, j) \in A \quad (7)$$

In this research, there were 3 trucks that shipped goods everyday from warehouse where

located in Jatiuwung, Tangerang to 24 baby shops then returned to warehouse.

## 2.2. Waiting Line – Queue

Waiting line is also called queue and is where customers wait before being served [11] and become part of our daily activities such as paying for goods in department store, buying a movie ticket, ordering food in a restaurant, emergency room at the hospital and so on. Waiting causes inefficiency, for example when delaying service jobs exceeded their due dates may result in lost future business, waiting for unloading goods, administration and checking process from truck to floor may disrupt delivery for next customer. Queues arise when the short-term demand exceeds the capacity.

The components of queuing systems are arrival process, service and departure process, queuing discipline, system capacity, number of servers, and population size [12]. In this research, service discipline is FIFO because unloading process is based on which vehicle comes first and only one server at the baby shop, then when server serves and checks the goods for one supplier, he cannot serve another supplier.

Common used formulas are as follows:

$$L = \lambda W \quad (8)$$

$$L_q = \lambda W_q \quad (9)$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (10)$$

$$L = \lambda \left( W_q + \frac{1}{\mu} \right) \quad (11)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (12)$$

where  $L$  - expected number of customers in the system, including those being served;  $L_q$  - expected number of customers in the queue;  $W$  - expected waiting time in the system, including service time for individual customer;  $W_q$  - expected waiting time in the queue;  $\lambda$  - mean arrival rate for customers coming to the queueing systems or expected number of arrivals per unit time;  $\mu$  mean service rate or expected number of service completions per unit time;  $1/\lambda$  - expected interarrival time or the average time be-

tween the arrival of consecutive customers;  $1/\mu$  - expected service time for each customer.

### 2.3. Transportation and Queuing Software

#### 2.3.1. Transportation software

In this research, OptimoRoute software was used to solve the multiple traveling salesman problem. OptimoRoute was regarded as one of the suitable software for solving vehicle routing problem and had following advantages: high ease of use, the clarity with which solutions are shown, both graphically and analytically, through the use of colors and the sense of the streets, and the high amount of data from the different routes illustrated in the solutions. There were also some disadvantages: free-30 day-trial, if the destination points are very close to each other, the graphical interpretation becomes confusing [13]. OptimoRoute is a routing optimization software, created in 2012 in the United States, used by multiple companies from different business sectors around the world. The program was at [www.optimoroute.com](http://www.optimoroute.com) [14].

#### 2.3.2. Queuing software

Queuing on-line simulator was used to calculate the results of research data. This simulator was created by Associate Professor Jaroslav Sklenar, Department of Statistics and Operations Research, University of Malta and its software can be found at [www.staff.um.edu.mt/jskl1/simweb/simdown.html](http://www.staff.um.edu.mt/jskl1/simweb/simdown.html) [15].

### 2.4. Methods

The study was conducted at textile company which its warehouse located in Tangerang and categorized as a small and medium enterprise (SME). The product is baby and children's clothing, and its orders were from baby shops. There were three trucks and twenty-four coordinates of customers-baby shops. The capacity of first truck was nine cubic meter, second truck was eight cubic meter, and the third truck was four cubic meter. The working hours started from 08:30 a.m to 17:30 pm and break hours

were from 12:00 to 13:00. The driver started the shipment was from warehouse and must be back to warehouse. Before running the optimoroute, there were some data must be collected: coordinates of twenty-four baby-shops, capacity of truck, volume of goods, the average time for unloading goods at the baby shops was 30 minutes, but not included waiting time: administration process such as receipt document and checking. Unloading process was in the large space.

The results from optimoroute was analyzed further by queuing simulator in order to get the effect of waiting time at the baby shop. Queuing discipline was first-in first-out (FIFO) and the server is one.

We assume that congestion can be avoided by using alternative route which is directed by Google maps and there is no restricted route.

### 3. Results and discussions

#### 3.1. Results

##### 3.1.1. OptimoRoute software

In figure 1, the output from optimoroute were locations, route, total time: break, travel, duration of unloading at baby shop, and total distance starting from warehouse and back to warehouse again.

Table 1 showed more detailed data, included coordinates of baby shop, order ID, stop duration and break, but unfortunately, the delivery does not always have a zero queue or waiting line at baby shop, that is why one has to consider queues by simulate various possibilities from zero to maximum customers that ever happened.

##### 3.1.2. Queuing software

For the past six months observation, there were four customers per hour on the average (mean arrival rate,  $\lambda$ ), and mean service rate was eight customers per hour ( $\mu$ ), the amount of server was 1, then when the service man was busy, the other customers must wait, the queue discipline was FIFO – First In First Out. The queueing model was M/M/1.

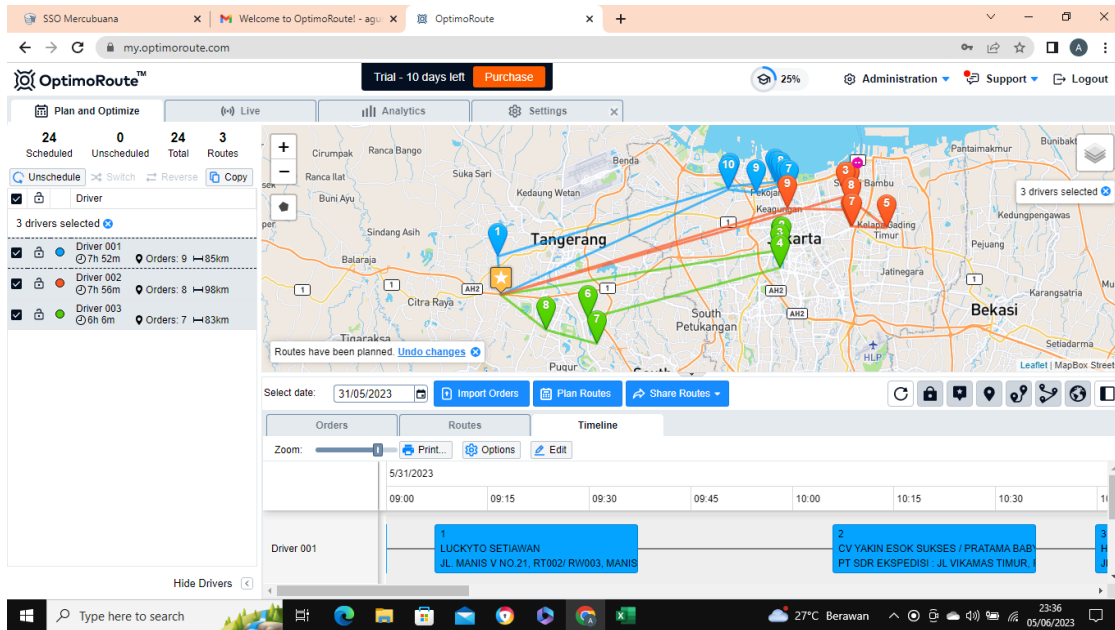


Fig.1. Output for normal speed

Table 1

Ouput data from optimoroute

Order ID	Vehicle	Stop No.	Latitude	Longitude	Unloading duration (mnt)	Break time	Depot to depot (KM)	Total time (incl. stop duration and break)
ORD020	001	1	-6.1903	106.5789	30		85	7 hours 52 minutes
ORD010	001	2	-6.1316	106.7735	30			
ORD013	001	3	-6.1284	106.8112	30			
ORD003	001	4	-6.1303	106.8139	30			
	001		-6.1303	106.8139	60	yes		
ORD009	001	5	-6.1367	106.8198	60			
ORD005	001	6	-6.1379	106.8231	30			
ORD021	001	7	-6.1307	106.8162	30			
ORD012	001	8	-6.1370	106.7953	30			
ORD014	001	9	-6.1346	106.7718	30			
ORD015	002	1	-6.1394	106.8733	45		98	7 hours 56 minutes
ORD016	002	2	-6.1394	106.8733	60			
ORD007	002	3	-6.1389	106.8699	30			
	002		-6.1389	106.8699	60	yes		
ORD008	002	4	-6.1664	106.9046	45			
ORD022	002	5	-6.1654	106.8742	30			
ORD002	002	6	-6.1652	106.8754	30			
ORD006	002	7	-6.1516	106.8751	30			
ORD018	002	8	-6.1498	106.8213	30			
ORD001	003	1	-6.1850	106.8158	30		83	6 hours 36 minutes
ORD023	003	2	-6.1847	106.8169	30			
ORD024	003	3	-6.1913	106.8154	30			
ORD004	003	4	-6.1998	106.8153	30			
	003		-6.1998	106.8153	60	yes		
ORD017	003	5	-6.2423	106.6543	30			
ORD011	003	6	-6.2633	106.6622	30			
ORD019	003	7	-6.2521	106.6199	30			



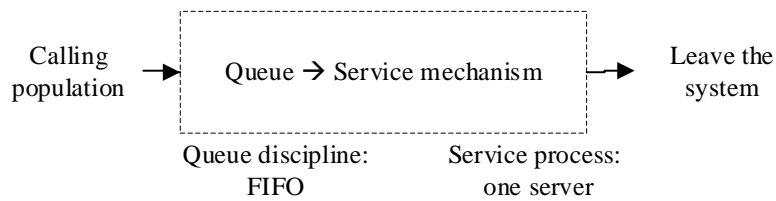


Fig.2. Queueing system

### Input data

Input Parameter	The value	Explanation
Arrival Rate ( $\lambda$ )	4 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Service Rate ( $\mu$ )	8 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Experiment duration	1000 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Maximum queue length	1000 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>

### Basic Results

Result	Computed value	Simulated value	Explanation
Customers in system ( $L_s$ )	1 <input type="text"/>	0.9291918280552	<input type="button" value="Help"/>
Customers in queue ( $L_q$ )	0.5 <input type="text"/>	0.4505834791738	<input type="button" value="Help"/>
Time in system ( $W_s$ )	0.25 <input type="text"/>	0.2368784998045	<input type="button" value="Help"/>
Time in queue ( $W_q$ )	0.125 <input type="text"/>	0.1148377925562	<input type="button" value="Help"/>
Idle probability ( $p_0$ )	0.5 <input type="text"/>	0.5155453618756	<input type="button" value="Help"/>
Server utilization ( $\rho$ )	0.5 <input type="text"/>	0.4786083488814	<input type="button" value="Help"/>

### Other Simulation Results

Result	Value	Explanation
Number of arrivals	3924 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Minimum arrival interval	0.0000164915354 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Maximum arrival interval	2.0642746794463 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Number of services	3923 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Minimum service duration	0.0000229152559 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Maximum service duration	0.8679524023432 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Maximum waiting time	1.4032821345319 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Maximum time in system	1.4654266814224 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>
Maximum queue length	9 <input type="text"/>	<input type="button" value="Help"/>

Fig 3. Results from On-Line simulator

The On-Line Simulator software provided two kinds of output, the first one was computed value and another one was simulated value. Mean arrival rate,  $\lambda = 4$  customers per hour and mean service rate,  $\mu = 8$  customers per hour are independent and exponential distributed random variable, figure 2 showed the results of computed value and simulated value.

From the above figure, there would be an additional time around 0.25 hours = 15 minutes in systems from queue when the one delivered goods to the one baby shop. This additional queue time would produce an additional of total time in delivery. The increment of queue time was greatly related to the number of customers, in this case baby shops. If the number of baby shops increases then queue time increases. The Table 2 shows summary of additional time.



Table 2

The effect of queuing time to total time

Vehicle	Total customers	Unloading time (hours)	Travel time (hours)	Total time (hours)	Queuing time (additional hours)	Total time incl. queue (hours)	% increase
001	9	6	1.87	7.87	2.25	10.12	9.12
002	8	6	1.93	7.93	2	9.93	8.93
003	7	4.5	2.10	6.6	1.75	8.35	7.35

Planner has to plan the route carefully, because queue time will affect maximum working hours – eight hours per day. If working hours exceed eight hours, then overtime will happen.

### 3.2. Discussion

Some activities can be predicted how long it will take such as unloading goods, waiting in the line and distance, but some factors are difficult to predict such as congestion, accidents. Congestion can be anticipated by checking Google maps, accidents can be anticipated by driving slower for crowded traffic.

### 4. Conclusions

Planning route based on distance only is not enough. Planner needs to consider queuing activities that happen at the customer's location for delivery services. By combining two methods, mTSP – OptimoRoute software and queuing theory – On Line Simulator, there was an additional time around fifteen minutes per customer's point, the more customer's point, the more time was needed. This additional time was linear to the number of customer's point.

### References

1. Dundar A.O., Ozturk, R. The effect of on-time delivery on customer satisfaction and loyalty in channel integration. *Business and Management Study: An International Journal*, 2020, Vol 8, Issue 3, pp.2675-2693. doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v8i3.1520>.
2. Ben-Akiva M., Bierlaire M. Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions. In: *Transportation science handbook*. MIT, 1999, pp.1-43.
3. Bajcetic S., Zivanovic P., Tica S., Milovanovic B. Factors influencing driving time in public transport – a multiple regression analysis. *Promet – Traffic & Transportation*, 2023, Vol.35, No.1, pp. 37-54. <https://doi.org/10.7307/ptt.v35i1.29>.
4. Miller, M.A., Li, K. An investigation of the costs of roadway traffic congestion: a preparatory step to IVHS benefits' evaluation. *California PATH research report UCB-ITS-PRR-94-15*, 1994, Berkley: Institute of Transport Studies, University of California.
5. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. Modelling transport. United Kingdom, John Wiley & Sons, 2011.
6. Tseng Y.Y., Yue W.L., A.P. Taylor M. The role of transportation in logistics chain. *Proceedings of the eastern asia society for transportation studies*, 2005, vol 5, pp 1657-1662.
7. Nuriyeva F., Kizilates G.A New Heuristic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem. *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics*, 2017, Vol.7 No.1. Department of Mathematics, Isik University.
8. Cheikhrouhou O., Khoufi I.A comprehensive survey on multiple travelling salesman problem: applications, approaches, and taxonomy. *Computer Science Review*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100369>
9. Chandra A., Natalia C. Applications of multiple traveling salesman problem on zone picking. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 2023, Vol.21, No.1, pp. 51-58.

10. Bektas T. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 2006, Vol.34, Issue 3, pp.209-219.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.10.004>
11. Hillier F.S., Hillier M.S., Schmedders K., Stephens M. Introduction to management science: a modeling and case studies approach with spreadsheets. New York, McGraw Hill, 2008.
12. Sztrik J. Basic Queueing Theory. Faculty of Informatics, University of Debrecen, 2021.
13. Masson A., Paravié D., Rohvein C., Villalba L. Review of Vehicle Routing Problems Solving Software. *INGECUC*, 2021, Vol. 17, No.1, pp. 315–328.  
DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.23>
14. OptimoRoute, Inc. OptimoRoute. 2023. USA. [www.optimoroute.com](http://www.optimoroute.com)
15. Sklenar J. On-Line Simulators. 2008. Department of Statistics and Operations Research, Faculty of Science, University of Malta. [www.staff.um.edu.mt/jskl1/simweb/simdown.html](http://www.staff.um.edu.mt/jskl1/simweb/simdown.html)

Сетевое издание  
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
Брянского государственного университета  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Учредитель и издатель:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского».

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
выдано Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
Эл № ФС77-62798 от 18 августа 2015 г.**

**Главный редактор сетевого издания:**

доктор технических наук, профессор  
А.В. Лагереv

**Адрес учредителя:**

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет  
имени академика И.Г. Петровского»  
241036, Россия, Брянск, ул. Бежицкая, д. 14

**Адрес редакции и издателя:**

РИСО ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет  
имени академика И.Г. Петровского»  
241036, Россия, Брянск, ул. Бежицкая, д. 20

Дата размещения сетевого издания в сети Интернет  
на официальном сайте <http://www.ntv-brgu.ru> 25.09.2023 г.