



Научно-технический вестник

БРЯНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

*Nauchno-Tekhnicheskiy Vestnik
Bryanskogo Gosudarstvennogo
Universiteta*

Б Р Я Н С К

2024(1)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический
ВЕСТНИК
Брянского
государственного
университета**

**№ 1
2024**

Nauchno-tekhnicheskij
VESTNIK
Bryanskogo
gosudarstvennogo
universiteta

Scientific and Technical Journal of
Bryansk State University

№ 1
2024

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 1 (2024). Брянск: РИСО БГУ, 2023. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>
Размещено на официальном сайте журнала: 25.03.2024

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, ректор 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, ректор 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, 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, 2024
© 2024 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)

Гончаров К.А. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-07-23

Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2023 году в сфере развития канатных технологий для различных отраслей экономики ... 7

Заярный С.Л. (Калуга, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-24-36

Параметрические модели сопротивлений перемещению грузовой тележки мостового крана 24

Корытов М.С., Безродина А.Е. (Омск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-37-45

Сравнительная оценка энергетических затрат при перемещениях кранов-штабелеров 37

Серкова Л.Б., Варено Л.Г. (Омск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-46-54

Исследование дефектов опорных роликов листопередающей системы печатной машины 46

Сухарев Р.Ю., Сёмкин Д.С., Игнатов С.Д. (Омск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-55-64

Система автономного управления дорожно-строительной машиной 55

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Норматов И.Ш., Сабурова Г.Н. (Душанбе, Таджикистан)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-65-71

Метеорологические условия и их сезонное распределение в ущелье Гушары бассейна реки Варзоб (Таджикистан) 65

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)

Goncharov K.A. (Bryansk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-07-23

The results of scientific research of Bryansk State University in 2023 in the field of rope technologies development for various sectors of the economy 7

Zayarny S.L. (Kaluga, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-24-36

Parametric models of resistance to displacement overhead crane cargo trucks 24

Korytov M.S., Bezrodina A.E. (Omsk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-37-45

Comparative assessment of energy costs of stacker crane movements 37

Serkova L.B., Varepo L.G. (Omsk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-46-54

The use of support rollers in the sheet-transfer system of a printing machine 46

Sukharev R.Yu., Semkin D.S., Ignatov S.D. (Omsk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-55-64

Autonomous control system road construction machine 55

EARTH SCIENCE

Normatov I. Sh., Saburova G.N. (Dushanbe, Tajikistan)

DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-01-65-71

Meteorological conditions and their seasonal distribution in the Gushary gorge of the Varzob river basin (Tajikistan) 65

УДК (UDC) 608.4

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА В 2023 ГОДУ В СФЕРЕ РАЗВИТИЯ КАНАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИTHE RESULTS OF SCIENTIFIC RESEARCH OF BRYANSK STATE UNIVERSITY
IN 2023 IN THE FIELD OF ROPE TECHNOLOGIES DEVELOPMENT
FOR VARIOUS SECTORS OF THE ECONOMYГончаров 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. В статье представлены результаты научно-исследовательской деятельности в 2023 году ученых Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского в области разработки перспективных отечественных образцов конструкций однопролетных мобильных канатных дорог различного исполнения - на основе автономных самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости и на основе аэромобильных установок модульного типа. Также представлены результаты создания научно обоснованных методов их проектирования и компьютерного моделирования рабочих процессов при эксплуатации. В статье описаны результаты создания теории проектирования и моделирования рабочих процессов для универсальных машин-харвестеров, оснащенных канатным анкерным оборудованием, для проведения лесозаготовительных работ при работе на крутых склонах в условиях сильно пересеченной или гористой местности.

Ключевые слова: мобильная канатная дорога, аэромобильная канатная установка, самоходное шасси, канатное анкерное оборудование.

Дата получения статьи: 17.01.2024

Дата принятия к публикации: 18.02.2024

Дата публикации: 25.03.2024

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: <https://orcid.org/0000-0002-5895-1162>

Abstract. The article presents the results of research activities in 2023 by scientists of the Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University in the field of developing promising domestic designs of single-span mobile ropeways of various designs - based on autonomous self-propelled wheeled chassis with high load capacity and cross-country ability and based on modular airmobile units. The results of the creation of scientifically based methods for their design and computer modeling of operational processes are also presented. The article describes the results of the creation of a theory of design and modeling of work processes for harvesters equipped with rope anchoring equipment for logging operations when working on steep slopes in highly rugged or mountainous terrain.

Keywords: mobile ropeway, airmobile rope unit, self-propelled chassis, rope anchoring equipment.

Date of manuscript reception: 17.01.2024

Date of acceptance for publication: 18.02.2024

Date of publication: 25.03.2024

Author's 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: <https://orcid.org/0000-0002-5895-1162>

1. Введение

Приоритетным направлением научно-теоретических и научно-практических исследований ученых Брянского государственного университета имени академика И.Г.

Петровского в сфере развития канатных технологий для различных отраслей российской экономики является разработка перспективных отечественных образцов конструкций однопролетных мобильных канатных дорог различного исполнения - на основе автоном-

ных самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости и на основе аэромобильных установок модульного типа, а также образцов конструкций канатного анкерного оборудования применительно к универсальным машинам-харвестерам для их удержания на крутом склоне при проведении лесозаготовительных работ в условиях сильно пересеченной или гористой местности.

Указанные исследования проводятся в соответствии с планами развития научной деятельности университета и научно-исследовательской лаборатории транспортно-логистических роботизированных технологий и комплексов безопасной урбанизированной среды [1]. Как и в предыдущие годы [2-5], разработки исследователей БГУ им. акад. И.Г. Петровского применительно к указанным типам канатных машин и систем, исследования которых практически начались только в последние годы, занимают лидирующие позиции.

Специалисты НИЛ «Транспортно-логистические роботизированные технологии и комплексы безопасной урбанизированной среды» в 2023 году продолжали развивать перспективные исследования по разработке цифровых двойников мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов в рамках поддержанного Российским научным фондом проекта № 22-29-00798 «Создание научных основ разработки цифровых двойников мобильных канатных транспортно-перегрузочных систем для работы в зонах чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера» под руководством доктора технических наук И.А. Лагерев. Работы в этом направлении были начаты еще в предыдущие годы [6, 7].

Результаты исследований мобильных канатных транспортно-перегрузочных систем на базе автономных самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости для оперативного развертывания однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа были обобщены и опубликованы как главы [8, 9] в рамках двух монографий [10, 11] из серии книг «Energy, Environment, and Sustainability (ENENSU)» издательства Springer.

Также в 2023 году специалистами НИЛ «Транспортно-логистические роботизированные технологии и комплексы безопасной урбанизированной среды» продолжались исследования машин, оснащенных анкерными канатными устройствами, для проведения лесозаготовительных работ на крутых склонах в сложных природных условиях. Они проводились в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук «Разработка научных основ моделирования рабочих процессов и оптимального проектирования роботизированных машин для лесозаготовки на склонах с использованием канатных систем для позиционирования рабочего органа и вывоза древесины» (научный руководитель - доктор технических наук И.А. Лагерев). Работы в этом направлении также были начаты еще в предыдущие годы [12-15].

В 2023 году нашли успешное продолжение начатые ранее в 2022 году [16] исследования в области нового вида канатных транспортно-логистических систем – однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа на базе аэромобильных канатных установок контейнерного и рамного конструктивного исполнения. Результаты исследований ученых БГУ имени академика И.Г. Петровского применительно к этому виду канатных систем были обобщены в монографии [17].

В связи с высокой вычислительной сложностью разработанных расчетных методов были созданы и защищены как объекты интеллектуальной деятельности, правообладателем которых является БГУ им. акад. И.Г. Петровского, компьютерные программы [18-21], позволяющие обеспечить современный уровень автоматизации проектирования (включая оптимальное проектирование) и подготовки производства.

Результаты научно-исследовательской деятельности в 2023 году ученых Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского в сфере разработки и развития перспективных видов канатных транспортных технологий применительно к различным отраслям современной экономики,

успешно проводимые в Брянском государственном университете имени академика И.Г. Петровского, представляют интерес не только для российских, но также и для зарубежных профильных ученых и специалистов. Это подтверждается публикацией результатов рассмотренных выше исследований в иностранных научных журналах, индексируемых в авторитетных наукометрических базах Scopus и Web of Science [8, 9, 22, 23, 24], или в трудах научных иностранных конференций, в частности, в [25-29].

2. Мобильные транспортно-перегрузочные канатные комплексы

Важное методологическое значение для развития общей концепции проектирования и эксплуатации мобильных канатных дорог на базе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов имеет работа [30]. В статье представлены и проанализированы возможные альтернативные варианты однопролетных мобильных канатных дорог на базе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. На основании результатов сравнительного анализа установлен наиболее предпочтительный вариант - однопролетная одноканатная мобильная канатная дорога маятникового типа с несущее-тяговой канатной системой в виде замкнутого несущее-тягового каната с двумя параллельно расположенными ветвями. Также рассмотрено типовое конструктивное исполнение наиболее предпочтительного варианта и описан принцип его работы, а также перечислены основные узлы и механизмы основного технологического оборудования, которое должно входить в состав мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов.

В 2023 году в центре внимания продолжали оставаться исследования, направленные на разработку перспективных конструкций мобильно-транспортных перегрузочных канатных комплексов [8, 31] и вспомогательного оборудования канатных систем однопролетных мобильных канатных дорог [32].

В [8] представлены основные перспективные типы конструктивного оформления мобильных транспортно-перегрузочных ка-

натных комплексов и варианты размещения основного технологического оборудования несущее-тяговой канатной системы на многососных колесных шасси, описаны принципы работы механизмов на этапе разворачивания из транспортного положения в рабочее положение и в процессе эксплуатации.

С помощью патента [31] была защищена конструкция самоходной концевой станции мобильной канатной дороги. Самоходная концевая станция в виде оборудованного аутригерами и анкерами мобильного колесного шасси высокой грузоподъемности и проходимости предназначена для применения с другим аналогичным шасси в составе мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса. Она содержит приводной и натяжной механизмы, закрепленную на ее несущей раме концевую опору с расположенным на ней канатным шкивом и огибающий канатный шкив замкнутый натянутый несущее-тяговой канат с прицепными устройствами для подвески транспортируемых грузов. Новым техническим решением является то, что на оголовке концевой опоры расположены направляющие канатные ролики для поддержания обеих ветвей несущее-тягового каната, а узел крепления канатного шкива к концевой опоре расположен в ее нижней части, причем угол между плоскостью профилированного ручья канатного шкива и продольной осью концевой опоры составляет менее 45° , обеспечивая сопряжение набегающей и сбегавшей ветвей несущее-тягового каната на канатный шкив без перекоса относительно плоскости профилированного ручья канатного шкива. Общий вид указанной самоходной концевой станции показан на рис. 1. Технико-экономические преимущества данной конструкции обусловлены переносом приводного канатного шкива и сопутствующих ему конструктивных элементов механизма перемещения несущее-тягового каната с оголовка концевой опоры в зону крепления концевой опоры к несущей раме самоходного шасси, а также исключением из конструкции самоходной концевой станции механизма пространственной ориентации канатного шкива, который используется в аналогичных устройствах [33]. Пе-

ренос канатного шкива позволяет частично разгрузить среднюю и верхнюю часть несущей металлоконструкции концевой опоры, что при сохранении жесткостных параметров опоры позволяет снизить ее массо-габаритные характеристики. Также снижение на 20...30 кН·м величины опрокидывающего момента при подъеме концевой опоры из транспортного положения в рабочее положение позволяет на 20...30 % снизить исходную величину указанного момента [33], что позволяет использовать гидропривод с меньшей на те же 20...30 % мощностью, т.е. использовать в гидроприводе объемные насосы меньшего типоразмера и стоимости [34]. Также улучшаются условия контроля эксплуатационного состояния и технического обслуживания ответственных узлов самоход-

ной концевой станции со стороны эксплуатационного персонала, что способствует повышению безотказности и безопасности работы канатной дороги. Исключение механизма пространственной ориентации канатного шкива однозначно положительно влияет на повышение количественных характеристик надежности и снижение стоимости технического обслуживания самоходной концевой станции [35], причем благоприятные условия сопряжения несущего каната с профилированным ручьем канатного шкива не только сохраняются, но и обеспечиваются более надежно в связи с жесткой фиксацией условий набегания каната на шкив (исключены динамические процессы, требовавшие постоянной подстройки пространственной ориентации шкива).

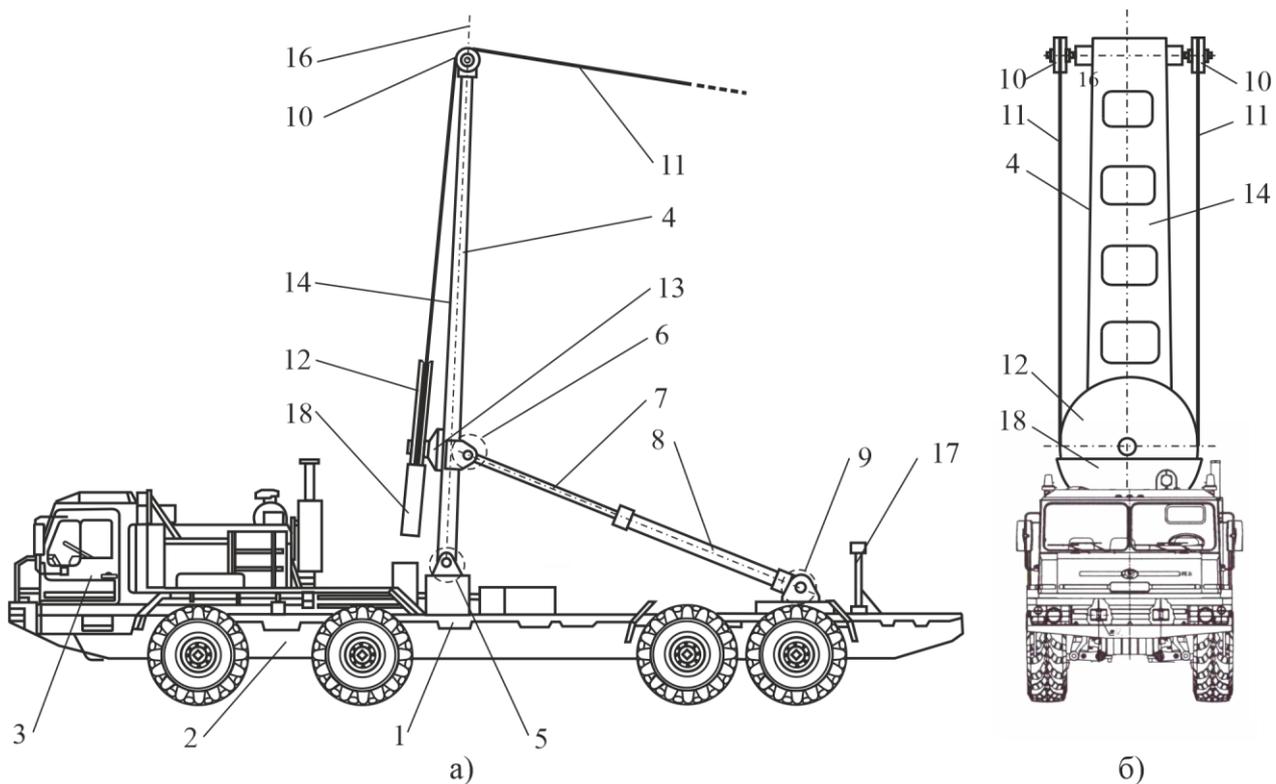


Рис. 1. Общий вид самоходной концевой станции с расположением канатного шкива в нижней части концевой опоры [31]: а – вид сбоку; б – вид спереди

- (1 – надрамная конструкция; 2 – несущая рама; 3 – самоходная концевая станция; 4 – концевая опора; 5, 6, 9 – цилиндрический шарнир; 7 – шток; 8 – подъемный гидроцилиндр; 10 – направляющий ролик; 11 – несуще-тяговый канат; 12 – канатный шкив; 13 – подшипниковый узел; 14 – боковая стенка; 15 – профилированный ручей; 16 – продольная ось; 17 – транспортная стойка;

С помощью патента [32] была защищена конструкция быстроразъемного устройства для соединения канатов мобильных канатных комплексов маятникового типа, которое

содержит разъемный корпус из двух прямоугольных половин в виде толстостенных пластин с канавками плавной зигзагообразной формы для укладки концов соединяемых

канатов, глубина которых меньше диаметра соединяемых канатов, и стяжные болты для прижатия и фиксации половин корпуса. Новым техническим решением является то, что устройство содержит два идентичных разъемных корпуса и короткий вспомогательный канат, в одной из прямоугольных пластин этих корпусов выполнены две параллельно расположенные канавки, одна из которых предназначена для укладки конца соединяемого каната, а вторая предназначена для укладки конца вспомогательного каната, причем вторая прямоугольная пластина корпуса выполнена разрезной из двух идентичных прижимных элементов, имеющих в плане прямоугольную форму и расположенных симметрично относительно продольной оси разъемного корпуса. В качестве варианта ис-

полнения устройства также предусмотрено, что продольные оси параллельных канавок могут быть расположены под углом к продольной оси разъемного корпуса, их входные отверстия должны быть расположены на продольной оси разъемного корпуса, причем с одной стороны корпуса расположено входное отверстие канавки для укладки конца соединяемого каната, с противоположной стороны расположено входное отверстие канавки для укладки конца вспомогательного каната, а прижимные элементы имеют в плане трапециевидальную форму и расположены кососимметрично относительно продольной оси разъемного корпуса. Общий вид указанного быстроразъемного устройства для соединения канатов показан на рис. 2.

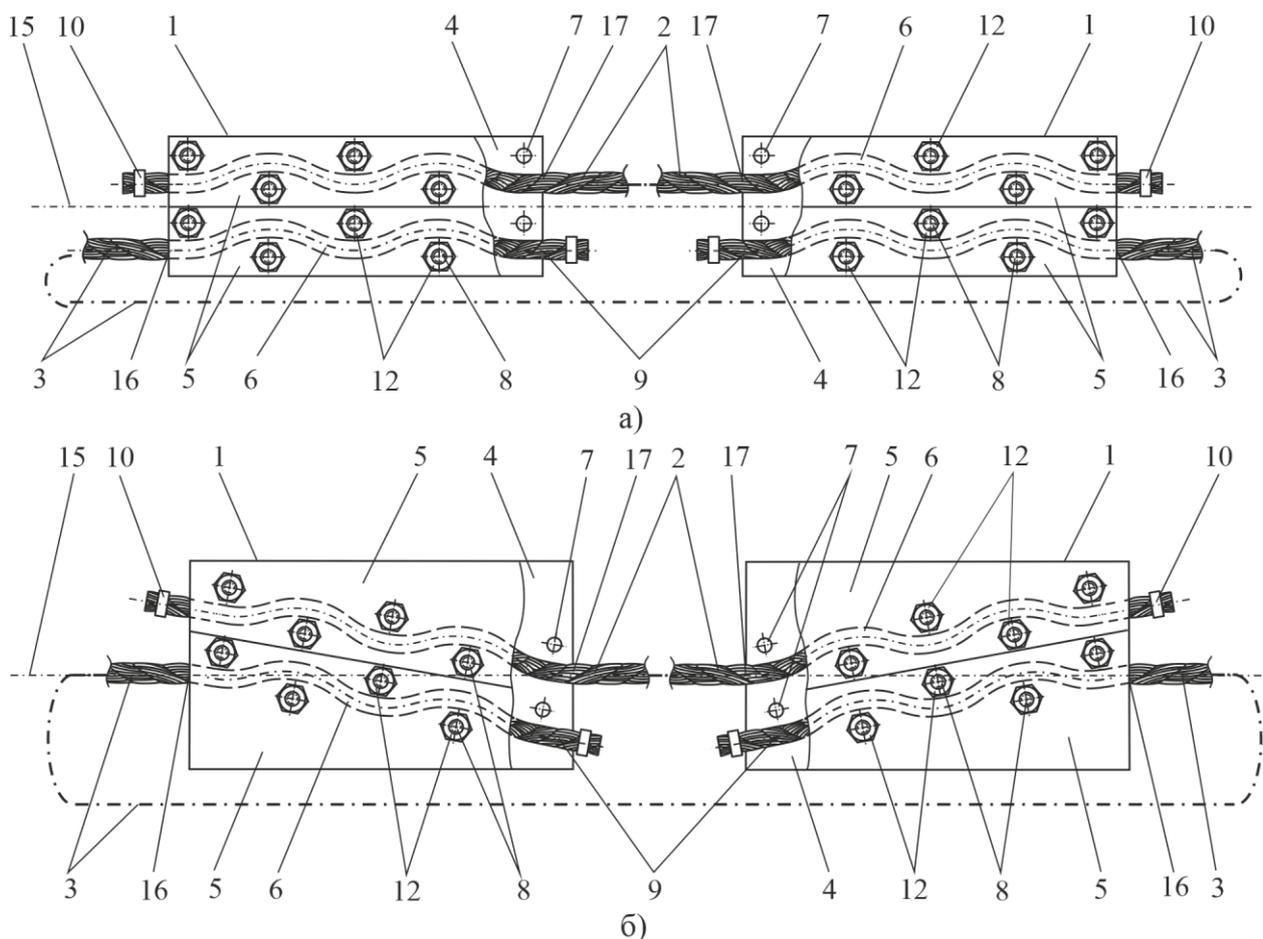


Рис. 2. Общий вид быстроразъемного устройства для соединения канатов мобильных канатных комплексов маятникового типа [32]: а – продольное расположение канавок;

б - наклонное расположение канавок

- (1 - разъемный корпус; 2 - вспомогательный канат; 3 - основной канат; 4 - пластина; 5 - прижимной элемент; 6 - канавка; 7 - отверстие; 8 - стяжной болт; 9 - соединяемый конец; 10 - втулка; 11 - пружинная шайба; 12 - гайка; 13 - органический сердечник; 14 - рабочая поверхность; 15 - продольная ось; 16 - входное отверстие; 17 - выходное отверстие)

Также были продолжены исследования, связанные с математическим моделированием конструкции и рабочих процессов в механизмах и системах мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. В частности, в [8] представлены математические модели и расчетные методы, позволяющие выполнить оптимальную компоновку основного технологического оборудования на несущей раме колесных шасси и обеспечить выбор таких оптимальных характеристик расположения концевой опоры в транспортном положении, при которых для самоходных установок при их перемещении к месту эксплуатации соблюдаются нормативные ограничения на габаритные размеры транспортных средств для автомобильных дорог. Также представлены методы проектирования и расчета размещения на колесных шасси ключевых элементов перспективных вариантов конструктивного исполнения механизма установки и фиксации концевой опоры в ее крайних положениях. Дополнительные результаты содержатся в работе [36], посвященной силовому расчету механизма канатной фиксации концевой опоры мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса, и в работе [37], уточняющей предложенное ранее [38, 39] математическое выражение для аппроксимации статической упругой линии несущего каната при тяговом расчете однопролетных мобильных канатных дорог.

Комплекс компьютерных программ, формирующих систему программной реализации разрабатываемых математических методов проектирования и моделирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов, пополнился рядом новых программ: компьютерной программой [18], реализующей метод силового расчета механизма канатной фиксации концевой опоры мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса [36]; программой [19], реализующей метод построения закона частотного регулирования гидропривода мобильной канатной дороги с минимальным циклом перемещения [40]; программой [20], реализующей метод оптимального проектирования устройства для установки выносных опор самоход-

ных шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов [41].

3. Аэромобильные канатные установки

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 [17]. Поэтому важное значение для создания концепции проектирования и применения однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа на базе аэромобильных канатных установок имеет работа [42], так как в ней сформулирован и обоснован принцип обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии. Соблюдение данного принципа 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, в статье были сформулированы рекомендации по выбору габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии, на которые целесообразно ориентироваться при проектировании и компоновке основного и сопутствующего технологического оборудования мобильных канатных дорог.

Исходя из учета сформулированного в [42] принципа обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии, в исследованиях [43, 44] был выполнен анализ технико-организационных возможностей воздушного транспорта (применительно к вертолетам) и автомобильного транспорта

(применительно к самоходным специальным колесным шасси высокой проходимости и грузоподъемности) для развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок.

Транспортировка аэромобильных канатных установок, включая необходимое основное и вспомогательное технологическое оборудование, к месту эксплуатации мобильных канатных дорог с помощью транспортных и многоцелевых вертолетов является ключевым методом их доставки. В [43] 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.

Транспортировка аэромобильных канатных установок к месту эксплуатации мобильных канатных дорог с помощью автомобильного транспорта также является эффективным методом их доставки. В [44] применительно к многоосным вездеходным автомобилям российского производства и на основании анализа их технических характеристик были сделаны рекомендации по их использованию, исходя из требуемых габаритных размеров и веса аэромобильных канатных установок. Базируясь на принципе обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии для комбинированной транспортировки различными со-

временными видами наземного, воздушного и водного транспорта, были рассмотрены возможности использования автомобильного транспорта для перевозки аэромобильных канатных установок, габаритные размеры которых соответствуют размерам универсальных и авиационных транспортных контейнеров.

Изданная в 2023 году учеными Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского монография «Мобильные канатные дороги на базе аэромобильных канатных установок» [17] является первой в мировой инженерной практике объемной публикацией, посвященной разработке общей концепции создания перспективных конструкций, принципа работы и основам проектирования нового класса многоцелевого специального мобильного транспортного оборудования – автономных аэромобильных канатных установок с высокой оперативной готовностью, предназначенных для развертывания однопролетных одноканатных мобильных канатных дорог маятникового типа в сложных природных условиях. Авторами были 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 в монографии рассмотрены вопросы, связанные с методологической разработкой основных положений концепции создания указанного типа мобильного транспортного оборудования, включая подходы к формированию принципиального конструктивного решения и структурно-функциональной схемы подобных мобильных канатных дорог, способных обеспечить необходимую эффективность проведения транспортно-перегрузочных операций в заявленных условиях природных и режимных

эксплуатации; к формулированию общих принципов разработки транспортных технологий оперативного перебазирования и развешивания мобильных канатных дорог; к созданию комплексной математической модели однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа на базе аэромобильных канатных установок как основы для дальнейших исследований по созданию цельной научно-обоснованной теории данного вида транспортирующего оборудования.

4. Лесозаготовительные машины с анкерными канатными устройствами

Проводимые в 2023 году исследования в сфере проектирования и моделирования рабочих процессов применительно к лесозаготовительным машинам с анкерными канатными устройствами были преимущественно направлены на оценку и прогнозирование прочности ключевых конструктивных элементов этих устройств и моделирование динамики машин совместно с их анкерными устройствами в процессе выполнения технологических операций лесозаготовки при работе на крутых склонах. Итоги этих исследований были подведены в работе [45].

Оценка прочности опоры анкерного каната машины для лесозаготовки на склоне бы-

ла проведена в [46] (рис. 3). Были рассмотрены два варианта опор для крепления анкерного каната:

- использования в качестве опоры отдельно стоящего дерева [47];
- использования в качестве опоры стальной двутавровой балки, вертикально забиваемой в грунт [48].

Расчеты выполнялись с помощью аналитических зависимостей, а также методом конечных элементов. Было установлено, что средний диаметр деревьев в типичной зоне лесозаготовки (0,2...0,3 м) позволяет обеспечить надежное удержание лесозаготовительной машины для работы на склоне, так как обеспечивается предельная величина усилия на опоре 10...12 кН. Однако использование стальной двутавровой балки для закрепления машины на склоне является более эффективным, так как позволяет выдерживать в 2..4 раза большие нагрузки, чем отдельно стоящее дерево. В частности, максимальные перемещения точки крепления анкерного каната для опоры в виде балки-двутавра № 22 при деформации грунта типа крупного песка могут составлять 40 мм, а давление на грунт по передней кромке стальной балки - 267...450 МПа, что соответствует несущей способности грунтов.

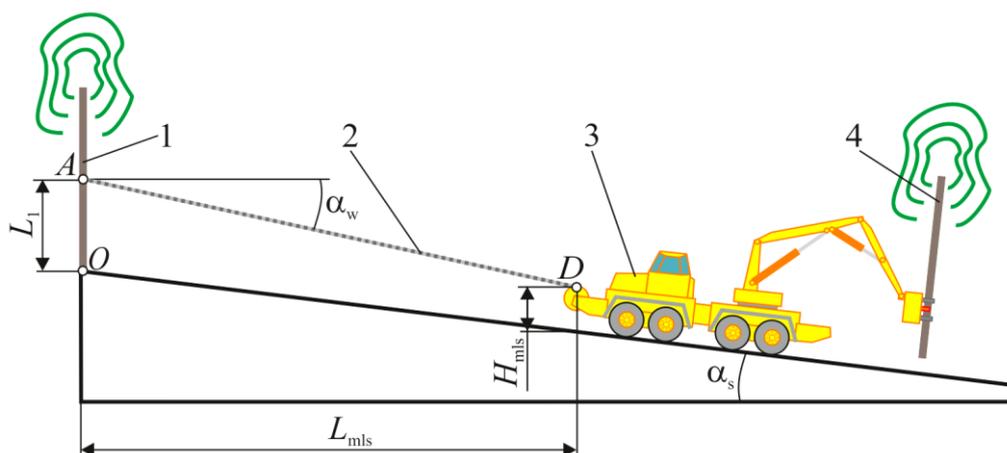


Рис. 3. Расчетная схема модели для оценки прочности опоры анкерного каната [46]
 (1 – анкерное дерево; 2 – анкерный канат; 3 – машина для лесозаготовки на склоне; 4 – спиленное дерево)

Различные аспекты динамики машин совместно с их анкерными устройствами в процессе выполнения технологических опе-

раций лесозаготовки при работе на крутых склонах были рассмотрены в [49-52].

В [50] был проведен сравнительный анализ двух вариантов конструктивного испол-

нения узла крепления лесозаготовительной машины к анкерной канатной системе:

- посредством закрепления анкерного каната на специальной тяговой лебедке, непосредственно установленной на несущей раме лесозаготовительной машины;

- посредством закрепления анкерного каната на специальной тяговой лебедке, установленной на дополнительном самоходном модуле.

Результаты анализа позволили сделать вывод о том, что динамические характеристики системы «лесозаготовительная машина – анкерная канатная система» оказываются практически одинаковыми.

Представленные в [51, 52] исследования были посвящены проблеме снижения динамических нагрузок, возникающих в анкерном канате в процессе работы лесозаготовительной машины. Авторы рассмотрели вариант с установкой дополнительного демпфирующего устройства на опоре анкерного каната, для чего разработали соответствующую динамическую математическую модель и на ее основе выполнили анализ влияния количественных параметров демпфера на амплитуду динамических напряжений в канате. Результаты численного моделирования показали, что установка демпфера возле опоры анкерного каната позволяет на 10% снизить величину максимальных динамических усилий в канате, причем частота колебаний также снижается.

5. Заключение

Результаты исследований, проводимых учеными Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского в области разработки перспективных отечественных образцов конструкций однопролетных мобильных канатных дорог различного исполнения - на основе автономных самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости и на основе аэромобильных установок модульного типа, под-

тверждают и научно обосновывают те практически значимые технико-экономические достоинства указанного оборудования, которые позволяют рассматривать его в качестве перспективного вида оборудования для реализации современных транспортно-логистических технологий грузовых и пассажирских перевозок, а также для многоцелевого использования в разнообразных чрезвычайных ситуациях.

Также перспективным видом технологического оборудования с использованием канатных технологий являются лесозаготовительные машины для проведения необходимых работ на лесосеках со сложными природными условиями, в частности, при работе на крутых склонах. Можно прогнозировать, что актуальность разработки таких машин, снабженных канатными анкерными устройствами, в дальнейшем будет только возрастать. Это обусловлено тем фактом, в настоящее время в связи с истощением традиционных источников отмечается повышение сложности добычи природных ресурсов. Это относится не только к добыче энергоносителей (газа, нефти или угля), но и к заготовке леса, так как значительные территории, перспективные для осуществления лесозаготовительной деятельности, расположены в сильно пересеченной и гористой местности на крутых склонах, в местах с частичным наличием сильно переувлажненных грунтов, заболоченности и топей [53].

Представленные в данной статье результаты научных исследований ученых Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского, активно участвующих не только в научно-исследовательской, но и образовательной деятельности учебного заведения, на примере указанного вуза подтверждают тезис о наличии значительного научного интеллектуального потенциала, сосредоточенного в стенах российских университетов, и о синергетическом эффекте взаимовлияния научных и образовательных процессов [54].

Список литературы

1. Научно-исследовательская лаборатория транспортно-логистических роботизированных технологий и комплексов безопасной урбанизированной среды. Режим доступа: <https://brgu.ru/science/general-information/nauchnye-podrazdeleniya/nil-transportno-logisticheskie-robotizirovannye-tekhnologii-/> (дата обращения 22.01.2024).

2. 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.

3. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в сфере мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 1. С. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29

4. 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

5. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2022 году в сфере создания мобильных канатных дорог и лесных канатных машин на базе самоходных колесных шасси // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 1. С. 9-27. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-9-27

6. Лагереv И.А., Таричко В.И., Панфилов А.В. Методика создания и применения цифрового двойника мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Advanced Engineering Research. 2020. Т.

References

1. *Research laboratory of transport and logistics robotic technologies and complexes of a safe urbanized environment* [site]. Available at: <https://brgu.ru/science/general-information/nauchnye-podrazdeleniya/nil-transportno-logisticheskie-robotizirovannye-tekhnologii-/> (accessed 03 Apr. 2024). (In Russian)

2. 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)

3. Stepchenko T.A., Babich O.V. Results of scientific research of Bryansk State University in the sphere of mobile transportation and handling rope systems and ropeways. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29. (In Russian)

4. 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)

5. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of Bryansk State University scientific research in 2022 in the field of creation of mobile ropeways and forest rope units based on self-propelled wheeled chassis. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.1, pp. 9-27. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-09-27. (In Russian)

6. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Panfilov A.V. Methods of creating and using a digital twin of a mobile transport and transshipment rope complex. *Advanced Engineering Research*, 2020, Vol.20, No.3, pp. 243-251. DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-243-251. (In Russian)

20. №3. С. 243-251. DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-243-251.

7. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Общий подход к созданию цифровых двойников мобильных канатных дорог на основе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 1. С. 38-60. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-38-60

8. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Mobile aerial ropeways based on autonomous self-propelled chassis: designs and operation. In: Sharma S.K., Upadhyay R.K., Kumar V., Valera H. (eds). Transportation Energy and Dynamics. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. 2023. P. 355-380. DOI: 10.1007/978-981-99-2150-8_15

9. Lagerev, A.V., Lagerev, I.A. Mobile Aerial Ropeways Based on Autonomous Self-propelled Chassis: Layout of Technological Equipment. In: Upadhyay, R.K., Sharma, S.K., Kumar, V., Valera, H. (eds). Transportation Systems Technology and Integrated Management. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. 2023. P. 253-285. DOI: 10.1007/978-981-99-1517-0_12

10. Transportation Energy and Dynamics. Energy, Environment, and Sustainability (Springer book series (ENENSU)) / Sharma S.K., Upadhyay R.K., Kumar V., Valera H. (eds). Springer, Singapore, 2023. 513 p. DOI: 10.1007/978-981-99-2150-8_15

11. Transportation Systems Technology and Integrated Management. Energy, Environment, and Sustainability (Springer book series (ENENSU)) / Upadhyay R.K., Sharma S.K., Kumar V., Valera H. (eds). Springer, Singapore, 2023. 489 p. DOI: 10.1007/978-981-99-1517-0_12

12. Лагерев И.А., Химич А.В., Шкурманова С.С. Подходы к имитационному моделированию рабочих процессов канатной лесозаготовительной машины для работы на склонах // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. №2. С. 125-130. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-02-125-130

13. Химич А.В., Лагерев И.А. Исследование динамической нагруженности мо-

7. 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: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-38-60 (In Russian)

8. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Mobile aerial ropeways based on autonomous self-propelled chassis: designs and operation. In: Sharma S.K., Upadhyay R.K., Kumar V., Valera H. (eds). Transportation Energy and Dynamics. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. 2023. P. 355-380. DOI: 10.1007/978-981-99-2150-8_15

9. Lagerev, A.V., Lagerev, I.A. Mobile Aerial Ropeways Based on Autonomous Self-propelled Chassis: Layout of Technological Equipment. In: Upadhyay, R.K., Sharma, S.K., Kumar, V., Valera, H. (eds). Transportation Systems Technology and Integrated Management. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. 2023. P. 253-285. DOI: 10.1007/978-981-99-1517-0_12

10. Transportation Energy and Dynamics. Energy, Environment, and Sustainability (Springer book series (ENENSU)) / Sharma S.K., Upadhyay R.K., Kumar V., Valera H. (eds). Springer, Singapore, 2023. 513 p. DOI: 10.1007/978-981-99-2150-8_15

11. Transportation Systems Technology and Integrated Management. Energy, Environment, and Sustainability (Springer book series (ENENSU)) / Upadhyay R.K., Sharma S.K., Kumar V., Valera H. (eds). Springer, Singapore, 2023. 489 p. DOI: 10.1007/978-981-99-1517-0_12

12. Lagerev I.A., Khimich A.V., Shkurmanova S.S. Approaches to simulation modeling of working processes of a rope logging machine for working on slopes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.2, pp. 125-130. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-02-125-130 (In Russian)

13. Khimich A.V., Lagerev I.A. The dynamic loading study of a mobile transport and technological machine, placed on a slope. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo*

бильной канатной транспортно-технологической машины, размещенной на склоне // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. №2. С. 159-164. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-02-159-164

14. Лагерев И.А., Химич А.В. Математическое моделирование динамики кабельной грузоподъемной машины // Ученые записки Брянского государственного университета. 2022. №1. С. 7-10.

15. Химич А.В., Лагерев И.А. Математическое моделирование динамики канатной грузоподъемной машины с учетом влияния тягового и несущего канатов // Ученые записки Брянского государственного университета. 2022. №2. С. 31-35.

16. Пат. 2780877 Рос. Федерация: МПК⁷ В16В 7/00. Быстромонтируемая мобильная канатная дорога / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев. - № 2022117303; заявл. 24.06.2022; опубл. 04.10.2022. Бюл. № 32.

17. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Мобильные канатные дороги на базе аэромобильных канатных установок. Брянск: РИСО БГУ, 2023. 201 с.

18. Проектирование механизма канатной фиксации концевой опоры мобильной канатной дороги / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023666606. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 02.08.2023. Бюл. № 8.

19. Построение закона частотного регулирования гидропривода мобильной канатной дороги с минимальным циклом перемещения / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023685829. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 30.11.2023. Бюл. № 12.

20. Оптимальное проектирование устройства установки аутригеров колесных шасси мобильных канатных установок / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023685840. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 30.11.2023. Бюл. № 12.

21. Проектный расчет канатной системы однопролетной аэромобильной канатной дороги маятникового типа / А.В. Лаге-

gosudarstvennogo universiteta, 2022, No.2, pp. 159-164. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-02-159-164 (In Russian)

14. Lagerev I.A., Khimich A.V. Mathematical modeling of dynamics cable lifting machine. *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 7-10. (In Russian)

15. Khimich A.V., Lagerev I.A. Mathematical modeling of dynamics cable lifting machine with the influence of traction and load-bearing ropes. *Ucheniye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.2, pp. 31-35.

16. 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)

17. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Mobilnye kanatnye dorogi na base aeromobilnykh kanatnykh ustanovok* [Mobile ropeways based on airmobile rope units. Bryansk, RISO BГУ, 2023. 201 p. (In Russian)

18. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Proektirovanie mekhanizma kanatnoy fiksatsii kontsevoy opory mobilnoy kanatnoy dorogi. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Designing the rope fixation mechanism of the end tower of a mobile ropeway. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2023666606, 2023 (In Russian)

19. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Postroenie zakona chastotnogo regulirovaniya gidroprivoda mobilnoy kanatnoy dorogi s minimalnym tsiklom peremeshcheniya. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Construction of the law of frequency regulation of the hydraulic drive of a mobile ropeway with a minimum motion cycle. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2023685829, 2023 (In Russian)

20. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Optimalnoe proektirovanie ustroystva ustanovki autrigerov kolesnykh shassi mobilnykh kanatnykh ustanovok. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Optimal design of the outrigger installation device for

рев, И.А. Лагерев. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023666673. За-регистрир. в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2023. Бюл. № 8.

22. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Force analysis of the hydraulic mechanism for moving the end tower of a transport unit for a mobile ropeway // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2476. P. 020017. DOI: 10.1063/5.0103011

23. Goncharov K., Lagerev A. Simulation of the Joint Operation of an Electric Motor and a Hydraulic Coupling in a Belt Conveyor Drive // Serbian Journal of Electrical Engineering. Vol. 20. No. 3. P. 283-299 DOI: 10.2298/SJEE2303283G

24. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal planning of the mobile cargo ropeway repair strategy // International Journal System Assurance Engineering and Management. 2023. Vol. 14. No. 3. P. 1125-1137. DOI: 10.1007/s13198-023-01925-0

25. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Forecasting the reliability of mobile ropeways based on self-propelled wheeled chassis // Conference proceeding book of 4 International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies, Turkish Republic of Northern Cyprus, April 28-30, 2023. P. 124.

26. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Chemical methods for improving the reliability of rope transport systems // Abstract book of Ahi Evran 3 International Conference on Scientific Researches. Baku, Azerbaijan, May 3-4, 2023. P. 6.

27. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Prospects for the use of mobile ropeways based on airmobile rope units // Proceeding book of 11 International Eurasia Congress on Scientific Researches and Recent Trends. Nevsehir, Turkey, June 22-23, 2023. P. 795.

28. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Prospects for the use of aerial ropeways for the organization of sustainable public transport in smart cities // Proceeding book of 3 International Architectural Sciences and Applications Symposium. Naples, Italy, September 14-15, 2023. P. 145. DOI: 10.5281/zenodo.10032598

29. Lagerev I.A., Khimich A.V., Lagerev A.V. Methods of analysis of work processes during the logging machines operations in

wheeled chassis of mobile rope installations. The Certificate on official registration of the computer program], 2023, No. 2023685840 (In Russian)

21. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Proektnyy raschet kanatnoy sistemy odnoproletnoy aeromobilnoy kanatnoy dorogi mayatnikovogo tipa. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Design calculation of the rope system of a single-span airmobile ropeway of the pendulum type]. 2023, No. 2023666673 (In Russian)

22. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Force analysis of the hydraulic mechanism for moving the end tower of a transport unit for a mobile ropeway. *AIP Conference Proceedings*, 2023, vol. 2476, pp. 020017. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0103011>

23. Goncharov K., Lagerev A. Simulation of the Joint Operation of an Electric Motor and a Hydraulic Coupling in a Belt Conveyor Drive. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 283-299. DOI: <https://doi.org/10.2298/SJEE2303283G>

24. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal planning of the mobile cargo ropeway repair strategy. *International Journal System Assurance Engineering and Management*, 2023, Vol. 14, No. 3, pp. 1125-1137. DOI: 10.1007/s13198-023-01925-0

25. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Forecasting the reliability of mobile ropeways based on self-propelled wheeled chassis. In: *Conference Proc. Book of 4 Int. Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, Turkish Republic of Northern Cyprus, April 28-30, 2023. P. 124.

26. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Chemical methods for improving the reliability of rope transport systems. In: *Abstract book of Ahi Evran 3 Int. Conference on Scientific Researches*, Baku, Azerbaijan, May 3-4, 2023. P. 6.

27. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Prospects for the use of mobile ropeways based on airmobile rope units. In: *Proc. Book of 11 Int. Eurasia Congress on Scientific Researches and Recent Trends*, Nevsehir, Turkey, June 22-23, 2023. P. 795.

28. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Prospects for the use of aerial ropeways for the organiza-

mountainous areas // Abstract book of 4 International Black Sea Modern Scientific Research Congress. Rize, Turkey, June 6-7, 2023. P. 472.

30. Таричко В.И., Лагерев И.А. Анализ альтернативных вариантов однопролетных мобильных канатных дорог на базе самоходных шасси // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 1. С. 101-111. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-101-111

31. Пат. 221432 Рос. Федерация: МПК⁷ В61В 7/00, В61В 7/06, В66С 23/16. Самоходная концевая станция мобильной канатной дороги / Лагерев А.В., Лагерев И.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». №2023115776; заявл. 15.06.2023; опубл. 07.11.2023, Бюл. № 31.

32. Пат. 220883 Рос. Федерация: МПК⁷ F16G 11/00. Быстроразъемное устройство для соединения канатов мобильных канатных комплексов маятникового типа / Лагерев А.В., Лагерев И.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». №2023117668; заявл. 03.07.2023; опубл. 09.10.2023, Бюл. № 28.

33. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2020. 207 с. DOI: 10.5281/zenodo.10581288

34. 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

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

36. Таричко В.И., Лагерев А.В., Лагерев И.А. Силовой расчет механизма канатной фиксации концевой опоры мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 2. С. 159-172. DOI: 10.22281/2413-

tion of sustainable public transport in smart cities. In: *Proc. Book of 3 Int. Architectural Sciences and Applications Symposium*, Naples, Italy, September 14-15, 2023. P. 145. DOI: 10.5281/zenodo.10032598

29. Lagerev I.A., Khimich A.V., Lagerev A.V. Methods of analysis of work processes during the logging machines operations in mountainous areas. In: *Abstract Book of 4 Int. Black Sea Modern Scientific Research Congress*, Rize, Turkey, June 6-7, 2023. P. 472.

30. Tarichko V.I., Lagerev I.A. Alternative variants analysis of single-span mobile ropeways based on self-propelled chassis. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.1, pp. 101-111. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-101-111 (In Russian)

31. Patent RU 221432, B61B 7/00, B61B 7/06, B66C 23/16. *Samokhodnaya kontseвая stantsiya mobilnoy kanatnoy dorogi* [Self-propelled terminal station of the mobile ropeway]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 15.06.2023. Published 07.11.2023. (In Russian)

32. Patent RU 220883, F16G 11/00. *Bystrorazyemnoe ustroystvo dlya soedineniya kanatov mobilnykh kanatnykh kompleksov mayatnikovogo tipa* [Quick-release device for connecting ropes of mobile rope complexes of pendulum type]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 03.07.2023. Published 09.10.2023. (In Russian)

33. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktсии 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. DOI: 10.5281/zenodo.10581288 (In Russian)

34. 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)

35. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Nadezhnost i bezopasnost ekspluatatsii*

9920-2023-09-02-159-172

37. Лагерев А.В. Аппроксимация статической упругой линии несущего каната при тяговом расчете однопролетных мобильных канатных дорог // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 4. С. 344-356. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-04-344-356

38. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Design of passenger aerial ropeway for urban environment // Urban Rail Transit. 2019. Vol. 5. No. 1. P. 17-28. DOI: 10.1007/s40864-018-0099-z

39. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Определение усилий натяжения канатов при эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 3. С. 194-210. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-03-194-210

40. 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

41. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Анализ работы устройства для установки выносных опор самоходных шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 299-309. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-299-310

42. Лагерев А.В. Обоснование и анализ принципа обеспечения универсальности габаритных размеров аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 3. С. 239-254. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-239-254

43. Шатунова Е.А., Лагерев И.А. Анализ технико-организационных возможностей вертолетов для развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных ка-

† 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)

† 36. Tarichko V.I., Lagerev A.V., Lagerev I.A. Force calculation of the fastening mechanism of the end tower of a mobile transport and reloading rope unit using a holding rope. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.2, pp. 159-172. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-02-159-172 (In Russian)

† 37. Lagerev A.V. Approximation of the static elastic line of the carrying rope in the traction calculation of single-span mobile ropeways. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.4, pp. 344-356. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-04-344-356 (In Russian)

† 38. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Design of Passenger Aerial Ropeway for Urban Environment. *Urban Rail Transit*, 2019, Vol.5, No.1, pp. 17-28. DOI: 10.1007/s40864-018-0099-z

† 39. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Determination of tension forces of ropes during the operation of mobile transport and reloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.3, pp. 194-210. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-03-194-210 (In Russian)

† 40. 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-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.4, pp. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480 (In Russian)

† 41. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Analysis of the operation of a device for installing outriggers of self-propelled chassis of mobile transport and reloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.4, pp. 299-309. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-299-310 (In Russian)

† 42. Lagerev A.V. Justification and analysis

натных 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., Лагереv И.А. Анализ технико-организационных возможностей специальных колесных шасси для развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 4. С. 357-368. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-04-357-368

45. Лагереv И.А. Разработка научных основ создания канатных машин для лесозаготовки на склонах // Теоретические и прикладные аспекты естественнонаучного образования в эпоху цифровизации. Материалы международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 37-41.

46. Химич А.В. Оценка прочности опоры анкерного каната машины для лесозаготовки на склоне // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. №1. С. 112-120. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-112-120

47. Химич А.В. Оценка прочности крепления к дереву машины для лесозаготовки на склоне // Сб. тр. III междунар. научно-практ. конф. «Инженерно-техническое образование и наука». Новороссийск: Новороссийский филиал БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. С. 22.

48. Химич А. В. Исследование взаимодействия с грунтом анкерной опоры машины для лесозаготовки на склоне // Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2023. Т. 3. № 2(10). С. 37-43.

49. Химич А.В. Моделирование колебаний дерева, используемого для закрепления машины для лесозаготовки на склоне // Сб. тр. Междунар. научно-техн. конф. «Транспортные и транспортно-технологические системы». Тюмень: ТИУ, 2023. С. 198-202.

50. Химич А.В. Сравнительный анализ вариантов размещения тяговых лебедок машин для лесозаготовки на склонах // Сб.

of the principle of ensuring the universality of the airmobile rope units overall dimensions in transport condition. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.3, pp. 239-254. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-03-239-254 (In Russian)

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

44. Shatunova E.A., Lagerev I.A. Analysis of technical and organizational capabilities of special wheeled chassis for the deployment of mobile ropeways based on airmobile rope units. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.4, pp. 357-368. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-04-357-368 (In Russian)

45. Lagerev I.A. Development of scientific foundations for the creation of rope machines for logging on slopes. In: *Teoreticheskie i prikladnye aspekty estestvennonauchnogo obrazovaniya v epokhu tsifrovizatsii. Materiale mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Bryansk, 2023, pp. 37-41 (In Russian)

46. Khimich A.V. The strength assessment of the anchor rope support of the machine for logging on the slope. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.1, pp. 112-120. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-112-120

47. Khimich A.V., Lagerev I.A. Assessment of the strength of attachment to a tree of a logging machine on a slope. In: *Sbornik trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenerno-tekhnicheskoe obrazovanie i nauka»*. Novorossiyskiy filial BGTU im. V.G. Shukhova, 2023, pp. 22-26 (In Russian)

48. Khimich A.V. Investigation of the interaction with the ground of the anchor support of a logging machine on a slope. *Molodezhnyy vestnik Novorossiyskogo filiala Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*, 2023, Vol.3,

тр. Междунар. научно-техн. конф. «Транспортные и транспортно-технологические системы». Тюмень: ТИУ, 2023. С. 202-206.

51. Химич А.В. Влияние вязкости демпфера анкерного каната технологической машины, работающей на склоне, на силу его натяжения // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: мат. Всеросс. научно-практ. конф., Брянск, 25–26 мая 2023 г. Брянск: Брянский государственный технический университет, 2023. С. 12-14.

52. Химич А.В. Эффективность установки демпфера анкерного каната технологической машины, работающей на склоне // Научному прогрессу – творчество молодых. 2023. № 1. С. 174-176.

53. Лагереv И.А., Химич А.В. Перспективы развития транспортно-технологических машин для заготовки леса на склонах // В сб.: Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2022. С. 64-65.

54. Лагереv А.В., Попков В.И., Горленко О.А. Компетентностный подход и ФГОС третьего поколения // Инженерное образование. 2012. № 11. С. 36-41.

No.2(10), pp. 37-43 (In Russian)

49. Khimich A.V. Simulation of vibrations of a tree used to fix a logging machine on a slope. In: *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy»*. Tyumen, TIU, 2023, pp. 198-202 (In Russian)

50. Khimich A.V. Comparative analysis of options for placing traction winches of logging machines on slopes. In: *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy»*. Tyumen, TIU, 2023, pp. 202-206 (In Russian)

51. Khimich A.V. The effect of the viscosity of the anchor rope damper of a technological machine operating on a slope on the strength of its tension. In: *Innovatsionnoe razvitie podemno-transportnoy tekhniki. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Bryansk, 25–26 May 2023, pp. 12-14 (In Russian)

52. Khimich A.V. Efficiency of installation of the anchor rope damper of a technological machine operating on a slope. In: *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodyhk*. Yoshkar-Ola, 2023, No.1, pp. 174-176 (In Russian)

53. Lagerev I.A., Khimich A.V. Prospects for the development of transport and technological machines for logging on slopes. In: *Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference “Innovative development of land transport equipment and technologies”*. Ekaterinburg, UrFU, 2022, pp. 64-65. (In Russian)

54. Lagerev A.V., Popkov V.I., Gorlenko O.A. Competence-based approach and third-generation FSES. *Inzhenernoe obrazovanie*, 2012, No.11, pp. 36-41 (In Russian)

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЮ
ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНАPARAMETRIC MODELS OF RESISTANCE TO MOVEMENT OF A CARGO TRUCK
OF AN OVERHEAD CRANEЗаярный С.Л.
Zayarny S.L.Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал (Калуга, Россия)
Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Kaluga branch (Kaluga, Russian Federation)

Аннотация. Рассмотрены факторы сопротивления перемещению тележки мостового как системы, состоящей из множества элементов, находящихся в структурных и функциональных связях друг с другом и мало меняющиеся при функционировании системы и составлены их параметрические модели. При этом, взаимозависимое влиянием конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов в системе рассмотрено с учетом их проявления в различных физических эффектах. Составлена многоуровневая иерархическая структурно-функционально-параметрическая модель системы, сформированная на принципе последовательной двухуровневой иерархии, а также параметрические модели различного уровня применительно к периодам наиболее интенсивного изменения состояний и трансформации системы в процессе функционирования: сопротивления от трения качений; сопротивления от трения в буксах; сопротивление от токоподвода; сопротивления от уклона; сопротивления от инерции. Рассмотрен конструктивный способ снижения сопротивления перемещению тележки посредством введения в конструкцию элементов упругого подвешивания моста крана, что обеспечивает формирование отрицательного уклона, характеризуемого как «кинематический уклон», величина которого изменяется пропорционально изменению положения грузовой тележки. Определено понятие параметрической надежности, применительно к системе сопротивления передвижению тележки мостового крана, как функции времени, характеризующей вероятность выполнения условия нахождения его числовых значений в пределах, установленных техническими условиями.

Ключевые слова: параметрическая модель, мостовой кран, грузовая тележка, сопротивление передвижению

Abstract. The factors of resistance to the movement of the bridge trolley as a system consisting of many elements that are in structural and functional relationships with each other and change little during the operation of the system are considered and their parametric models are compiled. At the same time, the interdependent influence of structural, technological and operational factors in the system is considered taking into account their manifestation in various physical effects. A multi-level hierarchical structural-functional-parametric model of the system has been compiled, formed on the principle of a sequential two-level hierarchy, as well as parametric models of various levels applied to the periods of the most intense change in the states and transformation of the system in the process of functioning: resistance from rolling friction; resistance from friction in the axle boxes; resistance from the current supply; resistance from slope; resistance from inertia. A constructive method of reducing the resistance to the movement of the crane is considered by introducing elements of elastic suspension of the crane bridge into the design, which ensures the formation of a negative slope, characterized as a "kinematic slope", the value of which varies in proportion to the change in the position of the cargo trolley. The concept of parametric reliability is defined, applied to the drag system of the bridge crane trolley, as a time function characterizing the probability of fulfilling the condition of finding its numerical values in the limits set by the technical conditions.

Keywords: parametric model, overhead crane, cargo trolley, resistance to movement.

Дата получения статьи: 05.11.2023
Дата принятия к публикации: 08.02.2024
Дата публикации: 25.03.2024

Date of manuscript reception: 05.11.2023
Date of acceptance for publication: 08.02.2024
Date of publication: 25.03.2024

Сведения об авторе:

Заярный Сергей Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
e-mail: texnakon@yandex.ru.

**Author' information:**

Sergey L. Zayarny – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department «Lifting and transport systems», Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, e-mail: texnakon@yandex.ru

1. Введение

Работа мостового крана может проходить по различным технологическим схемам представленных характерными технологическими циклами, каждый из которых описывает возможные траектории движения груза. Перемещение грузовой тележки является одной из составляющей технологического цикла, а сопротивление ее передвижению, является одним из факторов, определяющих эффективность привода передвижения грузовой тележки и крана в целом. Величина сопротивления передвижению грузовой тележки, определяется взаимозависимым влиянием конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, проявляемых в различных физических эффектах. Процесс взаимодействия этих факторов и физических эффектов формирует техническую систему сопротивления передвижению грузовой тележки как некоторое множество элементов, находящихся в структурных и функциональных связях друг с другом и мало меняющееся при функционировании системы. Для рассмотрения характеристик системы в математической, физической, символической или графической формах используются структурно-функционально-параметрические и параметрические модели. В рамках системной инженерии эти модели разграничиваются своим базовым содержанием, определяемым как «логическое» и «математическое» моделирование [1].

2. Грузовая тележка как элемент конструкции мостового крана

Разнообразие конструкций грузовых тележек мостового крана определяется областью его применения, способом функционирования и особенностями конструкции моста.

Несмотря на всё конструктивное разнообразие, грузовые тележки имеют характерные конструктивные элементы и условия функционирования, которые в конечном счете и определяют величину сопротивления ее передвижению.

Так, опорные грузовые тележки мостовых кранов перемещаются на ходовых колесах по рельсам, уложенным по верхнему поясу главной балки. Приводные колеса взаимодействуют с рельсом, а неприводные колеса оказывают дополнительное влияние на передвижение тележки.

В механизмах передвижения тележек находят применение как ребордные, так и безребордные колеса с направляющими роликами, применение которых снижает сопротивление передвижению примерно в два раза.

Колеса могут выполняться с цилиндрическим или коническим кругом катания. Применение конических колес при их достаточной ширине обеспечивает выравнивание положения тележки без участия реборды, что уменьшает сопротивление передвижению и износ ходовых колес по сравнению с применением цилиндрических ребордных колес. Для уменьшения трения при движении тележки с перекосом на реборды колес и головки рельсов наносят смазку. Ходовые колеса закрепляются на валах, монтируемых на сферических подшипниках в угловых либо разъемных буксах. Положение букс определяется положением опорных платиков, приваренных к металлической конструкции. Известны конструкции буксовых узлов, обеспечивающие выверку их положения в процессе монтажа и эксплуатации [2].

Токоподвод к тележке осуществляется различными способами. Наибольшее распространение имеет токоподвод с помощью гибкого кабеля, который на специальной подвеске перемещается по натянутому кана-

ту. В некоторых случаях используются кабеленесущие каретки, каждая из которых имеет раму, два концевых барабана, через которые проходит питающий кабель, и опорные катки, на которых каретка перемещается по путям уложенным на мосту крана. При этом неподвижная, подводящая точка кабеля располагается в средней части моста, а питающая точка кабеля перемещается вместе с тележкой [3].

3. Структурно-функционально-параметрическая модель

Рассмотрим характеристики системы сопротивления передвижению грузовой тележки мостового крана в рамках структурно-функционально-параметрической модели с реализацией методов и средств системной инженерии. Для формирования структуры системы используем принцип двухуровневой иерархии, при котором элемент верхнего уровня представляет собой систему, представленную элементами нижнего уровня, которые, в свою очередь, разделены на несколько конструктивных элементов. Объединение структур с двухуровневой иерархией, позволяет получить многоуровневую иерархическую структуру [4, 5]. Формализованная графическая форма структурно-функционально-параметрической модели сопротивления передвижению грузовой тележки, представлена на рис.1.

Структурная модель системы в графической форме представляет собой элементы E_{ij} различного уровня (табл. 1) с указанием межэлементных структурных связей (тонкие линии).

Функциональная модель системы в графической форме отражает особенностей функционирования системы во взаимосвязи с внутренними и внешними факторами, устанавливает межэлементные функциональные связи (пунктирные линии), которые определяют условия физического взаимодействия между элементами системы и техногенной средой.

Наряду с графической формой структурно-функциональная модель может быть

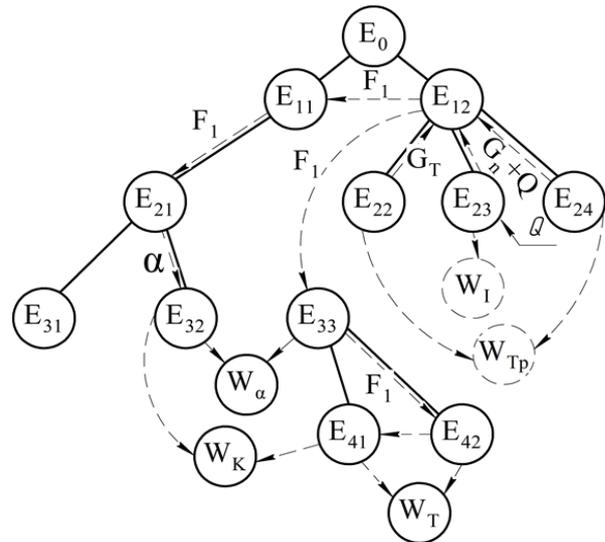


Рис 1. Схема структурно-функционально-параметрической модели

представлена в аналитической форме в виде множества

$$S = \{\Sigma, V\},$$

где $\Sigma = \{\Sigma_i\}$ - множество состава и свойств элементов; $V = \{V_i\}$ - множество назначений [4].

Таблица 1

Элементы E_{ij} модели

		Перечень элементов
уровень	1	E_{11} - опорная система; E_{12} - грузовая система
	2	E_{21} - система главной балки; E_{22} - система грузовой тележки; E_{23} - система грузовой подвески. E_{24} - система токоподводящей подвески
	3	E_{31} - система металлоконструкции главной балки; E_{32} - опорный элемент главной балки (рельс); E_{33} - система опорно-ходовая грузовой тележки
	4	E_{41} - ходовое колесо; E_{42} - буксовый узел

В рамках системной инженерии параметрическая модель системы определяется как элемент «логического» моделирования [1], которая рассматривает индивидуальные признаки параметров (атрибуты) элементов системы. При этом параметры системы количественно характеризуют любое ее свойство, вызывающие изменение показателей качества

ва системы, определяются как функциональные. К ним относятся механические, энергетические, кинематические [4].

Описание атрибутов структурно-функционально-параметрической модели системы сопротивления движению грузовой тележки крана представлены в табл. 2.

Таблица 2
 Атрибуты элементов E_{ij} модели

Атрибуты элементов		
уровень	1	E_{11} : L - величина пролета; B - баз. E_{12} : G_Q - вес; Q - грузоподъемность
	2	E_{21} : q - погонная масса; I - момент инерции. E_{22} : n - количество опорных элементов. E_{23} : q_l - масса. E_{24} : l - длина; m_Q - погонная масса; k - количество опорных элементов; μ - коэффициент трения в опорных элементах
	3	E_{31} : m_L - погонная масса; I - момент инерции. E_{32} - НВ; тип рельса. E_{33} : b - база
	4	E_{41} : НВ; D - диаметр. E_{42} : D - диаметр; № рельса; f - коэффициент трения

4. Параметрические модели

Наряду с определением элемента системы как элемента «логического» моделирования, в рамках системной инженерии он может быть рассмотрен как элемент «математического» моделирования [1]. При этом рассматривается математическая модель, выходные параметры которой, представленные в виде функции $X = F(q)$, позволяют установить количественную связь между ее функциональными и атрибутивными параметрами [6]. Реализация выходных параметров $F(q)$ связана с состоянием системы, которое определяется совокупностью параметров, влияющих на него. Возможная трансформация параметров в процессе эксплуатации являются критериями при выборе конкретных конструктивных решений, а установление предельно допустимых значений

выходных параметров системы является одним из основных этапов ее проектирования.

Выходные параметров системы могут быть рассмотрены как в период наиболее интенсивных изменения ее состояний, так и в период возможной ее трансформация в процессе функционирования.

Параметрическая модель, рассматривающая сопротивление передвижению грузовой тележки мостового крана в период наиболее интенсивных изменения его состояния, определяется в виде [7]:

$$W = W_{ст} + W_{д}, \quad (1)$$

где $W_{ст}$ – статическое сопротивление; $W_{д}$ – динамическое сопротивление.

Полное статическое сопротивление передвижению тележки:

$$W_{ст} = W_T + W_y, \quad (2)$$

где W_T , W_y - сопротивления движению тележки от сил трения и уклона рельсовых путей.

Сопротивления движению от сил трения

$$W_T = k_{тр} (Q + G_T), \quad (3)$$

где $k_{тр} = \frac{(2\mu + fd)k_p}{D_{х.к}}$ - обобщенный коэффициент

сопротивления движению тележки от сил трения; μ – коэффициент трения колеса по рельсу (в зависимости от диаметра колеса и формы головки рельса изменяется в пределах $\mu = 0,3 \dots 1,2$ мм); f - приведенный к диаметру ступицы коэффициент трения качения подшипника буксы (имеет рекомендованное значение для роликовых и шариковых подшипников $f = 0,015$ [7]).

Сопротивление трения реборд ходовых колес о рельс теоретически оценить трудно, так как на его значение влияет большое количество различных факторов (конструкция опор, вид поверхности катания, скорость движения, положение точки контакта реборды с рельсом). Поэтому сопротивление реборд в общепринятой практике расчетов учитывается коэффициентом трения реборд k_p , эмпирически полученным по результатам исследований ВНИИПТМАШ и фактически учитываемым сопротивление от теоретически не учитываемых факторов, в част-

ности, от поперечного скольжения и движения токоподводящей системы. Для крановых тележек при гибких (кабельных) и жестких (троллейных) токоподводящих системах $k_p = 2...2,5$.

Сопротивления движению тележки от уклона рельсовых путей

$$W_y = k_\alpha (Q + G_T), \quad (4)$$

где $k_\alpha = 0,002$ - коэффициент сопротивления движению тележки от уклона пути.

Полное динамическое сопротивление передвижению тележки определяется как суммарное сопротивление, создаваемое силами инерции грузовой тележки и сопротивлением от раскачивания груза на гибком подвесе:

$$W_\delta = k_\delta (Q + G_m), \quad (5)$$

где $k_\delta = a/g = 0,005...0,02$ - обобщенный коэффициент инерционной нагрузки; a - ускорение при разгоне ($0,05...0,2 \text{ м} \cdot \text{с}^2$)

С учетом соотношений (3) - (5) сопротивление передвижению грузовой тележки мостового крана представляется в виде:

$$W = k_W (Q + G_m), \quad (6)$$

где $k_W = k_{ct} + k_\delta$ - обобщенный коэффициент передвижению тележки; $k_{ct} = k_{tp} + k_\alpha$ - обобщенный статический коэффициент передвижению тележки.

Для кранов с безребордными ходовыми колесами сила сопротивления, приведенная к оси ходового колеса, составляет [7]:

$$W = \frac{Q + G_T}{D_{x.k}} (2\mu + fd) + \frac{2S_{II}}{D_p} (2\mu_p + f_p d_p), \quad (7)$$

где S_{II} - максимальная боковая нагрузка, или $S_{II} = f_p (Q + G_T)$ - сила поперечного скольжения колеса по рельсу; $f_p = 0,1$ - коэффициент трения скольжения колеса по рельсу; D_p, d_p, μ_p, f_p - диаметры и коэффициенты трения роликов.

Параметрическая модель, рассматривающая сопротивление передвижению грузовой тележки мостового крана в период ее трансформации в процессе функционирования, может быть дифференцирована параметрическими моделями нижнего уровня:

- сопротивления от трения качений;

- сопротивления от трения в буксах;
- сопротивления от токоподводящей системы;
- сопротивления от уклона;
- сопротивления от сил инерции.

Характерные размеры и эпюра давления в пятне контакта, формируемом при статическом контактом взаимодействии упругих тел, ограниченных цилиндрической поверхностью и плоскостью, определяется по схемам, показанным на рис. 2 и 3 [8, 10], где $a = k_a \sqrt{FR / E_{np}}$ - характерный размер пятна контакта; $\sigma_{max} = k_p \sqrt{FE_{np} / R}$, σ_{med} - максимальное и среднее давление в пятне контакта; R - радиус колеса; F - усилие контактного взаимодействия; E_{np} - приведенный модуль упругости сопрягаемых поверхностей; k_a, k_p - постоянные.

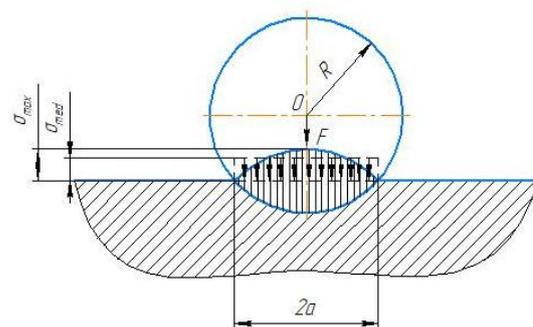


Рис. 2. Схема формирования статического контакта

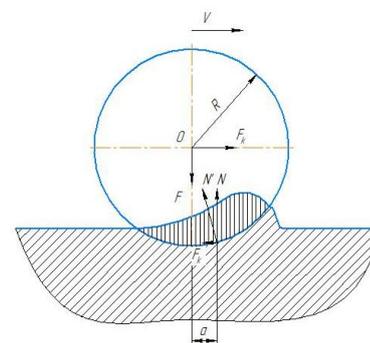


Рис. 3. Схема формирования кинематического контакта

Из приведенных соотношений для a, σ_{max} видно, что характерный размер пятна контакта уменьшается с уменьшением радиуса

колеса, ограничиваемым условием $\sigma_{max} = [\sigma_{cm}]$. Перемножив приведенные соотношения a, σ_{max} при фиксированной нагрузке $F = F_0$, получаем:

$$a = k_a k_p F_0 / [\sigma_{cm}]. \quad (8)$$

Из этого соотношения видно, что характерный размер пятна контакта уменьшается с увеличением прочности материала. Это позволяет применять колеса с меньшими радиусами, что в свою очередь уменьшает размеры пятна контакта, являющиеся определяющими для величины коэффициента трения качения.

Согласно рассматриваемому представлению о контактном взаимодействии, на рельсе перед ходовым колесом образуется упругий «наплыв» металла, вследствие чего сумма нормальных давлений в точках, выходящих из-под контакта, меньше, чем в точках входящих в контакт, что нарушает симметричное статическое распределение напряжений в зоне контактной площадки и приводит к смещению точки приложения равнодействующей реакции рельса. Сила сопротивления составит

$$W_k = \frac{a}{R_k} F. \quad (9)$$

Наряду с рассмотренными, в качестве условий формирования сопротивления качению могут быть рассмотрены различные физические модели. Так, кроме условий статического взаимодействия проявляются различные физические особенности их контактного взаимодействия, в частности:

- гистерезис при деформировании материала, вследствие чего восстановление первоначального объема происходит с некоторым запаздыванием по отношению к снятию нагрузки;

- микро-проскальзывание и адгезия в контактной зоне.

Гистерезис при деформировании материала в случае контактного взаимодействия в системе колесо-рельс проявляется вследствие местного упругопластического деформирования материала. Возможность местного упругопластического деформирования материала при контакте железнодорожного

колеса с рельсом подтверждается расчетом, выполненным МКЭ [9]. Показано, что действия контактных напряжений сжатия имеют форму эллипсоида, а уровень нормальных напряжений для различных колесных нагрузок Q в зависимости от бокового смещение плоскости круга катания колеса и оси симметрии сечения рельса η можно определять по эмпирической зависимости:

$$\sigma = 25\eta + 4,58Q + 257. \quad (10)$$

Микро-проскальзывания в зоне контакта колеса и рельса можно рассматривать в качестве определяющего фактора, формирующего сопротивление качению колеса [11]. Площадь контакта разделяется на зоны сцепления и микро-проскальзывания, что вызывает изменение тангенциальных сил на площадке контакта (рис. 4).

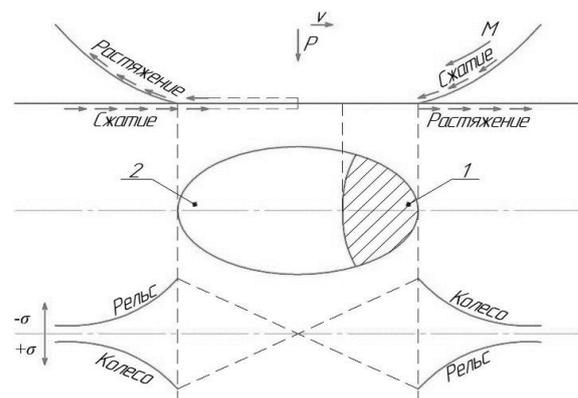


Рис. 4. Формирование зоны скольжения (1), зоны сцепления (2) и напряжений в зоне контакта колеса с рельсом при приложении к колесу ускоряющих (замедляющих) усилий

Проскальзывания сопрягаемых поверхностей (качение с проскальзыванием) обуславливается тем, что из-за деформацией контактирующих тел за один оборот цилиндр проходит меньшее расстояние, чем длина его окружности (проскальзывание по Рейнольдсу). В случае приводного колеса под действием касательных сил, направленных против направления движения, формируется растяжение металла рельса, а под действием касательных сил, направленных по направлению движения, формируется сжатие металла рельса, что является условием образования упругопластического наплыва металла.

Вследствие этих процессов сумма нормальных давлений в точках, выходящих из-под контакта, меньше, чем в точках входящих в контакт, что нарушается симметричное статическое распределение напряжений в зоне контактной площадки и приводит к смещению точки приложения равнодействующей реакции рельса.

Совокупность этих факторов определяет возможность изменения коэффициента трения качения в значительных пределах 0,03...0,12 [3]. Таким образом, сопротивление от трения качения колес по рельсам зависит от величины смещения, прочности металла бандажей и рельсов, диаметра колес.

Теоретическое исследование сопротивления качению при несовершенной упругости было выполнено А. Ю. Ишлинским [12]:

$$F_k = \frac{4\alpha_g F_n b}{3\pi l R}, \quad (11)$$

$$F_k = c \frac{F_n v}{R}, \quad (12)$$

где F_k – сила трения качения жесткого цилиндра по вязкоупругому основанию для малых скоростей; b – полуширина площадки контакта; α_g – коэффициент гистерезисных потерь (зависит от нагрузки и вида деформации); l – длина цилиндра; R – радиус цилиндра; F_n – нормальная нагрузка; c – константа, включающая параметры модели; v – скорость качения.

Из соотношений (11) и (12) видно, что в интервале малых скоростей, увеличение скорости качения и коэффициента гистерезисных потерь приводит к росту сопротивления качению.

Коэффициент трения в буксовом узле зависит от значительного числа факторов, главными из которых являются:

- размеры подшипника;
- окружная скорость;
- рабочая температура;
- свойства и количество смазочного материала;
- точность изготовления и монтажа подшипника;
- текущее состояние и степень износа.

При неблагоприятных условиях коэффициент трения может значительно превышать заявленные справочные значения [7].

Исследования, проведенные фирмой SKF, показали [13], что момент трения качения следует определять по формуле:

$$M_{rr} = G_{rr} (vn)^{0,6}, \quad (13)$$

где n – частота вращения, об/мин; v – кинематическая вязкость смазочного материала, мм²/с; $G_{rr} = R_1 d_m^{1,96} F_r^{0,54}$ – переменная трения качения по осевой нагрузке $F_a = 0$; R_1 – геометрическая константа (зависит от типа подшипника и для самоустанавливающихся подшипников составляет $R_1 = 2,44..3,25^{-7}$).

Кроме того, коэффициент трения для цилиндрического роликового подшипника может определяться соотношениями

$$v = 2 \frac{M}{Fd} \quad \text{или} \quad v_m = 2 \frac{M}{Fd_m}, \quad (14)$$

где d_m – диаметр окружности до центров тел качения подшипника; d – диаметр отверстия подшипника.

Для определения сопротивления перемещению грузовой тележки важным является установление соотношений между моментами сопротивления подшипников при движении M_k и страгивании $M_{стр}$. Это соотношение может быть определено по приближенной формуле

$$M_{стр} = f_{п} M_k, \quad (15)$$

где $f_{п} = 4$ для конических роликоподшипников с большим углом контакта; $f_{п} = 2$ в остальных случаях [14].

Сопротивлений передвижению тележки от токоподводящей системы определяется особенностями ее конструкции.

В случае токоподвода к тележке с помощью гибкого кабеля, который на специальной подвеске перемещается по натянутой проволоке, общее сопротивление при его перемещении определяется суммой сопротивлений W_k от его натяжения H при провисании кабеля; трения в элементах подвешивания $W_{к,тр}$:

$$W_k = H + W_{к,тр}. \quad (16)$$

Усилие натяжения кабеля изменяется в зависимости от состояния кабельной системы:

$$H_c < H < H_p, \quad (17)$$

где $H_c = ql_1 / 2$ – усилие натяжения при собранном кабеле; $H_p = \frac{ql_1^2}{8\Delta}$ – усилие натяжения при растянутом кабеле (получено из рассмотрения балочной модели при стреле провеса кабеля $\Delta = (0,02 \dots 0,03)l_1$ из условия равенства моментов в среднем сечении от изгиба распределенной нагрузкой и усилия натяжения каната [15]); q – погонная масса кабеля; l_1 – длина участка подвески кабеля.

Соппротивление от трения в подвеске каната определяется как

$$W_{к,тр} \approx qL\vartheta, \quad (18)$$

где L – длина кабеля; q – погонная масса кабеля; ϑ – коэффициент трения в элементе подвески.

Рассматриваемая кабельная система может быть выполнена в двух конструктивных вариантах:

- с односторонним токоподводом;
- двухсторонним (симметричным) токоподводом.

При одностороннем токоподводе общее сопротивление перемещению кабеля с погонной массой q_1 составит

$$H_{1,p} + W_{к,тр1} < W_{к1} < H_{1,p} + W_{к,тр1}. \quad (19)$$

При двухстороннем токоподводе общее сопротивление перемещению кабеля с погонной массой q_2 составит

$$0 < W_{к1} < H_{2,p} - H_{2,c} + 2W_{к,тр2}. \quad (20)$$

Двухсторонний (симметричный) токоподвод предполагает использование двух двухжильных, симметрично расположенных относительно тележки кабелей вместо одного четырехжильного в случае одностороннего токоподвода $q_2 \approx q_1 / 2$.

Из сравнения соотношений (19) и (20) видна предпочтительность двухсторонней (симметричной) схемы токоподвода.

Соппротивление от уклона складывается из сопротивлений от статического уклона и строительного подъема.

$$W_y = W_{y,ст} + W_{y,стр}. \quad (21)$$

Статический уклон $W_{y,ст}$ возникает вследствие деформаций металлоконструкции главной балки и рельса на опорах:

$$W_{y,ст} = W_{y,б} + W_{y,р}. \quad (22)$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки определяется соотношением

$$\frac{1}{\rho(z)} = \frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{M(z)}{EI_x}, \quad (23)$$

где $\rho(z)$, $M(z)$, $y(z)$ – кривизна нейтральной оси балки, изгибающий момент и величина прогиба в текущем сечении z ; EI_x – жесткости поперечного сечения.

Решением дифференциального уравнения

$$\dot{y}_{1(2)} = D\dot{y}_{10(20)} \quad (24)$$

методом начальных параметров являются уравнения линии изгиба $y_{1(2)}(z)$ для сопряженных участков балки. В (24) приняты следующие обозначения:

$$D = \frac{F}{EI}; \quad \dot{y}_{10} = \frac{l-a}{l} [3z^2 - a(2l-a)];$$

$$\dot{y}_{20} = \frac{a}{l} [-3z^2 + 6zl - (2l^2 + a^2)]; \quad l, \quad - \text{длина}$$

балки; a – точки приложения нагрузки.

Наибольшее значения имеет величина уклона, текущее значение которого по длине балки отражается на работе механизма передвижения тележки и в зависимости от координаты точки приложения нагрузки определяется соотношениями [16].

Для двухопорной балки угол наклона упругой линии $\theta_F(\chi)$ под силой F , действующей на расстоянии $z = a$ от опоры и от собственного веса пролетной балки с оборудованием G_b составят [17]:

$$\theta_F(\chi) = -\frac{(G_T + G_Q)L^2\chi(1-\chi)(2\chi-1)}{3EI_y}, \quad (25)$$

$$\theta_b(\chi) = -\frac{G_b L^2 (1 - 6\chi^2 + 4\chi^3)}{24EI_y}. \quad (26)$$

С учетом соотношений (25) и (26) максимальный общий уклон под тележкой составит

$$\theta_{max}(\chi = 0.21) = -1,55(1 + \beta) \frac{\Delta_{F0,5L}}{L}, \quad (27)$$

где $\chi = \frac{a}{L}$; $\beta = \frac{G_b}{G_T + G_Q}$; $\Delta_{F0,5L}$ – прогиб

балки в центре пролета от веса тележки и груза; L – д лина пролета.

Уклоны от деформации рельса определяем, рассматривая рельс как двухопорную балку с опорами, расположенными над диафрагмами главной балки с шагом l_d , при базе грузовой тележки B с учетом (26) где

$$\chi = \frac{a_d}{l_d} \text{ получаем:}$$

- при $B = ml_d$ (m – целое число):

$$\theta_p(\chi) = -\frac{(G_T + G_Q)(l_d)^2 k_n \chi(1-\chi)(2\chi-1)}{3E2I_{py}}, \quad (28)$$

- при $B = \left(m + \frac{1}{2}\right)l_d$

$$\theta_p(\chi) = 0, \quad (29)$$

где $\chi = \frac{a_d}{l_d}$; a_d – расстояние от диафрагмы до нагрузки; k_n – поправочный коэффициент учитывающий рельс как неразрезную балку.

Общий уклон от деформации балки и рельса $\theta_p(\chi)$ от нагрузки в зависимости от B изменяется в пределах (30):

$$-\frac{(G_T + G_Q)L^2\chi(1-\chi)(2\chi-1)}{3EI_y} \geq \theta_{\sigma+р}(\chi) \geq -L^2 \left(\frac{1}{I_y} + \frac{k_n}{n^2 2I_{py}} \right) \left[(G_T + G_Q) \frac{\chi(1-\chi)(2\chi-1)}{3E} \right] \quad (30)$$

Строительный подъем является конструктивным фактором. От постоянных весовых нагрузок в ездовых балках развиваются упругие и остаточные деформации. Например, остаточный прогиб в мостовых кранах развивается со скоростью $\Delta z / L = 0,5 \dots 0,8 \cdot 10^{-4}$ в год. Для компенсации таких деформаций, препятствующих нормальной эксплуатации крана по условию движения тележки,

ездовые балки изготавливают со строительным подъемом.

Согласно рекомендаций [18, 19] стрела выгиба в пролетах крана $L < 17$ м должна составлять $\Delta z = 1/1000 \dots 1/800 L$. Однако регламентирующим условием при расчете механизма передвижения тележки является не абсолютный прогиб, а уклон, рекомендуемая величина которого составляет $i = \theta_s = -0,002$ [17 - 19].

Строительный подъем, имея фиксированное отрицательное значение, обеспечивает улучшение условий движения тележки под нагрузкой, при этом в случае ее уменьшения является дополнительным препятствием.

Наряду со строительным подъемом, устанавливаемым фиксированное значение отрицательного уклона, формирование отрицательного уклона может быть обеспечено предлагаемым автором кинематическим способом. Конструктивная реализация этого способа обеспечивается установкой моста крана или его главные балки на упругие опоры. В случае перемещении грузовой тележки формируется отрицательный «кинематический» уклон, пропорциональный положению грузовой тележки и весу груза. Расчетная схема представлена определения величины кинематического уклона представлена на рис. 4.

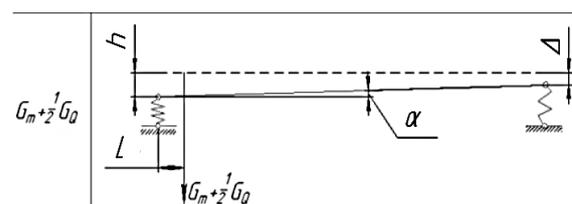


Рис. 4. Схема формирования кинематического уклона

При этом, «кинематический уклон» балки в зависимости от ее положения составит

$$\theta_k = -\Delta / L, \quad (31)$$

где $\Delta = z_1 - z_2 = \eta F(1 - 2\chi)$ – относительное смещение опор; η – податливость опор.

Общая величина уклона под грузовой тележкой составляет

$$\theta_{\Sigma} = \theta_{\sigma+р}(\chi) + \theta_b(\chi) + \theta_s + \theta_k. \quad (31)$$

Как видно из (31) функция

$$\theta_{\Sigma} = \theta((G_T + G_Q), EI_y, \chi, \eta, [\Delta z])$$

является многопараметрической, а условия ее оптимальности $\theta_{\Sigma min}$ могут рассматриваться при различных граничных условиях, в частности:

- при условии фиксированного положения грузовой тележки $\chi = const$;
- при условии вероятного положения грузовой тележки $\chi = \chi(\text{вер})$.

Инерционное сопротивление перемещению грузовой тележки возникает вследствие раскачивания груза, который вместе с канатом и механизмом образует маятник с подвижной точкой подвеса. Функция отклонения груза от вертикальной оси может быть определена при предположении, что ускоряющее усилие при разгоне тележки является постоянным из соотношения [20]:

$$X = \frac{F_y l}{(m_T + m_M + m_T)g} [1 - \cos \omega t], \quad (32)$$

где $F_y = (F_{дв} - W_{сп}) = const$ – ускоряющее усилие в пределах каждого пускового режима; l – длина подвеса груза; $F_{дв}, W_{сп}$ – движущая сила и сила сопротивления; m_T, m_M, m_T – приведенные массы тележки, приводного механизма и груза;

$\omega = \sqrt{\frac{g}{l} \left(1 + \frac{m_T}{m_T + m_M}\right)}$ – собственная частота колебаний груза системы тележка-груз.

Максимальное отклонение возникает при $t_m = \pi / \omega$. В случае $t_m > t_1$ (где t_1 – время разгона) максимальное отклонение согласно рассмотренной модели определяется при условии $t = t_1$.

С учетом кинематики подвеса груза дополнительное сопротивление перемещению груза, вызванное его раскачиванием, может быть определено из рекуррентной функции

$$W_p = Q \frac{(F_{дв} - W_{сп} - W_p)}{(m_T + m_M + m_T)g} [1 - \cos \omega t]. \quad (33)$$

5. Параметрическая надежность системы сопротивления передвижению грузовой тележки мостового крана

Параметрическая надежность системы как функция времени, определяется изменением ее технических характеристик при длительном использовании. Числовым показателем, определяющим ее состояние и возможности при выполнении заданной функции, является вероятность ее безотказного функционирования $P(t)$ как функции времени. Под безотказным функционированием системы сопротивления передвижению грузовой тележки мостового крана понимается выполнение условия его нахождения в пределах, определенных техническими условиями.

Для обеспечения параметрической надежности системы необходимо оценивать значения которые может принимать каждый из выходных параметров и его возможные изменения в процессе длительного функционирования системы. При этом каждый из параметров X_i проявляется как случайная величина, а комплекс выходных параметров и их численное значение определяют надежность системы в данном состоянии. При этом, формируется область состояний выходных параметров, изменение которой во времени и определяет параметрическую надежность.

Выходными параметрами могут служить различные характеристики, рассматриваемые как траектории, описывающие изменения значений данного показателя в процессе функционирования системы. Установление предельно допустимых значений выходных параметров системы является одним из основных этапов ее проектирования [6].

Параметрическую надежность системы характеризует также вероятность функционирования системы с заданной зоной допуска значения выходного параметра. Выход из допуска, определяемого техническими условиями, может определяться частичным отказом. При этом формируется частичная потеря функций или снижение качества выполнения функций. Использование системы в частично исправном состоянии связано с определенными рисками, оценка которых связана с оценкой их последствий. Возможен подход, при котором за основу взяты неко-

торые характеристики функционального взаимодействия элементов системы, состоящей из частично отказавших и продолжающих исправно функционировать после частичного отказа. Такое взаимодействие можно оценивать в вероятностной шкале. [21].

По теореме умножения вероятностей независимых событий в случае, если вероятность безотказной работы i -го элемента $p_i(t)$, то:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (34)$$

Для разработки моделей параметрических отказов используются закономерности процессов старения. Если рассеивание выходного параметра $X(t)$ подчиняется нормальному закону распределения, а его изменение во времени - линейному закону, то

$$X(t) = a + \gamma_x t,$$

где a - начальное значение параметра; γ_x - скорость изменения параметра.

В некоторых случаях модель должна учитывать флуктуацию параметра вследствие дополнительных возмущений. Случайный процесс $X(t)$, основанный на флуктуационной зависимости, можно представить как

$$X(t) = a + X_T(t) + \varepsilon(t),$$

где $X_T(t)$ - тренд параметра; $\varepsilon(t)$ - флуктуация параметра.

6. Заключение

Рассмотрена система сопротивления передвижению тележки мостового крана, представленная в виде структурно-функционально-параметрической модели, а в период наиболее интенсивного изменения состояний и трансформации системы, - дифференцированными параметрическими моделями (сопротивления от трения качений; сопротивления от трения в буксах; сопротивления от токоподвода; сопротивления от уклона; сопротивления от инерции).

Предложен конструктивный способ снижения сопротивления перемещению тележки, заключающийся в упругом сочленения элементов конструкции моста крана, что обеспечивает формирование отрицательного «кинематического» уклона, пропорционального положению грузовой тележки в пределах пролета мостового крана.

Показано, что понятие параметрической надежности системы сопротивления передвижению тележки мостового крана, трактуемое как требование к его нахождению в пределах, установленных техническими условиями, может быть определено как функция времени $P(t)$, числовое значение которого характеризует вероятность выполнения такого требования.

Список литературы

1. Колыбенко Е.Н. Разграничение понятий «Структурно-функционально-параметрическая модель» и «Параметрическая модель» информационных объектов знаний // Вестник Донского государственного технического университета. 2020, №1. С. 106-111, DOI: 10.23947/1992-5980-2020-20-1-106-111.
2. Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения. М.: Машиностроение, 1980. - 304 с.
3. Александров Н.П. Грузоподъемные машины. М.: Изд-во МГТУ. 2000. 552с.
4. Никифоров А.Д. Процессы управления объектами машиностроения. М.:

References

1. Kolybenko E.N. Differentiation of the concepts of "Structural-functional-parametric model" and "Parametric model" of information objects of knowledge. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020, No. 1, pp. 106-111. DOI: 10.23947/1992-5980-2020-20-1-106-111 (In Russian).
2. Shabashov A.P., Lysyakov A.G. *Mostovye kраны obshchego naznacheniya* [General purpose overhead cranes]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 304 p. (In Russian).
3. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnyye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman, 2000. 552

Высш. шк., 2001. 454 с.

5. Заярный С.Л., Раевский В.А., Смоловик А.Е. Моделирование механической системы привода передвижения крана // Подъемно-транспортное дело. 2015. № 4-5. С. 8-13.

6. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.

7. Справочник по кранам: В 2-х т. Т. 2 / Под ред. М.М. Гохберга. - М.: Машиностроение, 1988. 559 с.

8. Энциклопедия по машиностроению XXL. Разд.1. Валы и оси, их соединения и опоры. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/>

9. Исследование напряжений в контакте колесо-рельс // Железные дороги мира. 2011. №1. С. 54-58.

10. Силы сопротивления движению подвижного состава. Сопротивление от трения колеса по рельсу. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://locomo.ru/podvizhnoy-sostav/sily-soprotivleniya-dvizheniyu-podvizhnogo-sostava-3.html>

11. Анциферов Н.В., Ермоленко И.Ю. Исследование колебаний колесной пары при движении с учетом упругого проскальзывания в точке контакта «КОЛЕСО-РЕЛЬС». Иркутский государственный университет путей сообщения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/1089637512/%3D%3D&lang=ru>.

12. Ишлинский А.Ю. Прикладные задачи механики. Кн. 2. Механика упругих и абсолютно твердых тел. М.: Наука. 1986. 416 с.

13. Общий каталог SKF. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://promshop.info/>

14. Справочные данные по деталям машин. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.detalmach.ru/spravka817.html>

15. РТМ 24.090.28-77. Краны грузоподъемные. Механизмы передвижения. Методы расчета. 1976. 28 с.

16. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Бау-

† p. (In Russian)

† 4. Nikiforov A.D. *Processy upravleniya obektami mashinostroeniya* [Processes of management of mechanical engineering facilities]. Moscow, Vysshaua shkola, 2001. 454 p. (In Russian)

† 5. Zayarnyj S.L., Raevskij V.A., Smolovik A. E. Simulation of a mechanical crane movement drive system. *Podemno-transportnoe delo*, 2015, No. 4-5, pp. 8-13. (In Russian)

† 6. Pronikov A.S. *Parametricheskaya nadezhnost mashin* [Parametric reliability of machines] Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2002. 560 p. (In Russian)

† 7. Gokhberg M.M. *Spravochnik po kranam v 2 t. T. 2* [Crane Reference in 2 vols. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 559 p. (In Russian)

† 8. *Entsiklopediya po mashinostroeniyu XXL. Razd.1. Valy i osi, ih soedineniya i opory* (Encyclopedia of Mechanical Engineering XXL. Section.1. Shafts and axles, their connections and supports) Available at: <https://mash-xxl.info/> (In Russian)

† 9. *Issledovanie napryazhenij v kontakte koleso-rels* [Investigation of stresses in wheel-rail contact]. *Zheleznye dorogi mira*, 2011, No.1, pp. 54-58. (In Russian).

† 10. *Sily soprotivleniya dvizheniyu podvizhnogo sostava. Soprotivlenie ot treniya kolesa po relsu* [The forces of resistance to the movement of rolling stock. The resistance from the friction of the wheel on the rail]. Available at: <https://locomo.ru/podvizhnoy-sostav/sily-soprotivleniya-dvizheniyu-podvizhnogo-sostava-3.html>

† 11. Anciferov N.V., Ermolenko I.Yu. *Issledovanie kolebanij kolesnoy pary pri dvizhenii s uchetom uprugogo proskalyvaniya v tochke kontakta «KOLESO-RELS»* [Investigation of the vibrations of the wheelset during movement taking into account the elastic presence of vibrations of the wheelset during movement taking into account the elastic slippage at the point of contact "WHEEL-RAIL"]. *Irkutskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya*. [site] Available: [https://docviewer.yandex.ru /view/](https://docviewer.yandex.ru/view/)

мана, 1999. - 592 с..

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

18. Справочник по кранам: В 2-х т. Т. 1 / Под ред. М.М. Гохберга. М.: Машиностроение, 1988.

19. Гохберг М.М., Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Машиностроение, 1969. 520с.

20. Долотов А.М., Калашников С.В. Раскачивание груза при пуске и остановке механизма перемещения // Механики - 21 веку. 2008. №7. С. 6-8,

21. Зотов А.И., Гриценко В.В. К вопросу о параметрических моделях частичных отказов в технических устройствах // Инженерный вестник Дона. 2019. №4. С. 1-13.

† 1089637512//%3D%3D&lang=ru. (In Russian).

† 12. Ishlinskim A. Yu. *Prikladnye zadachi mekhaniki. Kn. 2 Mekhanika uprugih i absolutno tverdyh tel* [Applied problems of mechanics Vol 2 Mechanics of elastic and absolutely rigid bodies]. Moscow, Nauka. 1986. 416 p. (In Russian).

† 13. *Obshchij katalog SKF* [SKF General Catalog]. Available: <https://promshop.info/> (In Russian).

† 14. *Spravochnye dannye po detalyam mashin* [Reference data on machine parts]. Available: <http://www.detalmach.ru/spravka817.html> (In Russian).

† 15. RTM 24.090.28-77. Krany gruzopodemnye. Mekhanizmy peredvizheniya. Metody rascheta. 1976. 28 p. (In Russian).

† 16. Feodosev V.I. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow, MGTU im. N. E. Baumana, 1999. 592 p. (In Russian).

† 17. Sokolov S.A. *Metallicheskie konstrukcii podemno-transportnyh mashin* [Metal structures of lifting and transport machines]. Sankt-Peterburg, Politehnika, 2005. 423 p. (In Russian).

† 18. Gokhberg M.M. *Spravochnik po kranam v 2 t. T. 1* [Crane Reference in 2 vols. Vol. 2] Moscow: Mashinostroenie 1988, 520 p. (In Russian)

† 19. Gokhberg M.M. *Metallicheskie konstrukcii podemno-transportnyh mashin* [Metal structures of lifting and transport vehicles]. Mashinostroenie, 1969. 520 p. (In Russian).

† 20. Dolotov A.M., Kalashnikov S.V. *Raskachivanie gruzha pri puske i ostanovke mekhanizma peremeshcheniya* [Rocking of the load when starting and stopping the movement mechanism]. *Mekhaniki - 21 veku*, 2008, No. 7, pp. 6-8 (In Russian).

† 21. Zotov A.I., Gricenko V.V. *K voprosu o parametricheskikh modelyakh chastichnyh otkazov v tekhnicheskikh ustrojstvakh* [On the issue of parametric models of partial failures in technical devices]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019, No. 4, p. 1-13 (In Russian).

УДК (UDC) 62-752.2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ
КРАНОВ-ШТАБЕЛЕРОВ

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ENERGY COSTS OF STACKER CRANE MOVEMENTS

Корытов М.С., Безродина А.Е.
Korytov M.S., Bezrodina A.E.Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (Омск, Россия)
Siberian State Automobile and Highway University (Omsk, Russia)

Аннотация. В рамках выдвинутой гипотезы о том, что энергетические затраты на рабочие движения звеньев стеллажных кранов-штабелеров неразрывно связаны с формой рабочей области склада, в котором работает кран, для снижения энергозатрат, в конструкции крана-штабелера было предложено использовать поворотную стрелу. С помощью программных реализаций математических моделей кранов-штабелеров традиционной велосипедной конструкции и предложенной конструкции с поворотной стрелой, открылась возможность определения средних затрат энергии на все возможные перемещения грузов одинаковой массы в пределах соответствующих рабочих областей этих конструкций. Для этого были разработаны системы дифференциальных уравнений в форме Коши, где учитывалась диссипация энергии. Определялось суммарное значение работ приводов крана при разгоне и торможении. Последние осуществлялись с постоянными ускорениями, а движение после разгона – с постоянными скоростями. Разработанные имитационные математические модели кранов традиционной конструкции и предложенной конструкции с поворотной стрелой позволяют определять затраты энергии в приводах при перемещении звеньев кранов по заданным траекториям. По критерию средних полных затрат энергии, принятому для всех возможных сочетаний перемещений в пределах областей одинаковой вместимости в сто квадратных метров, кран-штабелер предлагаемой конструкции имеет преимущество перед краном традиционной конструкции. Это позволяет существенно сократить затраты энергии при использовании таких кранов в складах и ангарах. Целесообразно рекомендовать использование крана-штабелера разработанной конструкции на складах круглой формы - это позволит значительно сократить расходы энергии при передвижении грузов во всех возможных сочетаниях координат целевых ячеек.

Ключевые слова: кран-штабелер, поворотная стрела, стеллажный, математическая модель, энергия, диссипация.

Abstract. Within the framework of the put forward hypothesis that energy costs of working movements of the links of racking stacker cranes are inextricably linked to the shape of the working area of the warehouse in which the crane operates, to reduce energy costs, it was proposed to use a rotating boom in the design of the stacker crane. With the help of program implementations of mathematical models of stacker cranes of traditional bicycle design and the proposed design with a rotating boom, it became possible to determine the average energy costs for all possible movements of loads of the same mass within the corresponding working areas of these designs. For this purpose, systems of differential equations in Cauchy form were developed, where dissipation of energy was taken into account. The total value of work of crane drives during acceleration and braking was determined. The latter were carried out with constant accelerations, and the movement after acceleration - with constant speeds. The developed simulation mathematical models of cranes of traditional design and the proposed design with a rotating boom allow to determine the energy costs in the drives when moving the crane links along the given trajectories. According to the criterion of average total energy costs, adopted for all possible combinations of movements within areas of the same capacity of one hundred square meters, the stacker crane of the proposed design has an advantage over the crane of traditional design. This makes it possible to significantly reduce energy costs when using such cranes in warehouses and hangars. It is reasonable to recommend the use of a stacker crane of the developed design in warehouses of round shape - it will allow to reduce significantly the energy costs when using such cranes in warehouses and hangars.

Keywords: stacker crane, rotary boom, racking, mathematical model, energy, dissipation.

Дата получения статьи: 16.11.2023
Дата принятия к публикации: 20.12.2023
Дата публикации: 25.01.2024

Date of manuscript reception: 16.11.2023
Date of acceptance for publication: 20.12.2023
Date of publication: 25.01.2024

Сведения об авторах:

Корытов Михаил Сергеевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,

e-mail: kms142@mail.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5104-7568>

Безродина Анжела Евгеньевна – аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,

e-mail: likasedova@list.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6362-8557>

Authors' information:

Mikhail S. Korytov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department "Automobile Transport" at Siberian State-Impact Automobile and Road University (SibADI),

e-mail: kms142@mail.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5104-7568>

Angela E. Bezrodina – postgraduate student of Department "Automobile Transport" at «Siberian State-Impact Automobile and Road University (SibADI)»,

e-mail: likasedova@list.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6362-8557>

1. Введение

Стеллажные краны-штабелеры получили наиболее широкое распространение при перемещении грузов в складских помещениях [1, 2]. Востребованность стеллажных кранов-штабелеров у потребителей обуславливает масштабы их производства [3, 4].

Высокая производительность, универсальность при перемещении грузов разной формы, сравнительная простота использования, экономичность и надежность – те преимущества, которые привели к их повсеместному использованию на многоярусных складах [5].

В то же время, перечисленные преимущества определили тенденции дальнейшего развития и совершенствования стеллажных кра-

нов-штабелеров: повышение точности позиционирования, скоростей подвижных звеньев, уменьшение энергетических затрат на рабочие движения звеньев, расширение автоматизации элементов рабочего цикла [6, 7].

В рамках выдвинутой гипотезы о том, что энергетические затраты неразрывно связаны с формой рабочей области склада, в котором работает кран, для снижения затрат энергии была предложена новая конструкция стеллажного крана-штабелера с поворотной стрелой [8]. В сравнении с краном-штабелером традиционной конструкции (рис. 1, а), кран-штабелер с поворотной стрелой (рис. 1, б) предположительно будет расходовать меньше энергии при обслуживании складов одинаковой вместимости.

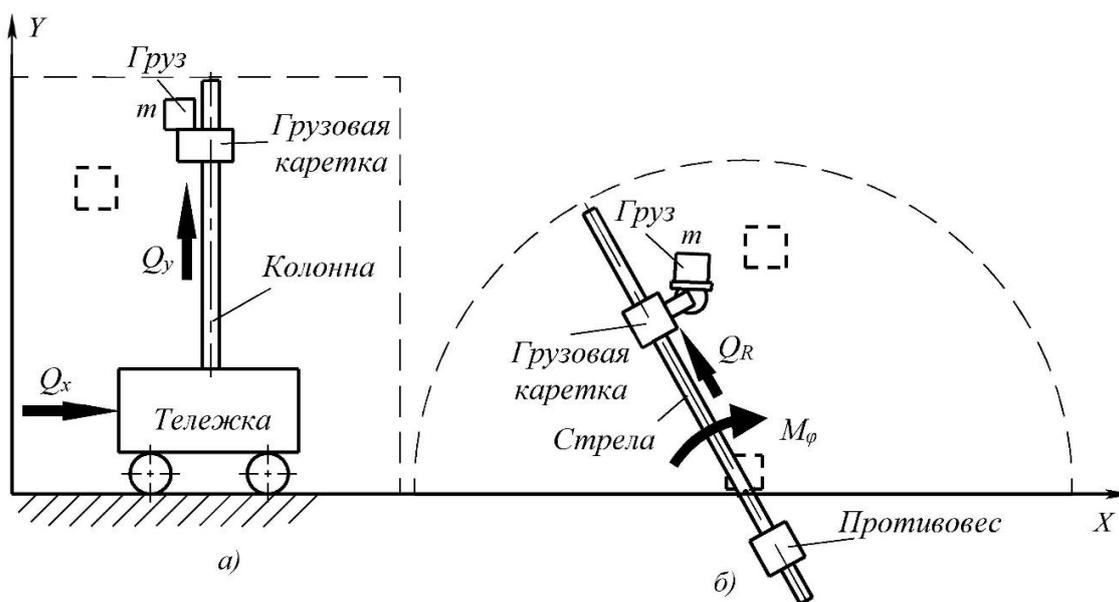


Рис. 1. Расчетные схемы стеллажных кранов-штабелеров: а) традиционной конструкции; б) с поворотной стрелой

Для подтверждения сделанного предположения необходимо провести сравнительный анализ энергозатрат, возникающих при перемещениях звеньев стеллажных кранов-штабелеров традиционной и предложенной конструкций.

2. Постановка задачи

С использованием метода математического моделирования [9, 10], необходимо разработать системы дифференциальных уравнений, описывающие динамику стеллажных кранов-штабелеров традиционной и предложенной конструкций.

С помощью программных реализаций указанных математических моделей, необходимо определить средние затраты энергии на все возможные перемещения грузов одинаковой массы в пределах соответствующих рабочих областей двух сравниваемых конструкций стеллажных кранов-штабелеров.

В дифференциальных уравнениях крана-штабелера традиционной конструкции (рис. 1, а) приняты следующие обозначения: x – перемещение тележки вдоль оси OX ; y – перемещение грузовой каретки вдоль оси OY ; M_x – масса тележки; M_y – масса грузовой каретки с грузозахватным приспособлением и грузом; Q_x – сила, действующая на тележку со стороны ее привода вдоль оси OX ; Q_y – сила, действующая на грузовую каретку со стороны ее привода вдоль оси OY ; b_x – коэффициент диссипации энергии при движении тележки x ; b_y – коэффициент диссипации энергии при движении каретки y .

В дифференциальных уравнениях крана-штабелера предложенной конструкции (рис. 1, б) с поворотной стрелой приняты следующие обозначения: R – радиальная координата центра масс каретки с грузом относительно оси вращения стрелы; φ – угол отклонения стрелы от вертикали; m_s – масса стрелы с противовесом; m_{lp} – масса каретки с грузом; l_{gs} – длина от оси стрелы до ее центра масс, с учетом противовеса; I_s – момент инерции стелы с противовесом относительно оси вращения; b_w – коэффициент сопротивления повороту стрелы; b_r – коэффициент

сопротивления радиальному перемещению каретки; M_φ – момент, действующий на стрелу со стороны ее привода; Q_R – сила, действующая на грузовую каретку вдоль оси стрелы со стороны привода каретки.

3. Математические модели

Краны-штабелеры как традиционной, так и предложенной конструкций имеют по степени свободы, которым соответствуют две управляемые координаты. Для них может быть использована общая форма уравнений Лагранжа динамической системы с учетом диссипативных сил [9, 11]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) + \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial (T - U)}{\partial q_j} = Q_j, j=1, 2, (1)$$

где $T(\dot{q}_1, \dot{q}_2)$ – кинетическая энергия динамической системы крана; $U(q_1, q_2)$ – потенциальная энергия системы; $F(\dot{q}_1, \dot{q}_2)$ – диссипативная функция Релея; $Q_j(t)$ – обобщенные силы (моменты); t – время.

Системы полученных в соответствии с (1) дифференциальных уравнений в форме Коши, описывающих динамику кранов-штабелеров традиционной и предложенной конструкций, будут иметь следующий вид. Для крана-штабелера традиционной конструкции:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{Q_x - b_x \cdot \dot{x}}{M_x + M_y}; \\ \ddot{y} = \frac{Q_y - b_y \cdot \dot{y} - g \cdot M_y}{M_y}. \end{cases} (2)$$

Для крана-штабелера предложенной конструкции с поворотной стрелой:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} = - \frac{\left(b_w \cdot \dot{\varphi} - M_\varphi + 2 \cdot R \cdot m_{lp} \cdot \dot{R} \cdot \dot{\varphi} + \right. \\ \left. R \cdot g \cdot m_{lp} \cos(\varphi) + g \cdot l_{gs} \cdot m_s \cdot \cos(\varphi) \right)}{m_{lp} \cdot R^2 + I_s}; \\ \ddot{R} = \frac{R \cdot m_{lp} \cdot \dot{\varphi}^2 + Q_R - b_r \cdot \dot{R} - g \cdot m_{lp} \cdot \sin(\varphi)}{m_{lp}}. \end{cases} (3)$$

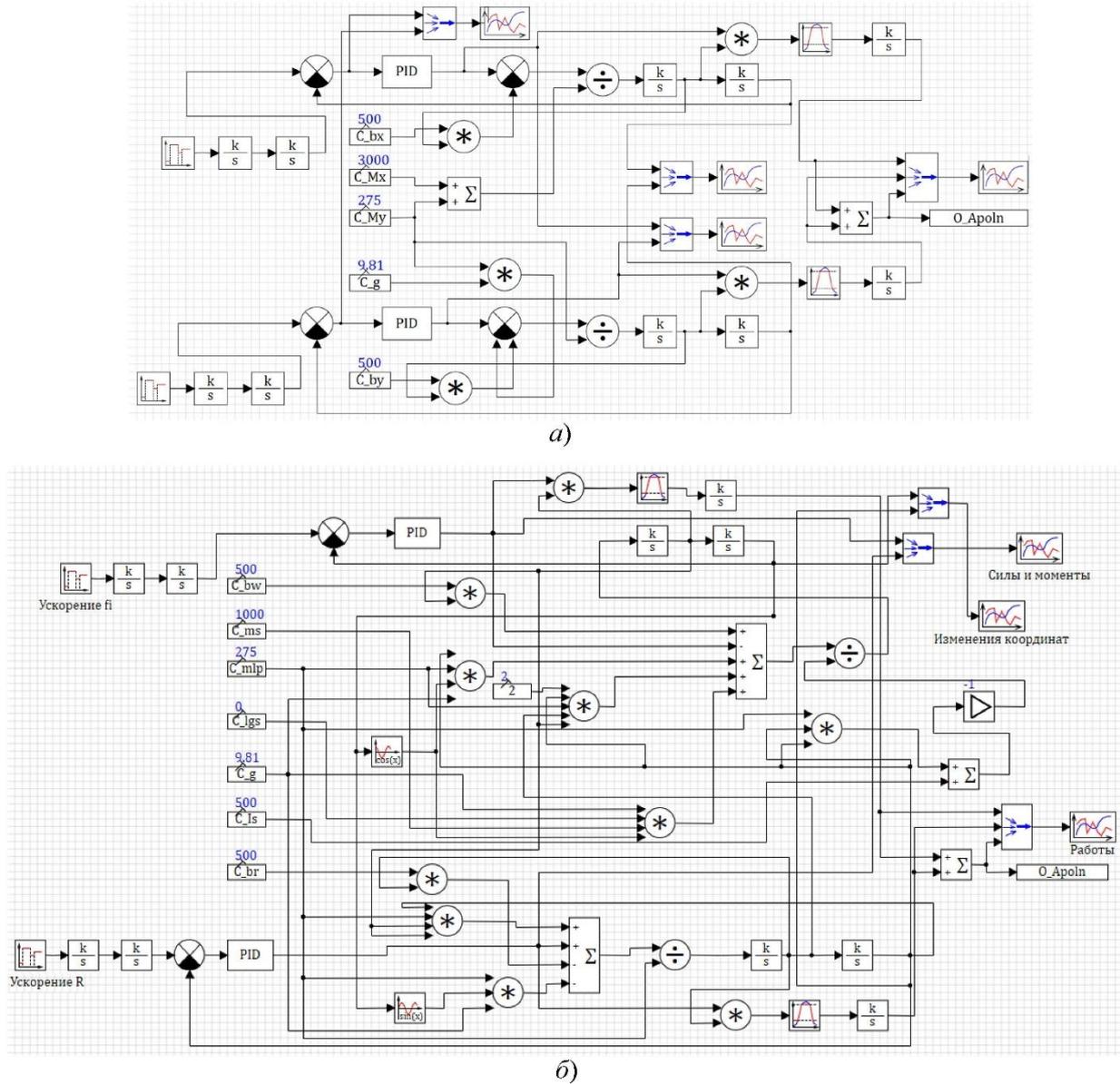


Рис. 2. Блочные диаграммы имитационных моделей кранов-штабелеров: а) традиционной конструкции; б) с поворотной стрелой

Вывод систем дифференциальных уравнений (2) и (3) не приводится ввиду ограниченного объема статьи. Для численного решения систем (2) и (3) в программной среде SimInTech [12] были разработаны две блочные диаграммы (рис. 2).

Разгон и торможение подвижных звеньев кранов осуществлялись с постоянными ускорениями, движения после разгона – с постоянными скоростями [13].

В процессе решения систем дифференциальных уравнений (2) и (3), которое выполняется численными методами интегрирования, умножение текущих значений моментов

и сил Q_x , Q_y , M_ϕ , Q_R на скорости изменения соответствующих им управляемых координат позволяет получить временные зависимости мощностей приводов. В свою очередь, численное интегрирование текущих значений мощностей позволяет получить накопленные затраты энергии приводов, т.е. работы, и определить суммарную работу на определенной траектории перемещения звеньев крана. Соответствующие блоки *Интегратор* присутствуют в представленных блочных диаграммах SimInTech.

4. Результаты вычислительного эксперимента

Постоянные параметры математических моделей в описываемом вычислительном эксперименте принимали максимально совпадающие для двух конструкций кранов значения: $M_x = 3000$ кг; $M_y = 275$ кг; $b_x = 500$ Н/(м/с); $b_y = 500$ Н/(м/с); $m_s = 1833,333$ кг; $m_{lp} = 275$ кг; $l_{gs} = 0$ м; $I_s = 23833,33$ кг м²; $b_w = 500$ Н м/(рад/с); $b_r = 500$ Н/(м/с). Масса m_s стрелы с противовесом крана предлагаемой конструкции принята несколько меньшей, чем масса M_x грузовой тележки крана традиционной конструкции, поскольку не включает в себя ходовое оборудование и привод для перемещения по рельсовым путям.

Предельные значения управляемых координат двух кранов также принимали значения, обеспечивающие одинаковую площадь обслуживаемых стеллажей (около 100 м²): x от 0 до 10 м; y от 0 до 10 м; φ от 0 до π ; R от 0 до 8 м.

Было принято допущение о равномерном характере распределения случайных величин координат целевой ячейки в каждом цикле перемещения кранов, в пределах соответствующих рабочих областей (см рис. 1). Это позволило заменить стохастические значения параметров

Начальная и конечная точка перемещения в каждом одиночном цикле для крана традиционной конструкции имела координаты $x=0$; $y=0$. Промежуточная точка (целевая ячейка склада) имела координаты $x=[1;2;\dots;10]$; $y=[1;2;\dots;10]$ во всех возможных сочетаниях. Для крана предложенной конструкции начальное и конечное значение радиальной координаты также принималось нулевое: $R=0$, поскольку точка загрузки находится максимально близко к оси вращения стрелы. Промежуточное значение радиальной координаты: $R=[1;2;\dots;8]$. Начальное и конечное значения угловой координаты принимались равными $\varphi_{nach}=[0; \pi/10; \pi/5;\dots;\pi]$; $\varphi_{kon}=[0; \pi/10; \pi/5;\dots;\pi]$, также во всех возможных сочетаниях. Поскольку конструктивной особенностью крана предложенной конструкции является допустимость произвольного угла поворота стрелы, при котором сохра-

няется возможность перемещения грузовой каретки с грузом к оси вращения стрелы, т.е. к точке выхода из склада.

Таким образом, для крана традиционной конструкции среднее значение работы приводов в одиночном цикле определялось для $10 \times 10 = 100$ перемещений. Для крана предложенной конструкции среднее значение работы приводов в одиночном цикле определялось для $11 \times 11 \times 8 = 968$ перемещений.

Варьируемыми параметрами в вычислительном эксперименте являлись скорости (в установившемся режиме движения) и ускорения (в периоды разгона и торможения) управляемых координат кранов. В качестве номинальных значений скоростей и ускорений приняты: для крана традиционной конструкции единичные значения $\dot{x}_{nom} = 1$ м/с; $\dot{y}_{nom} = 1$ м/с; $\ddot{x}_{nom} = 1$ м/с²; $\ddot{y}_{nom} = 1$ м/с². Для крана предложенной конструкции с поворотной стрелой $\dot{\varphi}_{nom} = 0,31415926$ рад/с; $\dot{R}_{nom} = 0,8$ м/с; $\ddot{\varphi}_{nom} = 0,31415926$ рад/с; $\ddot{R}_{nom} = 0,8$ м/с. Указанные номинальные значения обеспечивали одинаковое время перемещения кранов в пределах приведенных выше рабочих областей рассматриваемых размеров.

На рис. 3 приведены в качестве примера временные зависимости изменения управляемых координат крана предложенной конструкции (рис. 3, а) при перемещении с номинальными скоростями и ускорениями. Промежуточное значение радиальной координаты $R=8$ м. Начальное значение угловой координаты нулевое. Конечное значение угловой координаты $\varphi_{kon} = \pi/2$ рад.

На рис. 3, б приведены временные зависимости изменения накопленных значений работ приводов крана предложенной конструкции в рассматриваемом примере.

Конечное и одновременно наибольшее в рассматриваемом переходном процессе значение суммарной работы приводов, представляет собой отдельный элемент массива всех возможных сочетаний перемещений крана в рабочей области. Диапазоны и шаги равномерного разбиения всех управляемых координат кранов обеих конструкций приведены выше. Среднее значение всех элементов подобного массива представляет собой

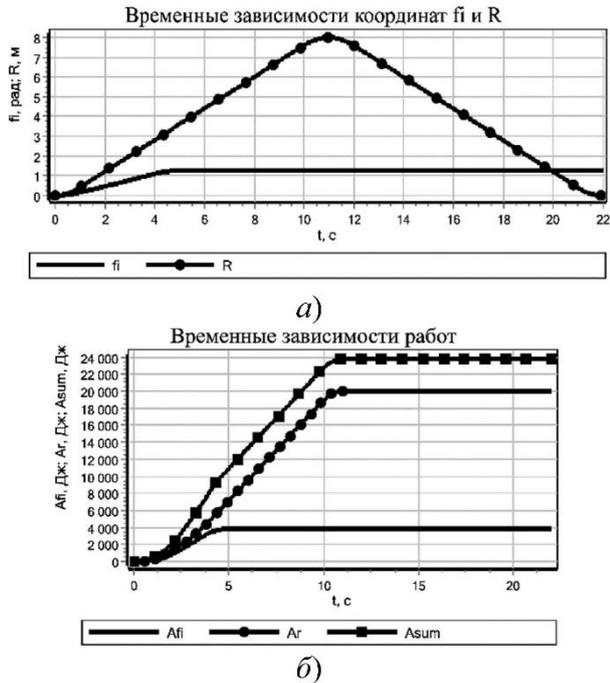


Рис. 3. Временные зависимости управляемых координат крана предложенной конструкции (а) и соответствующие им временные зависимости накопленных значений работ приводов (б)

отдельную точку на приведенных ниже функциональных зависимостях.

Варьирование осуществлялось путем умножения приведенных выше значений номинальных скоростей на коэффициент k , который принимал значения в интервале $[0,5; 2]$ с шагом 0,1. Значения номинальных ускорений умножались при варьировании на k^2 , с целью обеспечения постоянства пропорций между временными участками разгона с постоянным ускорением, и движения с постоянной скоростью.

В результате, все варьируемые одновременно параметры скоростей и ускорений принимали значения, приведенные на осях под рис. 4, а. На данном рис. приведены полученные зависимости средних полных затрат энергии $E_{\Sigma 1}, E_{\Sigma 2}$ крана-штабелера традиционной конструкции (№ 1) и предложенной конструкции с поворотной стрелой (№ 2) от коэффициента варьирования k и всех прочих связанных с ним параметров скоростей и ускорений звеньев кранов.

При увеличении коэффициента k , происходит возрастание скоростей и ускорений, и снижается время перемещения T обоих кранов.

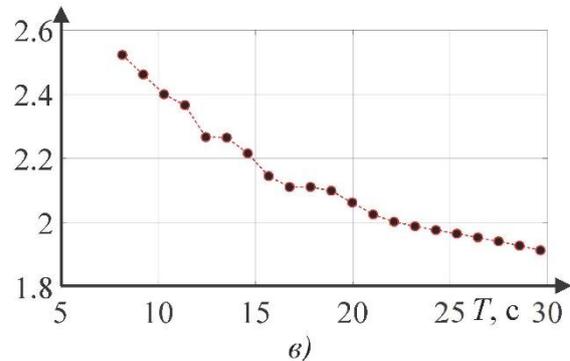
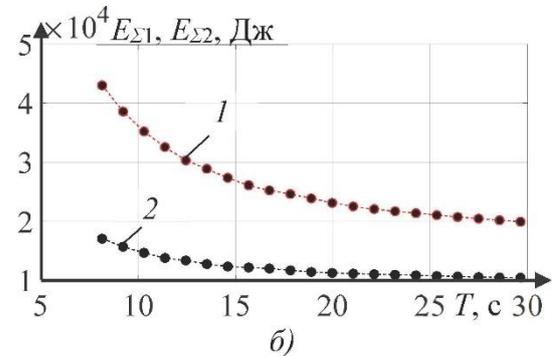
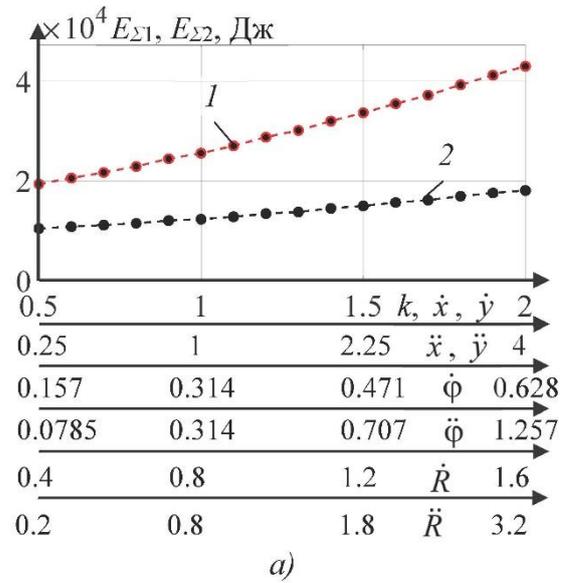


Рис. 4. Зависимости средних полных затрат энергии крана-штабелера традиционной (№ 1) и предложенной конструкции (№ 2): а - от коэффициента k варьирования скоростей и ускорений звеньев; б - от времени цикла; в - зависимость отношения средних полных затрат энергии двух кранов от времени цикла

Средние значения полных затрат энергии приводов кранов традиционной (№ 1) и предложенной (№ 2) конструкций определялись для совокупностей всех возможных сочетаний перемещений в пределах рабочих

областей указанных выше размеров: с шагами изменения координат 1 м для крана традиционной конструкции и с шагами $\pi/10$ для угловой и 1 м для линейной координат крана предложенной конструкции. На дополнительных горизонтальных шкалах рис. 4, а приведены значения всех связанных с варьируемым коэффициентом k значений скоростей и ускорений.

Учитывая, что изменение коэффициента k и связанных с ним скоростей и ускорений вызывает уменьшение времени цикла обоих кранов, на рис. 4, б приведены зависимости средних полных затрат энергии двух кранов от времени цикла перемещений, а на рис. 4, в – зависимость отношения средних полных затрат энергии двух кранов от времени цикла.

6. Обсуждение результатов

Анализ приведенных на рис. 4 функциональных зависимостей показывает, что средние полные затраты энергии $E_{\Sigma 1}$ крана-штабелера традиционной конструкции в 1.9...2.5 раза больше, чем средние полные затраты энергии $E_{\Sigma 2}$ крана-штабелера предложенной конструкции с поворотной стрелой. Наибольшие различия наблюдаются при малых значениях времени цикла, т.е. при движениях с наибольшими скоростями и ускорениями.

Список литературы

1. Srisurin P., Pimpanit P., Jarumaneeroj P. Evaluating the long-term operational performance of a large-scale inland terminal: A discrete event simulation-based modeling approach // PLOS ONE. 2022. Vol. 17. Pp. e0278649. DOI: 10.1371/journal.pone.0278649
2. Diwold J., Kolar B., Schöberl M. Flatness analysis for the sampled-data model of a single mast stacker crane // IFAC-Papers OnLine. 2023. Vol. 56. No. 1. Pp. 222-227. DOI: 10.1016/j.ifacol.2023.02.038
3. Zaerpour N., Gharehgozli A., De Koster R. Vertical expansion: a solution for future

7. Заключение

Разработанные имитационные математические модели двух кранов традиционной конструкции, и предложенной конструкции с поворотной стрелой, позволяют определять затраты энергии в приводах при перемещении звеньев кранов по заданным траекториям. Их использование позволило определять затраты энергии, возникающие при любом заданном перемещении кранов. При обслуживании складов одинаковой вместимости площадью в 100 м², принятие допущения о равномерном характере распределения случайных величин целевых ячеек перемещения грузов в складах, позволило заменить случайные перемещения совокупностью детерминированных перемещений для всех возможных сочетаний координат целевых ячеек с фиксированными шагами изменения их координат.

По критерию средних полных затрат энергии двух кранов, вычисленному для двух совокупностей детерминированных перемещений, кран-штабелер предложенной конструкции с поворотной стрелой имеет преимущество перед краном традиционной конструкции при обслуживании складов одинаковой вместимости.

Целесообразно рекомендовать использование крана-штабелера разработанной конструкции в складах и ангарах полукруглой формы. Его использование позволит существенно сократить затраты энергии при перемещении грузов.

References

1. Srisurin P., Pimpanit P., Jarumaneeroj P. Evaluating the long-term operational performance of a large-scale inland terminal: A discrete event simulation-based modeling approach. PLOS ONE. 2022, Vol. 17, pp. e0278649. DOI: 10.1371/journal.pone.0278649
2. Diwold J., Kolar B., Schöberl M. Flatness analysis for the sampled-data model of a single mast stacker crane. IFAC-Papers OnLine, 2023, Vol. 56, No. 1, pp. 222-227. DOI: 10.1016/j.ifacol.2023.02.038
3. Zaerpour N., Gharehgozli A., De Koster

container terminals // *Transportation Science*. 2019. Vol. 53. No. 5. Pp. 1235-1251. DOI: 10.1287/trsc.2018.0884

4. Geyer E., Arndt T., Mehling U. Construction of a new logistics center in Fliesen // *Beton- und Stahlbetonbau*. 2021. Vol. 116. Pp. 88-90. DOI: 10.1002/best.202100003

5. Huang Q., Ye Y., Zhu Z., Lu T. Route-optimization based storage allocation algorithm in intelligent high-bay warehouses // 2021 4th International conference on intelligent autonomous systems (ICOIAS 2021). 2021. pp. 240-245. DOI: 10.1109/ICOIAS53694.2021.00050

6. Rucker A., Rief J., Fottner J. An investigation of mean energy demand, performance and reference cycles for stacker cranes // *FME Transactions*. 2020. Vol. 48. No. 2. pp. 307-312. DOI: 10.5937/fme2002307R

7. Rucker A., Rief J., Fottner J. Development of a method for the energy efficiency determination of stacker cranes in automated high-bay warehouses // *FME Transactions*. 2020. Vol. 48. No. 4. pp. 753-760. DOI: 10.5937/fme2004753R

8. Корытов М.С., Безродина А.Е. Стеллажный кран-штабелер с поворотной стрелой // *Вестник СиБАДИ*. 2022. Т.19. № 4(86). С. 474-483. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-474-483

9. Беленький И.М. Введение в аналитическую механику. М.: Высш. школа, 1964. 324 с.

10. Лагереv И.А., Остроухов И.О., Химич А.В. Компьютерное моделирование процесса потери общей устойчивости мобильной машины, оснащенной стреловой манипуляционной системой // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2019. № 1. С. 83-94. doi: 10.22281/2413-9920-2019-05-01-83-94

11. Зотеев В.Е. Параметрическая идентификация диссипативных механических систем на основе разностных уравнений / Под ред. В.П. Радченко. М: Машиностроение, 2009. 344 с.

12. Božek P., Nikitin Y. The Development of an Optimally-Tuned PID Control for the Actuator of a Transport Robot // *Actuators*. 2021. Vol. 10 No. 8. Pp. 195. DOI:

R. Vertical expansion: a solution for future container terminals. *Transportation Science*, 2019, Vol. 53, No. 5, pp. 1235-1251. DOI: 10.1287/trsc.2018.0884

4. Geyer E., Arndt T., Mehling U. Construction of a new logistics center in Fliesen. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2021, Vol. 116, pp. 88-90. DOI: 10.1002/best.202100003

5. Huang Q., Ye Y., Zhu Z., Lu T. Route-optimization based storage allocation algorithm in intelligent high-bay warehouses. In: *2021 4th International conference on intelligent autonomous systems (ICOIAS 2021)*, 2021, pp. 240-245. DOI: 10.1109/ICOIAS53694.2021.00050

6. Rucker A., Rief J., Fottner J. An investigation of mean energy demand, performance and reference cycles for stacker cranes. *FME Transactions*, 2020, Vol. 48, No. 2, pp. 307-312. DOI: 10.5937/fme2002307R

7. Rucker A., Rief J., Fottner J. Development of a method for the energy efficiency determination of stacker cranes in automated high-bay warehouses. *FME Transactions*, 2020, Vol. 48, No. 4, pp. 753-760. DOI: 10.5937/fme2004753R

8. Korytov M.S., Bezrodina A.E. *Stellazhnihiy kran-shtabeler s povorotnoy streloy* [Stacker crane with slewing boom]. *Vestnik SibADI*, 2022, Vol. 19, No. 4(86), pp. 474-483. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-474-483 (In Russian)

9. Belenjkij I.M. *Vvedenie v analiticheskuyu mekhaniku* [Introduction to Analytical Mechanics]. Moscow, High School, 1964. 324 p. (In Russian)

10. Lagerev I.A., Ostrouhov I.O., Himich A.V. *Kompyuternoe modelirovanie protsessy poteri obshhey ustoychivosti mobilnoy mashiny, osnashchennoy strelovoy manipulyatsionnoy sistemoy* [Computer modeling of the process of loss of general stability of a mobile machine equipped with a boom manipulation system]. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No. 1, pp. 83-94. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-01-83-94 (In Russian)

11. Zoteev V.E. *Parametricheskaya identifikatsiya dissipativnykh mekhanicheskikh*

УДК (UDC) 655.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ОПОРНЫХ РОЛИКОВ ЛИСТОПЕРЕДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ

INVESTIGATION OF DEFECTS IN THE SUPPORT ROLLERS OF THE SHEET-TRANSMITTING SYSTEM OF THE PRINTING MACHINE

Серкова Л.Б., Варепо Л.Г.
Serkova L.B., Varepo L.G.Омский государственный технический университет (Омск, Россия)
Omsk State Technical University (Omsk, Russian Federation)

Аннотация. Печатная машина является сложной технической системой, которая включает в себя большое количество вращающихся частей (валов, шестерней и др.), в том числе подшипников и опорных роликов. Появление дефектов в подшипниковых узлах может привести к серьезным последствиям, таким как отказ оборудования и заклинивание валов, что приведет к остановке производства или появлению брака печатной продукции. Целью работы являлось изучение дефектов опорного ролика вала захватов, который отвечает за передачу листа внутри печатной секции. В статье рассмотрены дефекты наружного кольца опорного ролика. С помощью контрольно-измерительной машины изучены изменения, возникающие в его геометрии. Исследования были проведены на новом ролике, а также на роликах, вышедших из работы, выявлены изменения, возникающие во время эксплуатации. При десятикратном увеличении были изучены дефекты, возникающие на поверхности кольца во время эксплуатации, такие как абразивный износ, следы усталостного изнашивания и др. На возникновение многих дефектов оказывает влияние использование смазочных материалов. Предложены способы улучшения поверхностного слоя наружного кольца.

Ключевые слова: полиграфия, офсетная печать, листопередающая система, печатная машина, опорный ролик, наружное кольцо.

Дата получения статьи: 12.02.2024
Дата принятия к публикации: 15.03.2024
Дата публикации: 25.03.2024

Сведения об авторах:

Серкова Любовь Борисовна – старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология», ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет»,
e-mail: lubashka_2010@mail.ru.

Варепо Лариса Григорьевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология», ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет»,
e-mail: lgvarepo@omgtu.ru.

ORCID: 0000-0001-5366-2700

Abstract. A printing press is a complex technical system that includes a large number of rotating parts (shafts, gears, etc.), including bearings and support rollers. The appearance of defects in bearing assemblies can lead to serious consequences, such as equipment failure and jamming of shafts, which will lead to a halt in production or the appearance of defective printed products. The purpose of the work was to study defects in the support roller of the gripper shaft, which is responsible for transferring the sheet inside the printing section. The defects of the outer ring of the support roller are considered in the article. With the help of a control and measuring machine, the changes that occur in its geometry are studied. The research was carried out on the new roller, as well as on the rollers that came out of operation, the changes that occur during operation were revealed. Also, with a tenfold increase, defects that occur on the surface of the ring that appeared during operation, such as abrasive wear, traces of fatigue, were studied

Keywords: printing, offset printing, sheet metal transfer system, printing machine, support roller, outer ring.

Date of manuscript reception: 12.02.2024
Date of acceptance for publication: 15.03.2024
Date of publication: 25.03.2024

Authors' information:

Lyubov B. Serkova – Senior Lecturer at the Department of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University,
e-mail: lubashka_2010@mail.ru.

Larisa G. Varepo – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University,
e-mail: lgvarepo@omgtu.ru.

ORCID: 0000-0001-5366-2700

1. Введение

Обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции является важнейшей задачей прибыльного производства, что в свою очередь обеспечивается выпуском качественных изделий. Качество печатной продукции обеспечивается различными составляющими, начиная от качества используемых материалов до настройки оборудования. Так, например, важную роль играет точная работа листопередающей системы печатной машины, т.к. передача листа между секциями печатной машины осуществляется на высоких скоростях до 15000 оттисков/ч. При неточной работе системы происходит смещение листа в системе, что приводит к несовмещению красок при многокрасочной печати и, соответственно, появлению брака.

Современные печатные машины имеют в своем составе большое количество вращающихся валов, работу которых в свою очередь невозможно представить без подшипниковых узлов [1-2]. Подшипники в общем виде можно представить как сборную единицу, которая является частью опоры любого вала и создает подвижную ось. Жесткость подшипникового узла зависит от количества и положения тел, что в свою очередь влияет на возникновение вибраций в узле, а если в подшипнике имеются дефекты, то уровень вибраций увеличивается. На данный момент накоплен большой опыт по конструированию, использованию и диагностике подшипников качения, однако, рост внедрения высокоточных подшипниковых узлов в машинах большой производительности приводит к увеличению требований к надежности [3] и разработке новых методов диагностики для предотвращения внештатных ситуаций в работе агрегата.

2. Постановка задачи

Для того, чтобы не допускать выхода из строя оборудования необходимо обеспечить его надежность. В известной литературе [4, 5] к показателям надежности относят следующие показатели: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняе-

мость. Важной задачей для надежной работы машины является своевременное проведение диагностических работ [6], которые позволяют повысить эффективность использования оборудования, а также разработка новых конструкций, которые позволяют снизить вероятность выхода детали из строя. Изучение данных о возникающих отказах и неисправностях оборудования позволяет провести оценку технического состояния и фактическую надежность оборудования [7].

Если говорить о полиграфическом производстве, то в первую очередь подшипники рассматриваются с точки зрения опор валов, таких как офсетный, печатный и др. Современные печатные машины [8] работают на больших скоростях, скорость печати может достигать 15000 оттисков/ч, поэтому производители стремятся улучшить качество машин путем установки более высокоточных подшипниковых узлов (рис. 1), установка и обслуживание которых производится сервисной службой. В машины среднего класса могут быть установлены подшипники, которые можно заменить стандартными.

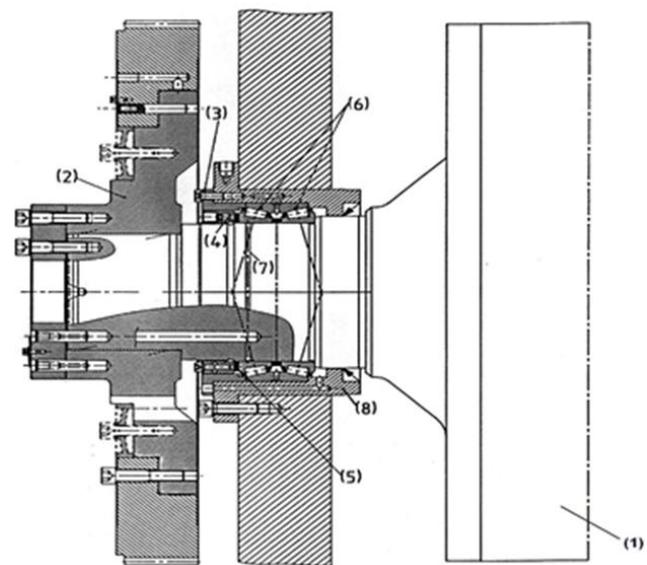


Рис. 1. Конструкция опоры печатного цилиндра офсетной печатной машины Роланд 700 с коническими подшипниками:

- 1 - печатный цилиндр, 2 - фланец,
- 3 - резьбовой фланец, 4 - кольцо,
- 5 - кольцевая шайба, 6 - подшипник,
- 7 - цапфа печатного цилиндра, 8 - буква

В большинстве работ внимание уделяется именно этим подшипникам. Однако в листо-передающей системе также используются подшипники, а именно опорные ролики, от точности работы данного узла во многом зависит качество выпускаемой продукции [9, 10]. Офсетная печать один из самых распространенных видов массовой печати, работа данного типа машин может осуществляться продолжительное время без остановки, соответственно детали всех узлов испытывают большие нагрузки при высоких скоростях вращения, поэтому актуальным является вопрос о долговечности деталей данного узла. Помимо подшипниковых узлов, в которых закреплены валы листопередающей системы, важным является опорный подшипниковый ролик (рис. 2), работа которого контролирует открытие и закрытие системы захватов в момент передачи листа, а так же его фиксацию на цилиндре, при его повороте.

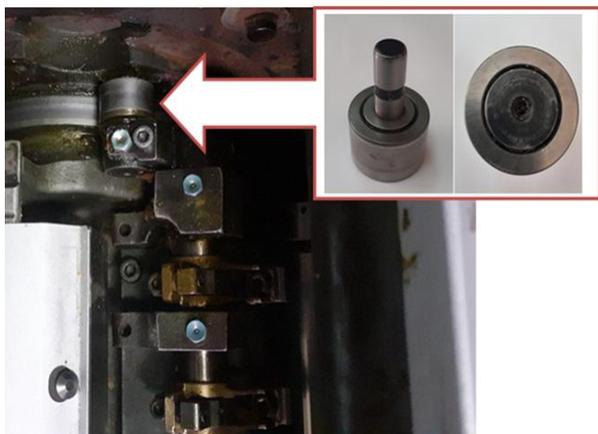


Рис. 2. Опорный ролик

Передача листа в секциях печатной машины должна осуществляться с высокой точностью. В настоящее время известны различные способы передачи листа, как за переднюю кромку листа, так и за заднюю, однако первый способ является наиболее распространенным. Удержание листа на цилиндре осуществляется с помощью специальной системы захватов, которые равномерно прижимают лист к опорной поверхности. Вспомогательное оборудование расположено внутри тела цилиндра. Опорные ролики удерживают вал захватов и фиксируют его положение. Сам же опорный ролик соверша-

ет вращательное движение по опорной поверхности, что видно на рис. 2, которая имеет кулачок. При подъеме опорного ролика на кулачок система захватов поднимается и происходит прием или передача листа на цилиндр, при прохождении кулачка система захватов опускается. Нарушение работы опорного ролика может привести к заклиниванию системы захватов и возникновению погрешностей передачи листа, таких как неравномерный захват листа (перекос) или разрыв запечатываемого полотна.

Опорные ролики листопередающей системы испытывают постоянные неравномерные нагрузки, это связано с тем, что его движение совершается по цилиндрической поверхности, имеющей кулачок, именно поэтому данная деталь чаще других выходит из строя и подлежит замене. В ранее выполненной работе приведены результаты изучения дефектов, возникающих на поверхности наружного кольца [11]. Разбитые внутренние части ролика вызывают появление осевого смещения. Так же вызывают отклонение формы наружного кольца ролика.

Целью данной работы являлся анализ отклонения формы наружного кольца опорного ролика в ходе эксплуатации.

3. Теория

Для более точного изучения формы наружного кольца (рис. 3) была применена контрольно-измерительная машина Mitutoyo с числовым программным управлением. Измерительная машина является одной из самых точных на рынке подобных, обеспечивая надежность измерений с высокой точностью и удобство работы.

Согласно нормативным документам [12], существуют отклонения профиля продольного сечения в виде образования конусообразности, бочкообразности или седлообразности. Однако данный стандарт не является основополагающим на территории страны и является межгосударственным. В качестве действующего стандарта принят [13], который предполагает лишь определение цилиндричности детали.

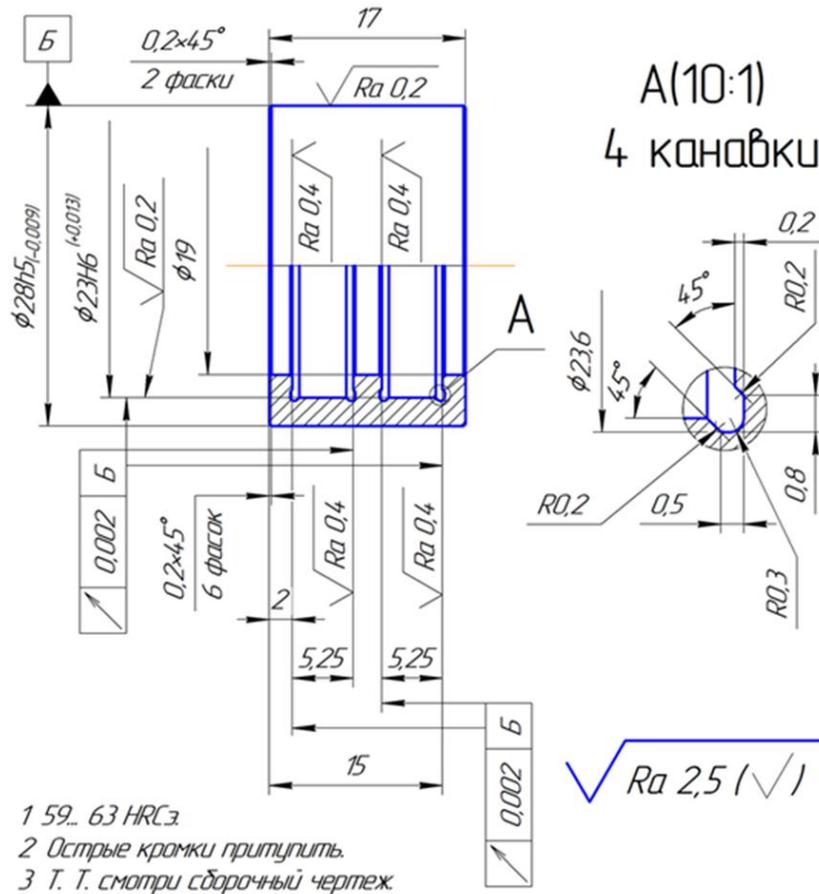


Рис. 3. Наружное кольцо опорного ролика

Для исследования было выбрано 10 деталей, которые были списаны в виду появления смещений при эксплуатации, так же была взята новая деталь в качестве эталона.

Предполагается, что в процессе эксплуатации поверхность наружного кольца ролика появляется отклонение от формы. Тогда отклонение от формы можно определить следующим образом

$$\Delta = 0,5(d_{\max} - d_{\min}), \quad (1)$$

где d_{\max} – диаметр середины продольного сечения; d_{\min} – диаметр у торца детали.

4. Результаты экспериментов

Параметры новой детали представлены на рис. 4 и 5.

Из рисунков видно, что при номинальном размере 28,000 мм опорный ролик имеет незначительные отклонения от размера, максимальное значение составляет 0,008 мм, что говорит о высокой точности изготовления данной модели роликов.



Имя пользователя
Admin
27.10.2021 13:48

Номер протокола (0)

Название детали
New Part 70

Firma: Ort: Maschine: Serienr.:

Эл. №	Стр. №	Элемент	Тчк №	X-коорд. X-угол	Y-коорд. Y-угол	Z-коорд. Z-угол	Диаметр Дист./угол	Разница
Допуск			Реф	Номинал	Верх/Ниж	Текущее	Отклонение	
1	6	20.5(4) Среднее	4	97.996	126.653	0.000	27.958	0.008
2	9	20.5(4) Среднее	4	97.983	126.637	0.000	27.997	0.006
3	12	20.5(4) Среднее	4	97.959	126.613	0.000	27.996	0.006
1	15	20.5(4) Круглость				0.005	0.008	0.003 --->>
2	16	20.5(4) Круглость				0.005	0.006	0.001 --->>
3	17	20.5(4) Круглость				0.005	0.006	0.001 --->>

Рис.4. Отчёт

Далее были исследованы отклонения от формы для деталей, которые были сняты с печатной машины ввиду непригодности. Основная причина их снятия, это увеличение перемещения цапфы относительно самого подшипника, что даёт дополнительные колебания в системе, а, соответственно, и дополнительные смещения системы захватов, что

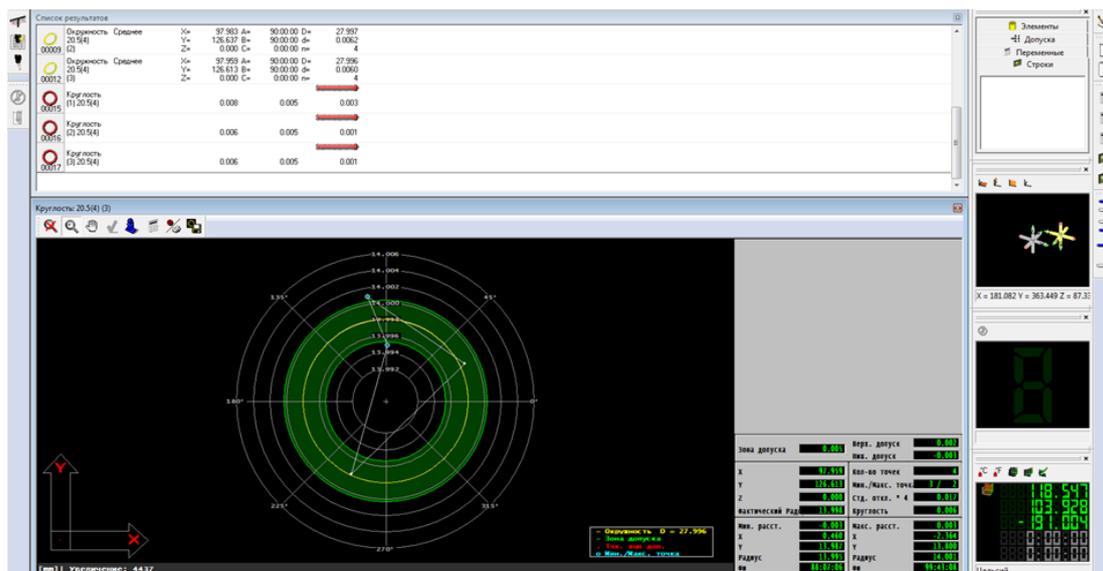


Рис. 5. Параметры нового опорного ролика

приводит к неправильному или неравномерному захвату и как следствие браку в производстве. В табл. 1 представлены максималь-

ные отклонения деталей от номинального размера. На рис. 6 представлен визуализация форм и размеров отработанной детали.

Таблица 1

Отклонения размеров

№ детали	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр, мм	27,987	27,985	27,979	27,987	27,961	27,986	27,986	27,983	27,987	27,973
Отклонение, мм	0,013	0,015	0,021	0,013	0,039	0,014	0,014	0,017	0,013	0,027

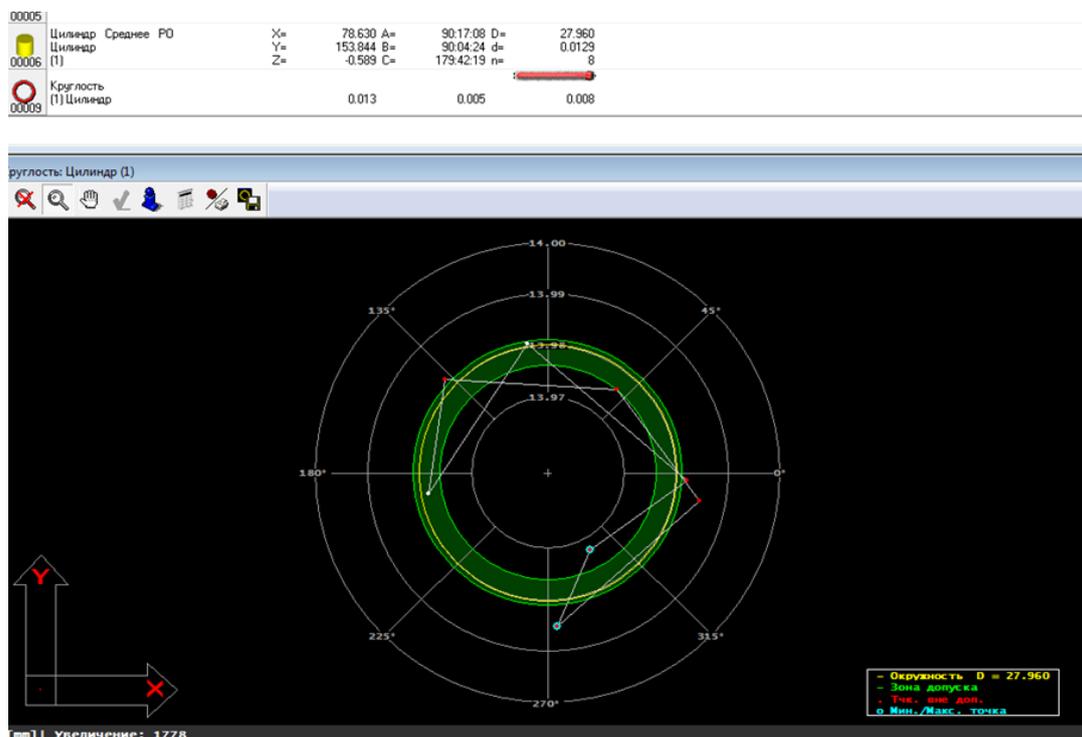


Рис. 6. Ролик №1

При десятикратном увеличении была изучена поверхность наружного кольца опорного ролика. Был выявлен ряд дефектов, возникающих в процессе эксплуатации.

Рассмотрим некоторые из них:

1. Размазывание следов вращения (рис. 7).

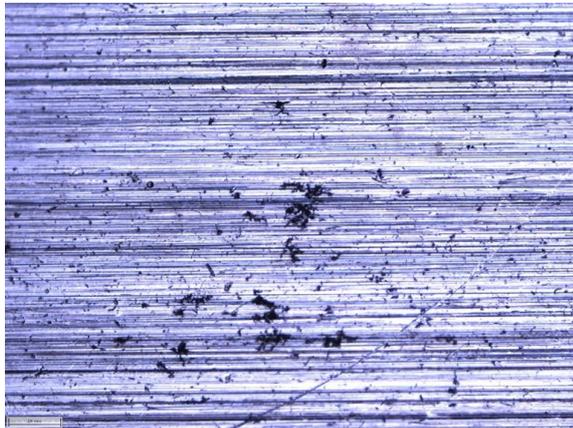


Рис.7. Размазывание следов вращения

Возникновение дефектов данного типа может быть связано с тем, что поверхность наружного кольца недостаточно смазывается в процессе эксплуатации или смазка имеет не высокое качество при том, что машина работает на высоких скоростях вращения.

2. Следы молекулярно-механического изнашивания (рис. 8).

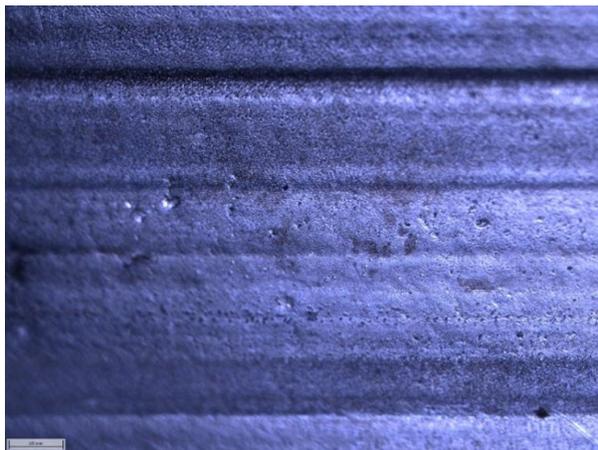


Рис.8. Следы молекулярно-механического изнашивания

Появление дефектов данного типа можно связать с тем, что при работе на высоких скоростях вращения также наблюдается недостаточное смазывание рабочих поверхно-

стей и испарение смазочного материала что приводит к разрыву связующей масляной пленки и повышению трения между деталями. Такое изнашивание наблюдается при молекулярном сцеплении материалов трущихся поверхностей сопряженных деталей, а так же в процессе приработки механизма.

3. Следы усталостного изнашивания (рис. 9).

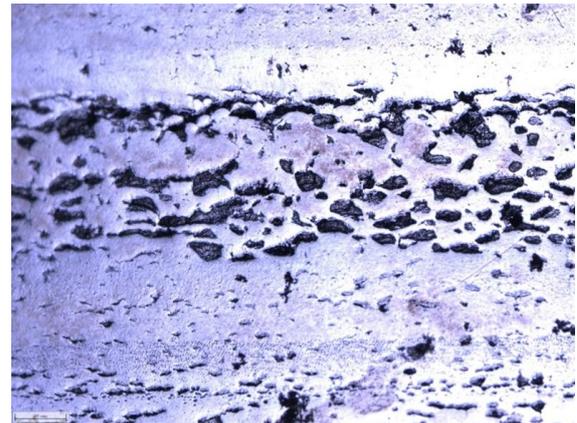


Рис. 9. Следы усталостного изнашивания

Данный тип изнашивания является наиболее глубоким. Возникновение следов усталостного изнашивания может быть связано с тем, что опорный ролик листопередающей системы испытывает динамические переменные нагрузки, так как в процессе своей работы совершает вращательное движение по поверхности, имеющей кулачок. При на скакивании на него происходит открытие системы захватов, а при спускании с него – закрытие. Данный дефект возникает при повторном деформировании поверхностного слоя детали. Также как и другие возникающие дефекты он может быть связан с качеством смазочных материалов.

4. Следы абразивного износа (рис. 10).

Следы абразивного износа так же являются следствием механического воздействия. В ходе работы механизма между деталями (в данном случае, опорного ролика и опорной поверхности) могут попадать различные загрязнения, такие как пыль, металлическая стружка и др. Попадая в зону контакта, абразивные частицы могут оставлять царапины и вмятины на поверхности детали.

Рассмотрим причины возникновения и способы устранения найденных дефектов.

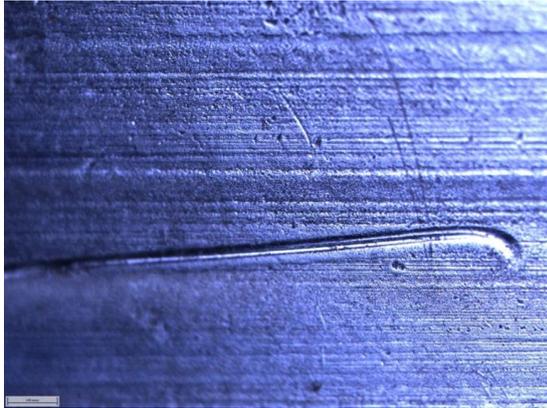


Рис.10. Следы абразивного износа

Во-первых, на возникновение многих дефектов оказывает влияние использование смазочных материалов [14-15]. Детали должны быть достаточно смазаны, а также смазочные материалы должны быть надлежащего качества.

Во-вторых, необходим контроль качества изготовления опорных роликов, в частности рабочих поверхностей.

В-третьих, возможно применение методов улучшения (упрочнения) поверхностного слоя наружного кольца опорного ролика с помощью центробежно-шариковой обработки, накатывания поверхности, методов лазерного, электронно-лучевого, плазменного и детонационного упрочнения, вакуумного ионно-плазменного упрочнения, ионного магнетронного распыления, упрочнение

ультразвуком, дробеструйной обработки, гидродробеструйной обработки и других методов.

5. Выводы

В соответствии с характеристиками опорного ролика диаметр его наружного кольца составляет 28 мм. Измеренный диаметр новой детали с помощью ручного инструмента составил 27.975 мм. Измерения с помощью КИМ показали, что минимальные отклонения роликов составляют 0,013 мм, максимальные 0,039 мм, что говорит о том, что относительно новой детали имеет место отклонение, появляющееся в процессе эксплуатации. Данный износ может быть связан с тем, что ролик не всей поверхностью наружного кольца опирается на опорную поверхность, что видно из рисунка 2. Появление данного дефекта вызывает дополнительные колебания в листопередающей системе, что вызывает отклонение и, как правило, приводит к несовмещению красок, а соответственно и браку продукции. Своевременный контроль и замена данных деталей позволит минимизировать материальные затраты в случае появления брака, а также снизить временные затраты на устранение полученных дефектов.

Список литературы

1. Пинегин С.В. Опоры качения в машинах. Москва: Издательство АН СССР, 1961. 150 с.
2. Карпукhin И.М. Посадки приборных и шпиндельных шарикоподшипников. Справочник. Москва: Машиностроение, 1978. 246 с.
3. Быков А.В. Разработка методики диагностирования подшипников качения печатной пары: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Москва, 2002. 212 с.
4. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. Введен 03.01.2017. Москва: Стандартинформ, 2016.
5. Randall R.B., Antoni J. Rolling element

References

1. Pinegin S. V. *Opori kacheniya v mashinakh*. Moscow, Izdatelstvo AN SSSR, 1961. 150 p. (In Russian)
2. Karpukhin I.M. *Posadki pribornykh i shpindelnykh sharikopodshipnikov*. *Spravochnik*. Moscow, Mashinostroenie, 1978. 246 p. (In Russian)
3. Bykov A.V. Development of a methodology for diagnosing rolling bearings of a printed pair. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2002. 212 p. (In Russian)
4. GOST 27.002-2015 *Nadezhnost v tekhnike (SSNT). Terminy i opredeleniya*. Moscow, Standartinform, 2016. (In Russian)
5. Randall R.B., Antoni J. Rolling element bearing diagnostics. *Mechanical Systems and*

bearing diagnostics // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2011. Vol.25. № 2/ P. 485-520.

6. Xiao W. Support evidence statistics for operation reliability assessment using running state information and its application to rolling bearing // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2015. Vol. 60. P. 344-357.

7. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин. Владимир: изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. 160 с.

8. Куликов Г.Б. Диагностика механических систем привода полиграфических машин с использованием искусственных нейронных сетей: дисс. ... доктора техн. наук: 05.02.13 / Куликов Григорий Борисович. Москва, 2008. 385 с.

9. Morfliuk V.F., Karpenko I.S. Research models of the processes stabilization the parameters of process register the colors in sheet transfer system // *Технологія і техніка друкарства*. 2014. No. 1(43). P. 30-36.

10. Морфлюк В.Ф., Карпенко И.С., Чуркин В.В. Метод цифрового определения параметров моделирования совмещения красок в листопередающей системе печатных машин // *Труды БГТУ*. 2016. №9. С. 22-28.

11. Серкова Л.Б., Варепо Л.Г., Серков А.С. Исследование износа опорных роликов в печатных машинах // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019. №12. С.298-302.

12. ГОСТ 24642-81 Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. 45 с.

13. ГОСТ 24643-81 Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. 10с.

14. Вахрушев С.И., Цыпленков Р.Г., Дмитриев С.Э. Исследование влияния смазочных материалов на износ узлов трения подшипников качения // *Наука и военная безопасность*. 2017. №1. С. 78-81.

15. Евстифеев, В.В., Мельник С.В., Голощапов Г.А. Исследование влияния эксплуатационных свойств пластичных смазочных материалов на износ узлов трения строительных машин с подшипниками ка-

Signal Processing, 2011, No.25, pp.485-520.

6. Xiao W. Support evidence statistics for operation reliability assessment using running state information and its application to rolling bearing. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2015, No. 60, pp. 344-357.

7. Bazhenov Yu.V. *Osnovy teorii nadezhnosti mashin*. Vladimir, VGU, 2006. 160 p. (In Russian)

8. Kulikov G.B. *Diagnostika mekhanicheskikh sistem privoda poligraficheskikh mashin s ispolzovaniem iskusstvennykh neironnykh setey*. Diss. Doc. Sci. (Eng.). Moscow, 2008. 385 p. (In Russian)

9. Morfliuk V.F. Research models of the processes stabilization the parameters of process register the colors in sheet transfer system. *Technologiya i tehnika drugarstvo*, 2014, No. 1(43), pp. 30-36.

10. Morflyuk V.F. A method for digitally determining the parameters of modeling the combination of paints in a sheet-transmitting system of printing machines. *Trudy BGTU*, 2016, No. 9, pp. 22-28. (In Russian)

11. Serkova L.B. Issledovanie iznosa opornykh rolikov v pechatnykh mashinakh. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2019, No.12, pp. 298-302. (In Russian)

12. GOST 24642-81 *Dopuski formy i raspolozheniya poverhnostei. Osnovnye terminy i opredeleniya*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002. 45 p. (In Russian)

13. GOST 24643-81 *Dopuski formy i raspolzheniya poverkhnostey. Chislovye znacheniya*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2004. 10 p. (In Russian)

14. Vakhrushev S.I., Tsyplenkov R.G., Dmitriev S.E. Issledovanie vliyaniya smazochnykh materialov na iznos uzlov treniya podshipnikov kacheniya. *Nauka i voennaya bezopasnost*, 2017, No1, pp. 78-81. (In Russian)

15. Evstifeev V.V. Issledovanie vliyaniya ekspluatatsionnykh svoystv plastichnykh smazochnykh materialov na iznos uzlov treniya stroitelnykh mashin s podshipnikami kacheniya. In: *Oriented fundamental and applied research - the basis for modernization and innovative development of architectural,*

УДК (UDC) 62-529

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙAUTONOMOUS CONTROL SYSTEM
ROAD CONSTRUCTION MACHINEСухарев Р.Ю., Сёмкин Д.С., Игнатов С.Д.
Sukharev R.Yu., Semkin D.S., Ignatov S.D.Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ) (Омск, Россия)
Siberian State Automobile and Highway University (Omsk, Russia)

Аннотация. Повышающиеся требования к точности выполнения строительных работ приводят к необходимости создания современных систем управления, которые позволят исключить человека-оператора из процесса управления дорожно-строительными машинами, повысить энергоэффективность и производительность этих машин, а также качество готового объекта строительства. Безусловным технологическим прорывом стало использование беспилотных систем управления. Повышение точности работ при помощи беспилотных систем управления является актуальным и сложным направлением исследований. Это связано с необходимостью улучшения алгоритмов и усовершенствования датчиков для более точного определения координат машины и принятия решений. Только обладая высокой точностью, современные беспилотные машины способны минимизировать ошибки выполнения строительных работ и сопутствующие риски, связанные с безопасностью. Для этого необходимо обеспечить возможность распознавания и анализа различных факторов, таких как движущиеся объекты, погодные условия, рельеф местности и т.п. В статье приведены результаты функционального анализа ряда дорожно-строительных машин, определен круг задач, который должна решать современная система беспилотного управления, описан возможный вариант реализации такой системы, приведены различия блок-схем рабочих процессов строительных машин как без систем автоматического управления, так и оснащенных стандартной и разрабатываемой системами автоматического управления.

Ключевые слова: автономная машина, беспилотное управление, блок-схема, бульдозер, автогрейдер.

Дата получения статьи: 29.11.2023
Дата принятия к публикации: 22.01.2024
Дата публикации: 25.03.2024

Сведения об авторах:

Сухарев Роман Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация и энергетическое машиностроение» ФГБОУ ВО

Abstract. The increasing requirements for the accuracy of construction work lead to the need to create modern control systems that will eliminate the human operator from the process of controlling road construction machines, increase the energy efficiency and productivity of these machines, as well as the quality of the finished construction object. The use of unmanned control systems has become an absolute technological breakthrough. Improving the accuracy of work with the help of unmanned control systems is an urgent and complex area of research. This is due to the need to improve algorithms and improve sensors to more accurately determine the coordinates of the machine and make decisions. Only by possessing high accuracy, modern unmanned vehicles are able to minimize errors in construction work and associated safety risks. To do this, it is necessary to provide the ability to recognize and analyze various factors, such as moving objects, weather conditions, terrain, etc. The article presents the results of a functional analysis of a number of road construction machines, defines the range of tasks that a modern unmanned control system should solve, describes a possible implementation option for such a system, and shows the differences in flowcharts of working processes of construction machines both without automatic control systems and equipped with standard and developed automatic control systems.

Keywords autonomous car, unmanned control, flowchart, bulldozer, grader.

Date of manuscript reception: 29.11.2023
Date of acceptance for publication: 22.01.2024
Date of publication: 25.03.2024

Authors' information:

Roman Yu. Sukharev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department "Automation and power engineering" at

«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
e-mail: suharev_ry@mail.ru.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2627-8110

Сёмкин Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительная, подъемно-транспортная и нефтегазовая техника» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
e-mail: d.s.semkin@yandex.ru.

ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6162-1140

Игнатов Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительная, подъемно-транспортная и нефтегазовая техника» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
e-mail: ignsd@mail.ru.

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1891-8744

Siberian State Automobile and Highway University,
e-mail: suharev_ry@mail.ru.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2627-8110

Dmitry S. Semkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department "Construction, Lifting, Transport and Oil and Gas Engineering" at Siberian State Automobile and Highway University, *e-mail: d.s.semkin@yandex.ru.*

ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6162-1140

Sergey D. Ignatov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department "Construction, Lifting, Transport and Oil and Gas Engineering" at Siberian State Automobile and Highway University, *e-mail: ignsd@mail.ru.*

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1891-8744

1. Введение

Строительство автомобильной дороги, как и любого другого сложного объекта, сопряжено с неблагоприятными факторами (отклонения от проекта, неровности рельефа местности и т.п.), снижающими качество готового продукта. Минимизация влияния этих факторов возможна за счет использования современных высокопроизводительных дорожно-строительных машин, оснащенных современными системами автоматического управления, позволяющих выполнять подготовительные и строительные работы с соблюдением всех предъявляемых требований [5].

Анализ существующих системам автоматического управления дорожно-строительными машинами показал, что представленные на рынке системы способны управлять положением рабочего органа машины, но при этом управление движением машиной остается заботой оператора.

Разработка системы, управляющей перемещением дорожно-строительной машины и ее рабочим оборудованием в пространстве, позволит повысить конкурентоспособность серийно выпускаемых машин, а также создавать перспективные машины.

2. Постановка задачи

Системы автоматического управления дорожно-строительными машинами известны достаточно давно. Первые подобные сис-

темы выполняли функцию стабилизации рабочего оборудования дорожно-строительных машин в поперечной плоскости. Источником первичной измерительной информации в таких системах выступал маятниковый датчик угла поперечного уклона. Включение в систему контактного датчика вертикальной координаты рабочего оборудования привело к появлению систем, управляющих положением оборудования уже в двух плоскостях. В дальнейшем контактный датчик был заменен на лазерные построители плоскости [1].

Современные системы автоматического управления дорожно-строительными машинами в качестве источника информации о текущем положении машины и ее рабочего оборудования используют сигналы глобальных навигационных спутниковых систем [2,10].

Сегодня рынок насыщен системами автоматического управления рабочими процессами дорожно-строительных машин иностранного производства, однако развитие приборов и средств контроля и измерения, микропроцессорной техники позволяет не только совершенствовать эти системы, но и создавать принципиально новые отечественные системы автономного управления машинами, исключая человеческий фактор из технологического процесса строительства. Разработка таких систем сопряжена с глубоким анализом функций, которые выполняет человек-оператор, и их формализацией. Для таких машин, используемых в строительстве

авто мобильных дорог, как одноковшовый экскаватор, бульдозер, автогрейдер, каток, асфальтоукладчик, скрепер и дорожная фреза можно выделить следующие общие функции:

- 1) управление режимами резания и уплотнения;
- 2) управление загрузкой двигателя и трансмиссии;
- 3) управление рабочим оборудованием, в частности, его положением;
- 4) обеспечение курсовой устойчивости, определение траектории движения (кроме одноковшового экскаватора);
- 5) ориентация машины на строительной площадке;
- 6) диагностика машины;
- 7) учет выполненных работ.

Таким образом, практически по всем своим функциям перечисленные машины схожи, что позволяет применять универсальные методы управления.

Получается, что перспективные системы автономного управления дорожно-строительными машинами должны выполнять все перечисленные функции.

3. Разработка блок-схем рабочих процессов дорожно-строительной машины

Достаточно часто для обеспечения требуемых параметров определенного этапа строительства (планировка поверхности, возведение земляного полотна и т.п.) необходимо совершать несколько проходов машиной. Оптимальное их количество определяется, исходя из производительности и мощности используемой машины. Перспективные системы автономного управления должны обеспечивать снижение расходов на выполнение строительных работ за счет определения оптимального курса движения машины, снижения количества проходов по одному месту и ручного труда, таким образом, повышать энерго-эффективность и производительность. Стоит отметить, что в настоящее время в процессе управления разными машинами человек-оператор выполняет те или иные функции, перечисленные ранее, причем для оценки каждой из них суще-

ствует отдельный критерий эффективности, как и ряд специфических ограничений.

Рассмотрение рабочего процесса дорожно-строительной машины с позиции системного анализа позволит разработать комплексную систему автономного управления.

Процесс управления дорожно-строительной машиной ограничен, и состоит из определенного конечного набора функций. В серийной машине эти функции выполняет человек. При этом на каждую функцию накладываются определенные ограничения, которые можно представить в виде частного критерия эффективности. При всем этом, имеется общая цель, которую необходимо достичь, за счет оптимального выполнения определенных наборов функций [4,7].

Для описания системы автоматического управления рабочий процесс машины можно рассмотреть с позиций системного анализа и представить его в виде блок-схемы рабочего процесса серийно выпускаемой машины без использования систем автоматического управления (рис. 1). В блок-схеме приведены подсистемы и связи, непосредственно влияющие на формирование грунтового объекта с требуемой точностью [4,7].

Обрабатываемая среда представлена подсистемами: реакция среды и микрорельеф [7].

Управление состоит из подсистем человек-оператор и проект сооружения [7].

Машина (ДСМ) представлена подсистемами: рама, силовая установка, рабочее оборудование (РО), ходовое оборудование (ХО), гидропривод рабочего оборудования (гидропривод РО), гидравлическое рулевое управление (ГРУ) [7].

Подсистемы соединяются векторными связями, через которые проходит информация [7].

Фактические геометрические размеры \bar{P}_1 возводимого сооружения, формируемые после прохода машины, являются выходными координатами сложной динамической системы, которые человек анализирует в силу своих возможностей. Полученные данные $\bar{P}_1, \bar{P}_{14}, \bar{P}'_{14}$ человек сравнивает с проектными данными (проект сооружения \bar{P}_{13}) и формирует управляющие воздействия на гидравли-

ческое рулевое управление \bar{P}_{11} , на силовую установку \bar{P}_{12} и гидропривод рабочего оборудования \bar{P}_{10} [8].

Существующие системы автоматического управления позволяющие выполнять управление рабочим оборудованием в двух- или трехмерном режиме. Блок-схема рабочего

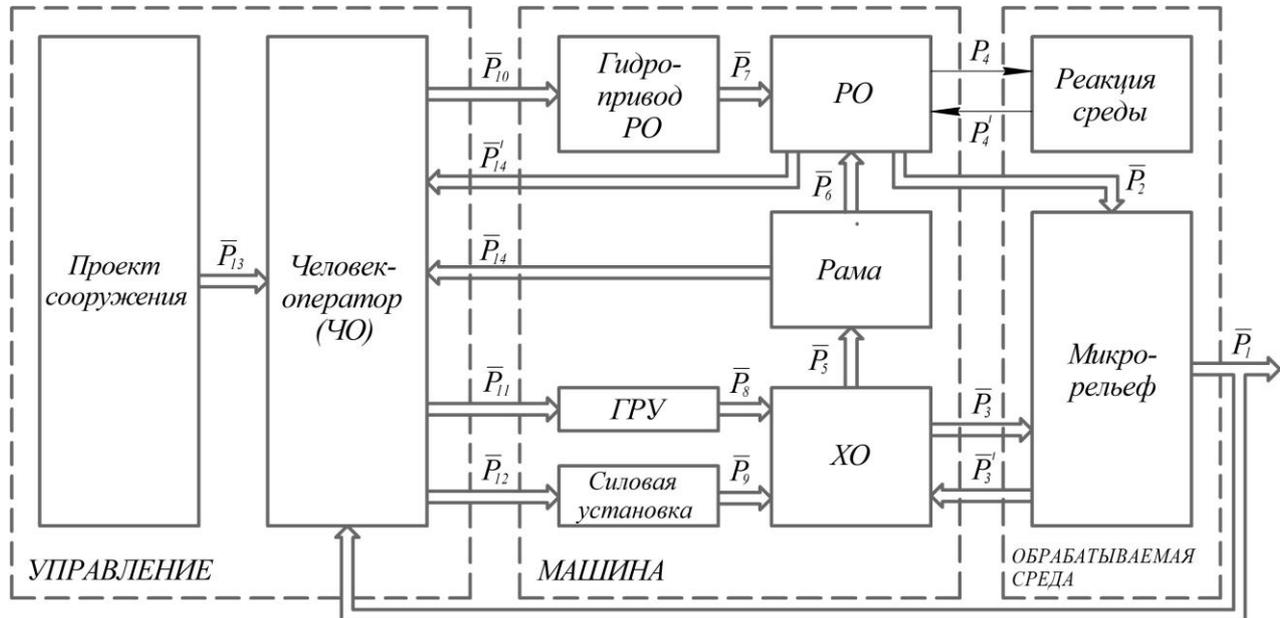


Рис. 1. Блок-схема рабочего процесса дорожно-строительной машины без систем автоматизации

Гидравлическое рулевое управление, силовая установка и микро-рельеф, по которому перемещается машина, воздействуют на ходовое оборудование (векторы параметров \bar{P}_8 , \bar{P}_9 , \bar{P}_3'), которое, в свою очередь, воспринимает возмущения от микро-рельефа \bar{P}_3' и управляющие воздействия от гидравлического рулевого управления \bar{P}_8 и силовой установки \bar{P}_9 , изменяя положение рамы машины в инерциальной системе координат (вектор \bar{P}_5).

Смещения рамы (вектор \bar{P}_6) и управляющие воздействия со стороны гидропривода рабочего оборудования (вектор \bar{P}_7) приводят к изменению координат рабочего оборудования, которые формирует возводимый объект из необработанного микро-рельефа (вектор \bar{P}_2). Среда воздействует на рабочее оборудование силой реакции (P_4'), которая зависит от заглубления рабочего оборудования (P_4), призмы волочения, грунтовых условий и др. [7].

процесса дорожно-строительной машины с применением такой системы управления представлена на рис. 2.

В качестве информационных источников могут выступать разнообразные датчики, которые устанавливают или на раму машины, или на рабочее оборудование, и система ГНСС (GPS, ГЛОНАСС и др.), позволяющие определить с достаточной точностью действительные координаты рабочего оборудования (векторы \bar{P}_{14} , \bar{P}_{15} , \bar{P}_{16}).

Для обеспечения работоспособности приведенной системы автоматического управления необходим цифровой 3D-проект объекта строительства, который позволяет сравнить фактическое положение рабочего оборудования (вектор \bar{P}_{16}) с проектными координатами (вектор \bar{P}_{13}). Человек-оператор в приведенной схеме следит за положением машины на территории строительства и управляет двигателем внутреннего сгорания и рулевыми механизмами.

Как отмечалось ранее, перспективные системы автоматического управления должны полностью исключать человека из процесса управления машиной и, тем самым, обеспечивать полную автономность машин. Блок-схема рабочего процесса такой машины представлена на рис. 3.

Кроме управления рабочим оборудованием, система автоматического управления

обеспечивает: построение оптимального пути движения (вектор \vec{P}_{17}) на основе 3D-проекта объекта и цифровой карты участка строительства (вектор \vec{P}_{13}).

Устройство управления траекторией перемещения машины, учитывающее информацию о заданной траектории (вектор \vec{P}_{17}) и текущем векторе состояния машины (вектор

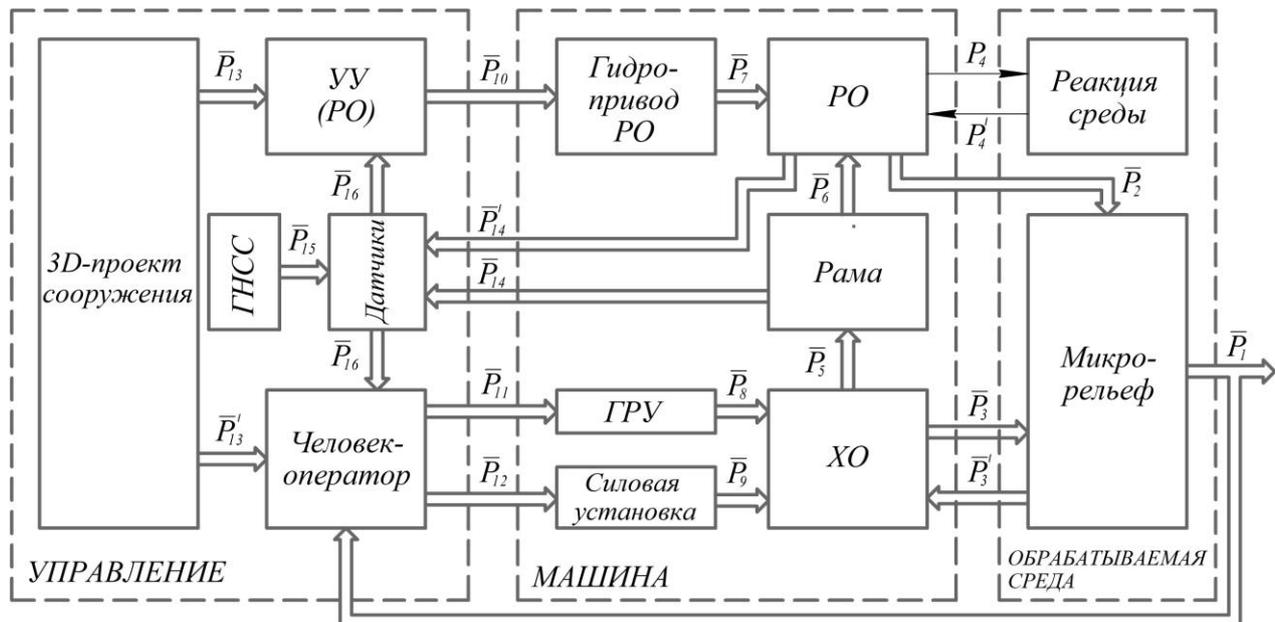


Рис. 2. Блок-схема рабочего процесса дорожно-строительной машины со стандартной системой автоматического управления

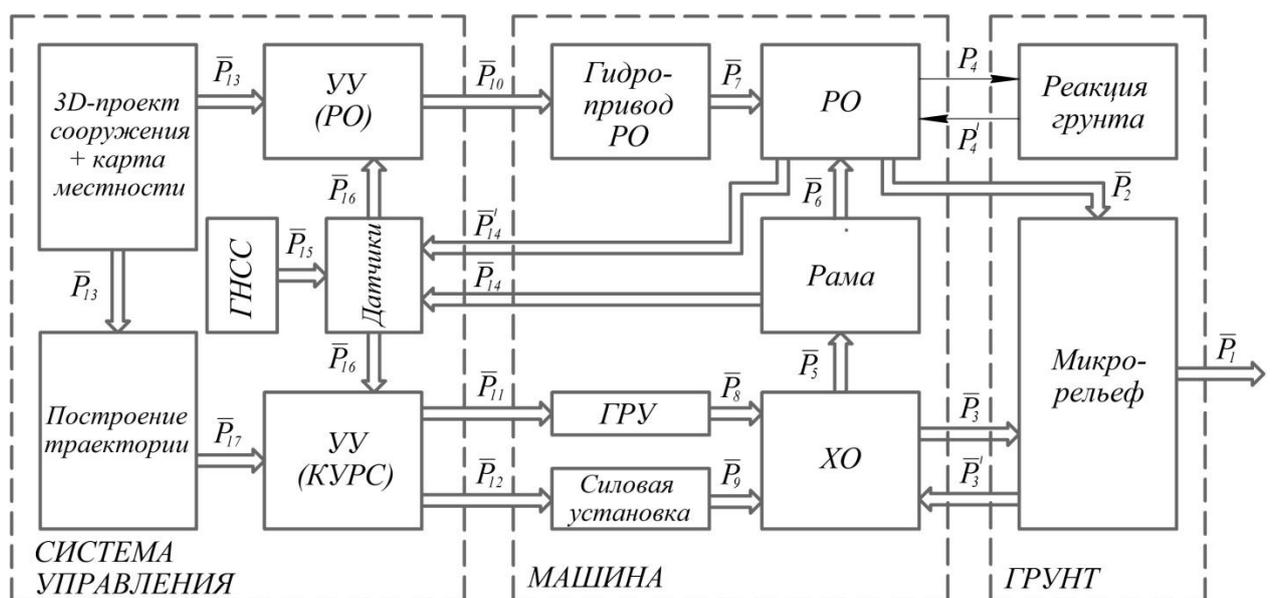


Рис. 3. Блок-схема рабочего процесса дорожно-строительной машины с разрабатываемой системой автоматического управления

\bar{P}_{16}), вырабатывает управляющие сигналы на рулевое управление (вектор \bar{P}_{11}) и силовую установку (вектор \bar{P}_{12}).

Таким образом, система автономного управления машины должна обеспечивать ряд функций, которые до этого были возложены на человека:

1) построения требуемой траектории движения с учетом кинематических особенностей конкретной модели машины;

2) реализации метода управления курсом движения машины с учетом расположения рабочего оборудования относительно базы машины и действительной скорости движения;

3) управления рабочим органом машины в соответствии с проектом сооружения и требованиями к точности.

Похожие системы автоматического вождения уже успешно применяются в сельскохозяйственных машинах [9].

Стоит отметить, что одним из достигаемых технических результатов при этом является возможность накопления информации о траектории перемещения рабочего оборудования машины, что, в свою очередь, позволяет построить «цифровой двойник» возводимого объекта. Этот двойник можно использовать в качестве входной информации при следующих этапах строительства и в течение всего жизненного цикла объекта [6,8].

4. Вариант реализации системы автономного управления дорожно-строительной машины

Возможный вариант реализации системы представлен в виде структурной схемы на рис. 4 [3].

Система состоит из бортового контроллера нижнего уровня, со своим программным обеспечением и бортового компьютера верхнего уровня со своим программным обеспечением.

Бортовой контроллер нижнего уровня собирает информацию с датчиков, установленных на базовой машине, тем самым обеспечивая формирование вектора состояния машины. В качестве датчиков выступают трех-

осные акселерометры-гироскопы, расположенные на раме машины и ее подвижных частях, датчик угла поворота передних колес датчик угла слома полурам (опционально), датчик угла захвата рабочего органа.

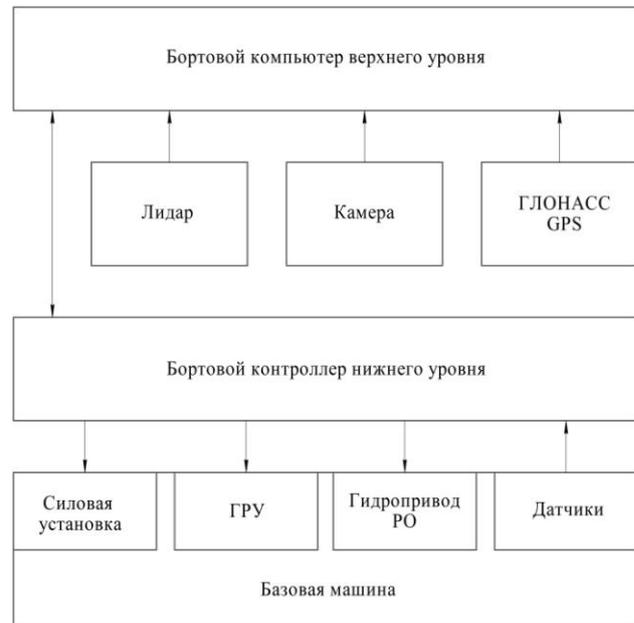


Рис. 4. Структурная схема перспективной системы автономного управления дорожно-строительной машины [3]

Помимо этого, контроллер нижнего уровня обеспечивает управление силовой установкой, рулевым механизмом и гидроприводом рабочего органа как сигналами, формируемыми на данном уровне, так и сигналами, поступающими с верхнего уровня управления.

Бортовой компьютер верхнего уровня является центральным вычислительным узлом всей системы, на него поступают информационные сигналы с бортового контроллера нижнего уровня, лидара, стереокамер и приемников глобальных навигационных спутниковых систем. Сигналы с приемников глобальных навигационных спутниковых систем, работающих в режиме RTK вкупе с сигналами датчиков, поступающих с бортового контроллера нижнего уровня, обеспечивают формирование вектора состояния машины.

Лидар в данной системе предназначен для обнаружения статических и динамических препятствий. Стереокамеры или камеры глубины благодаря технологии SLAM по-

зволяют реализовать функции визуальной одометрии и корректировать показания приемников глобальных навигационных спутниковых систем.

Помимо этого, бортовой контроллер верхнего уровня реализует функции построения оптимальной траектории движения машины и ее рабочего оборудования, сравнивает текущее положение с 3D проектом возводимого сооружения, формирует управляющие воздействия, передаваемые на бортовой контроллер нижнего уровня, и осуществляет создание цифрового двойника возводимого сооружения.

Для получения максимально точных координат местонахождения машины с помощью ГНСС приемников может быть использована как отдельная наземная базовая станция, так и подключение к сети постоянно действующих референсных станций.

Базовые станции позволяют вносить RTK (Real Time Kinematic) поправки к координатам, определяемым приемником с помощью спутниковой группировки. Точность определения координат с помощью ГНСС приемника при использовании RTK поправок составляет 0,01-0,02 м.

Применение отдельных базовых станций актуально при работе дорожно-строительных машин в отдаленных регионах, где отсутствует зона навигационного поля сети референсных станций. При этом перед началом работ необходимо определить координаты точки, куда будет установлена базовая станция. Эффективная дальность действия станции RTK и приемника составляет до 15 км.

При работе дорожно-строительных машин в зоне покрытия сети референсных станций необходимость в установке отдельных базовых станций отпадает. Для получения сигнала от станций RTK достаточно подключиться к одной из действующих сетей, например: EFT-CORS, АО «ПРИН» и другим.

Построение траектории движения дорожно-строительной машины выполняется исходя из выбора рациональной схемы организации работ с учетом очертавания границы рабочего участка, ширины рабочего органа и перекрытия следа между проходами, направле-

ния перемещения разрабатываемой среды и других параметров. Для геометрического построения траектории соседних проходов могут использоваться эквидистанты кривых.

Управляющие сигналы для приводов хода базовой машины и управления рабочим органом формируются исходя из соотношения вектора состояния машины с вектором перемещения рациональной траектории движения. При этом за счет внешних факторов в процессе работы дорожно-строительных машин может происходить буксование и боковой снос. Поэтому для точного позиционирования выполняется построение локальной траектории движения, учитывающей поправки для возвращения на рациональную траекторию движения.

Предлагаемый состав оборудования для реализации перспективной системы автономного управления машиной следующий.

В качестве бортового компьютера предполагается использовать встраиваемый модуль NVIDIA Jetson Nano (рис. 5). Данный выбор обусловлен требованием большой вычислительной мощности для обработки информации с лидара и камеры.



Рис. 5. Встраиваемый модуль NVIDIA Jetson Nano



Рис. 6. Плата STM32F407 Discovery Kit

В качестве бортового контроллера предполагается использовать 32-битный микроконтроллер семейства STM32 производства STMicroelectronics (рис. 6).



Рис. 7. Камера глубины Intel RealSense Depth Camera D455

Одним из способов решения задачи локальной навигации является применение камер глубины и системы слежения (рис. 7,8).



Рис. 8. Стерео камера Stereolabs ZED Stereo camera

Для получения информации о препятствиях, возникающих на пути машины предлагается использовать лидар (рис. 9).

GNSS-приемник Trimble R10 410-470 МГц получает поправки по радиоканалу или напрямую со спутника и обеспечивает работу со спутниковыми системами GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и SBAS (рис. 10).



Рис. 9. Лидар Livox Mid 70 LiDAR Sensor



Рис. 10. GNSS-приемник Trimble R10



Рис. 11. Фрагмент данных с камеры глубины во время испытаний

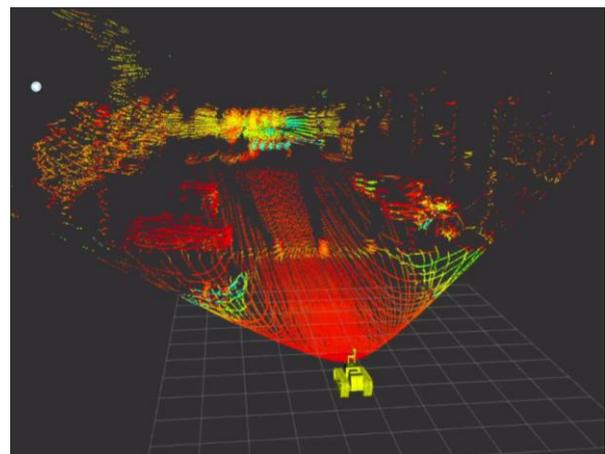


Рис. 12. Фрагмент данных с лидара во время испытаний

Предложенная структурная схема и комплект аппаратуры для технической реализации системы автономного управления были

успешно апробированы в ходе выполнения совместного проекта ФГБОУ ВО «СибАДИ» и Университета Иннополис в 2021 году по созданию автономной малогабаритной коммунальной машины (рис. 11, 12).

5. Заключение

Проведенный анализ функций управления дорожно-строительной машиной позволил определить задачи, которые должна решать перспективная система управления. Анализ рабочего процесса дорожно-строительной машины позволил разработать блок-схемы рабочих процессов машин без систем управления, с современной системой управления и с перспективной системой управления машиной, которая управляет не только рабочим оборудованием, но и движением самой машины. На основании анализа была предложена двухуровневая структур-

ная схема перспективной системы автономного управления дорожно-строительными машинами и вариант комплекта аппаратуры для технической реализации. Создание такой системы управления позволит исключить человека-оператора из контуров управления, реализовать принципиально новый научно-обоснованный подход к управлению дорожно-строительными машинами.

В качестве задач дальнейших исследований можно выделить: разработку математических моделей рабочих процессов дорожно-строительных машин; определение основных закономерностей процессов, протекающих в сложных динамических системах; разработка методов определения координат дорожно-строительных машин и их рабочего оборудования, оптимизации траектории движения по площадке, определения количества рабочих проходов.

Список литературы

1. Кононыхин Б.Д. Лазерные системы управления машинами дорожного строительства. М.: Машиностроение, 1990. 304 с.
2. Кoryтов М.С., Щербakov В.С., Сухарев Р.Ю. Способ определения координат дорожных и строительных машин на поверхности земли на основе расстояний до трех спутников // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 5(51). С. 18-24.
3. Патент № 2794670 С1 Российская Федерация, МПК E01C 19/00, B60W 60/00. Система автономного управления дорожно-строительной машины: № 2022128549: заявл. 03.11.2022; опубл. 24.04.2023 / Р.Ю. Сухарев, С.В. Сухарева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет.
4. Сухарев Р.Ю. Анализ систем управления дорожно-строительных машин и направления дальнейшего развития // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сб. мат. V Нац. научно-практич. конф., Омск, 28 апреля–29 2022 года. Омск: Си-

References

1. Kononikhin B.D. Laser control systems for road construction machines. Mashinostroenie, Moscow, 1990. 304 p. (In Russian)
2. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Sukharev R.Yu. A method for determining the coordinates of road and construction vehicles on the Earth's surface based on distances up to three satellites. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii*, 2016, No 5(51), pp. 18-24. (In Russian)
3. Patent RU 2794670. *Sistema avtonomnogo upravleniya dorozhno-stroitelnoy mashiny* [The discharge device]. Sukharev R.Yu., Sukhareva S.V. Declared 03.11.2022. Published 24.04.2023. Bulletin No. 12. (In Russian)
4. Sukharev R.Yu. Analysis of control systems of road-building machines and the direction of further development. *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitelstvo: Sbornik materialov V Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Omsk, 2022, pp. 98-104. (In Russian)
5. Sukharev R.Yu. Mathematical models of

бирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2022. С. 98-104.

5. Сухарев Р.Ю. Математические модели процессов поворота колесных дорожно-строительных машин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 259-269. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-259-269.

6. Сухарев Р.Ю. Методы управления курсом движения беспилотного автогрейдера // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19, № 1(83). С. 48-60. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-1-48-60.

7. Сухарев Р.Ю. Перспективы создания систем автономного управления дорожно-строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2022. № 2. С. 3-10.

8. Сухарев Р.Ю., Корчагин П.А. Принципы управления беспилотной дорожно-строительной машиной // Строительные и дорожные машины. 2022. № 9. С. 27-32.

9. Поддубный В.И., Павлюк А.С., Шапошников Ю.А., Ковалев И.М. Управление движением колесного трактора с использованием спутниковых радионавигационных систем // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 46-49.

10. Щербakov В.С., Сухарев Р.Ю., Кorytov М.С. Развитие теории оптимального управления дорожными и строительными машинами на основе систем спутниковой навигации. Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2017. 155 с.

the processes of turning wheeled road-building machines. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No. 3, pp. 259-269. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-259-269. (In Russian)

6. Sukharev R.Yu. Methods of controlling the course of movement of an unmanned grader. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii*, 2022, No. 1(83), pp. 48-60. (In Russian)

7. Sukharev R.Yu. Prospects for the creation of autonomous control systems of road-building machines. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2022, No. 2, pp. 3-10. (In Russian)

8. Sukharev R.Yu., Korchagin P.A. Principles of management of an unmanned road-building machine. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2022, No. 9, pp. 27-32. (In Russian)

9. Poddubny V.I., Pavlyuk A.S., Shaposhnikov Yu.A., Kovalev I.M. Motion control of a wheeled tractor using satellite radio navigation systems. *Traktory i selhozmashiny*, 2016, No. 2, pp. 46-49. (In Russian)

10. Shcherbakov V.S., Sukharev R.Yu., Korytov M.S. Development of the theory of optimal control of road and construction vehicles based on satellite navigation systems. Омск, Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya (SibADI), 2017. 155 p.

УДК (UDC) 551.582.1:551.506.3

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ИХ СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В
УЩЕЛЬЕ ГУШАРЫ БАССЕЙНА РЕКИ ВАРЗОБ (ТАДЖИКИСТАН)METEOROLOGICAL CONDITIONS AND THEIR SEASONAL DISTRIBUTION IN
THE GUSHARY GORGE OF THE VARZOB RIVER BASIN (TAJIKISTAN)Норматов И.Ш., Сабурова Г.Н.
Normatov I. Sh., Saburova G.N.Таджикский национальный университет (Душанбе, Таджикистан)
Tajik National University (Dushanbe, Tajikistan)

Аннотация. Представлены результаты мониторинга метеорологических условий средней части бассейна реки Варзоб ущелье Гушары. Показано, что за период 1946 – 2021 гг атмосферные осадки сохраняют почти постоянное значение и среднегодовая температура характеризуется возрастающим трендом. Сезонное распределение температуры и атмосферных осадков в ущелье Гушары бассейна реки Варзоб, характеризуется тем, что максимальное значение осадков соответствует весеннему сезону при максимальных значениях температуры в летний сезон. Установлено, что среднегодовая температура в летний сезон в ущелье Гушары не превышает 25°C, что связано с предохранением высокими горными хребтами ущелья от проникновения воздушных масс. Исследованием и сравнением значений эвапотранспирации в ущелье за 1950 и 2021 годы показано, что за более семидесятилетний период существенных изменений в эвапотранспирации не происходило.

Ключевые слова: эвапотранспирация, температура, атмосферные осадки, бассейн реки Варзоб, Гушары, корреляция.

Дата получения статьи: 20.12.2023
Дата принятия к публикации: 16.01.2024
Дата публикации: 25.03.2024

Сведения об авторах:

Норматов Ином Шерович – профессор, член-корреспондент Национальной Академии наук Таджикистана, заведующий кафедрой Метеорологии и климатологии Физического факультета Таджикского национального университета,
e-mail: inomnor@gmail.com

ORCID:0000-0001-5474-584X

Сабурова Гурдофарид Накимовна – соискатель кафедры экологии Биологического факультета Таджикского национального университета, e-mail: umarova52@gmail.com

Abstract. The results of monitoring meteorological conditions in the middle part of the Varzob river basin in the Gushary gorge are presented. It is shown that for the period 1946 – 2021, atmospheric precipitation remains almost constant and the average annual temperature is characterized by an increasing trend. The seasonal distribution of temperature and atmospheric precipitation in the Gushary gorge of the Varzob river basin is characterized by the fact that the maximum precipitation corresponds to the spring season with maximum temperature in the summer season. It has been established that the average long-term temperature in the summer season in the Gushary gorge does not exceed 25 °C that is due to the protection of the gorge from the penetration of air masses by high mountain ranges. A study and comparison of evapotranspiration in the gorge for 1950 and 2021 showed that for the period of more than seventy years there have been no significant changes in evapotranspiration.

Keywords: evapotranspiration, temperature, precipitation, Varzob river basin, Gushary, correlation.

Date of manuscript reception: 20.12.2023
Date of acceptance for publication: 16.01.2024
Date of publication: 25.03.2024

Authors' information:

Inom Sh. Normatov – Professor, Corresponding member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of Meteorology and Climatology Department of the Physics Faculty of the Tajik National University, e-mail: inomnor@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5474-584X

Gurdofarid N. Saburova – applicant for the Department of Ecology, Faculty of Biology, Tajik National University, e-mail: umarova52@gmail.com

1. Введение

Таблица 1

Основные характеристики изучаемых водосборов

Бассейн реки	Пл-дь, км ²	Сред. Высо-та, м н.у.м	Ср. год. атм. осадки, мм	Ср. год. Тем-па, °С	Расход воды, м ³ /с
Исфара	3200	2266	440	6.4	14.0
Зеравшан	10200	2943	451	3.8	155.8
Тупаланг	2630	1786	405	7.1	23.5
Каферниган	3216	2673	677	5.3	95.5
Мургаб	35963	1694	308	12.8	51.2

Бассейн реки Каферниган расположен в Центральной Азии, между 37° и 39° северной широты и 68° и 70° восточной долготы. Это один из северо-западных притоков Амударьи и трансграничная река между Таджикистаном и Узбекистаном. Климат бассейна реки Каферниган континентальный с преобладанием западных ветров, с очень высокой локальной контрастностью из-за географического рельефа. Бассейн реки Каферниган занимает на большинстве территорий горный климат, для которого характерны умеренные зимы в гористой расчлененной местности, холодные зимы в горных районах и летние сезоны с относительно большими годовыми колебаниями температуры [1].

Прогнозируется, что будущие изменения среднегодовой температуры над Центральной Азией будут выше по сравнению со средним глобальным значением, с увеличением более чем на 5°C к концу столетия и до 6,5°C в летние месяцы в соответствии с RCP 8.5 [2, 3].

Прогнозируемые изменения количества осадков не имеют четкой тенденции. Некоторые исследования по бассейну Амударьи указывают на неопределенную или небольшую тенденцию к увеличению. Например, небольшое увеличение от 3 до 4% к 2050 году в верховьях бассейна реки Амударья [4].

В [5] проведена оценка воздействия изменения климата на наличие воды в речных бассейнах Исфара, Каферниган, Тупалангдэрья (Тупаланг) и Зеравшан с использованием эколого-гидрологической модели SWIM, созданной, откалиброванной и проверенной для каждого из рассматриваемых речных бассейнов, разработанной GCM (глобальные климатические модели) с поправкой на предвзятость в соответствии с двумя сценариями RCP (репрезентативный путь концентрации) до конца столетия.

Самым южным пилотным водосбором является Мургаб, берущий начало в высокогорье Афганистана и впадающий в пустыню Каракумы. Этот водосбор имеет самый сухой и жаркий климат среди изучаемых нами речных водосборов. Основные характеристики водосборов представлены в табл. 1.

Сезонное распределение осадков также имеет некоторые региональные аспекты в зависимости от водосбора. На водосборе реки Мургаб наибольшее количество осадков выпадает в феврале–марте, а на остальных водосборах – в весенние месяцы.

Высота и географический аспект оказывают существенное влияние на гидрологический цикл и условия водосборов рек. Например, река Каферниган берет свое начало на Гиссарском хребте, где граничит с Зеравшаном, но водосборный бассейн Каферниган имеет южное направление, что обуславливает более высокую температуру и количество осадков. Каферниган имеет ниво-ледниковый режим стока. Зеравшанский водосбор имеет северное расположение, сравнительно меньше осадков, более низкую среднюю температуру и гляционивальный режим речного стока [5].

Согласно климатическим сценариям пяти моделей ISIMIP, среднегодовая температура увеличивается во всех водосборах по обоим сценариям RCP с 1,2°C в ближайшем будущем до 5,7°C в отдаленном будущем, при этом изменения в рамках RCP 8.5 будут более значительными по сравнению с RCP 4.5 [5].

Прогнозируемые изменения годового количества осадков качественно различаются между выбранными речными бассейнами, как и температура, с некоторым увеличением в северных и уменьшением в южных и центральных водосборах. Для самого южного водосбора – Мургаба – по обоим RCP прогнозируется явный отрицательный тренд го-

довых осадков до 15,1 % по RCP 8,5 в отдаленной перспективе. Для остальных водосборов центральной части исследуемого региона прогнозируются лишь незначительные изменения (табл. 2).

Таблица 2

Изменения среднегодовой температуры и осадков на пяти речных водосборах за периоды 2011-2040, 2041-2070 и 2070-2100 относительно периода 1981-2010 гг в рамках RCP 4.5 и RCP 8.5

Бассейн	RCP	ΔT, °C			ΔP, %		
		2011-2040	2041-2070	2070-2100	2011-2040	2041-2070	2070-2100
Исфара	RCP 4.5	1.2	2.4	3.1	0.9	1.8	1.9
Зеравшан	RCP 4.5	1.2	2.4	3.1	0.6	0.3	-0.4
Тупаланг	RCP 4.5	1.2	2.4	3.0	0.5	-0.3	-1.7
Каферниган	RCP 4.5	1.2	2.5	3.2	1.3	0.8	-0.1
Мургаб	RCP 4.5	1.2	2.3	3.0	-1.0	-5.9	-8.3
Исфара	RCP 8.5	1.5	3.4	5.6	-3.6	-1.3	-2.0
Зеравшан	RCP 8.5	1.5	3.3	5.5	-5.8	-2.8	-4.0
Тупаланг	RCP 8.5	1.5	3.2	5.3	-7.0	-3.7	-4.6
Каферниган	RCP 8.5	1.6	3.5	5.7	-5.3	-1.9	-2.9
Мургаб	RCP 8.5	1.5	3.3	5.5	-12.8	-10.1	-15.1

В целом, наибольшие сокращения ожидаются для водосборов центральной части в июле и сентябре в среднесрочной перспективе и в июне-июле в отдаленной перспективе при RCP 8,5, а также для Мургаба в летние месяцы.

Результаты [5], основанные на GCMs, показывают повышение среднегодовой температуры во всех изучаемых водосборах до конца столетия, которое подтверждается и другими исследованиями [6,7]. Повышение температуры приводит к уменьшению снегонакопления в холодное время года и повышенное испарение летом. В некоторых регионах подобные изменения могут быть выгодны для сельскохозяйственного производства за счет удлинения вегетационного периода [8]. С другой стороны, увеличение потенциальной эвапотранспирации в результате повышения температуры при том же

уровне фактической эвапотранспирации, ограниченной наличием воды, может привести к увеличению потребности в воде в регионе.

Ранее [9] изучением динамики метеорологических характеристик бассейна реки Майхура за период 1962 – 2022 гг было обнаружено повышение температуры бассейна и появление экстремумов в динамиках температуры и атмосферных осадков, т.е. переход монотонного уменьшения и повышения атмосферных осадков и температуры соответственно на более интенсивное изменение, которое предполагалось о влияние изменения климата на микроклимат бассейна реки Майхура в частности и бассейна реки Варзоб в целом.

Река Варзоб является одной из главных притоков реки Каферниган и водные ресурсы, формируемые в бассейне, вносит существенный вклад в водности реки Каферниган. Это в свою очередь, зависит от метеорологических условий бассейна реки Варзоб. Последовательный мониторинг метеорологических условий бассейна реки Варзоб и ее притоков важен также с точки зрения оповещения и нейтрализации чрезвычайных природных явлений, бассейн, который благодаря орографическим особенностям часто подвержен риску наводнений и схода снежных лавин.

Цель работы заключается в мониторинге метеорологических условий бассейна реки Варзоб, изучение сезонного распределения атмосферных осадков по данным метеорологической станции Хушери за период 1964 – 2022 гг.

2. Методы исследований

Были использованы среднемесячные значения атмосферных осадков за период 1946-2021 гг. метеорологической станции Хушери (1359 м н.у.м.). Для оценки взаимосвязи значений атмосферных осадков с температурой на метеорологической станции Хушери бассейна реки Варзоб использовалась корреляция Пирсона.

3. Результаты и обсуждение

На рис.1 представлена динамика изменения температуры и атмосферных осадков в ущелье Гушары.

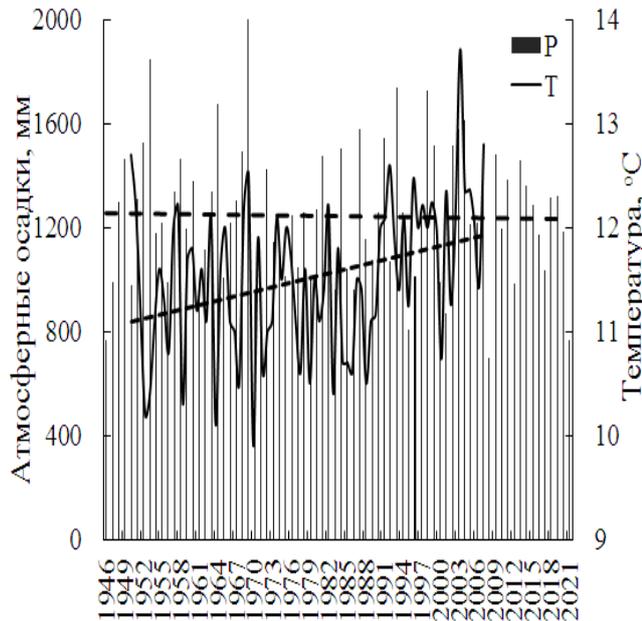


Рис. 1. Динамика температуры и осадков по данным метеостанции Гушары за период 1946 – 2021 гг

Как следует из рис.1, изменение температуры за период 1946 – 2021 гг характеризуется возрастающим трендом при этом атмосферные осадки сохраняют почти постоянное значение. Это в более наглядной форме видно также из рис. 2.

В работе [9] было показано, что по данным метеорологической станции Майхура атмосферные осадки проявляли убывающий характер изменения. Основываясь на результатах работы [9], можно утверждать, что постоянство атмосферных осадков в ущелье Гушары не связано с влиянием внешней воздушной массы.

Скорее всего, локальные метеорологические явления, а именно образование большой разницы теплой дневной и холодной ночной температуры в ущелье Гушары становится причиной генерации конденсационных процессов и выпадения осадков. В дневное время происходит обильное испарение с формирование достаточной влажности и влияние гор, узкое и ущелье с крутыми, зачастую

отвесными бортами, сказывается также в наличии высотной климатической зональности, образовании горно-долинной циркуляции, способствующей перераспределению влаги внутри горной системы.

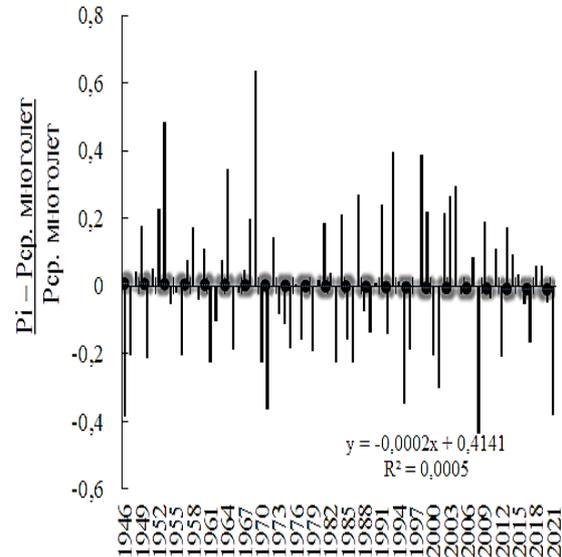


Рис. 2. Динамика атмосферных осадков в ущелье Гушары по отношению к многолетнему значению

отвесными бортами, сказывается также в наличии высотной климатической зональности, образовании горно-долинной циркуляции, способствующей перераспределению влаги внутри горной системы.

Сезонное распределение температуры и атмосферных осадков в ущелье Гушары бассейна реки Варзоб, как следует из рис. 3, характеризуется тем, что максимальное значение осадков соответствует весеннему сезону при максимальных значениях температуры в летний сезон. Из рис. 3 видно, что средне-многолетняя температура в летний сезон не превышает 25°C и это свидетельствует о создании преграды высокими горными хребтами к проникновению в ущелье воздушных масс. Это послужило тем, что ущелье Гушары превратилось в природную лабораторию для исследований растительного мира Таджикистана.

Известно, что для сохранения биоразнообразия и селекции лекарственных растений наряду с остальными необходимыми условиями важным аспектом является сохранение баланса влажности и водообеспеченнос-

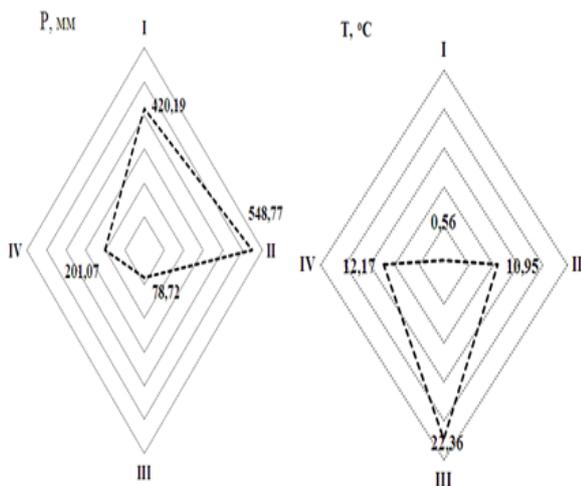


Рис. 3. Сезонное распределение температуры и атмосферных осадков в ущелье Гушары Бассейна реки Варзоб

сти их корневых систем. Пока единственным методом в этом направлении считается расчет эвапотранспирации и определения ее соотношения с выпавшим атмосферной осадкой. Ниже приводятся результаты расчетных значений эвапотранспирации с использованием данных метеорологической станции Гушары для 1950 и 2021 гг (рис.4).

Следует отметить, что за период 1950-2021 гг эвапотранспирация в ущелье Гушары увеличилась лишь на 3%. Это подтверждает вышеприведенную мысль о том, что ущелье Гушары в метеорологическом аспекте является неким анклавом в бассейне реки Варзоб, обусловленным локальными физическими и климатическими условиями.

4. Заключение

Показано, что за период 1946 – 2021 гг в ущелье Гушары атмосферные осадки сохраняют почти постоянное значение и среднегодовая температура характеризуется возрастающим трендом.

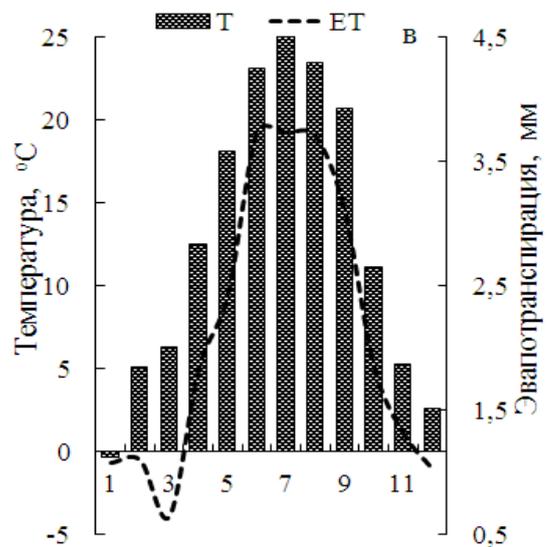
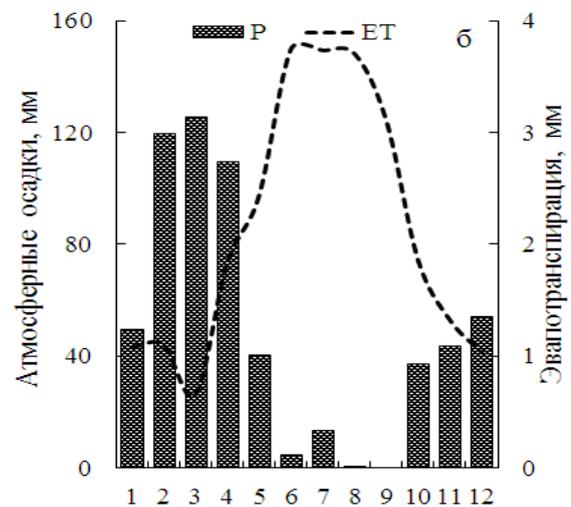
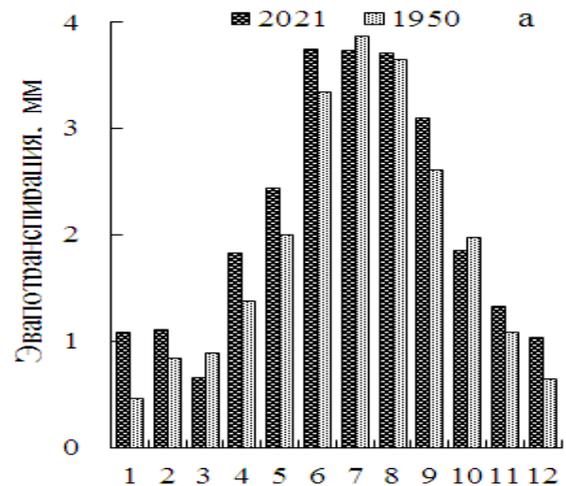


Рис.4. Эвапотранспирация в ущелье Гушары в 1950 и 2021 гг (а) и ее характерная зависимость от среднемесячных значений осадков (б) и температуры (в)

Список литературы

1. Гулахмадов Н.А., Янинг Чен. Анализ многолетних трендов температуры в бассейне реки Кафирниган в Таджикистане // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. № 2. С. 189-206. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-64-70.
2. Reyer C.P., Otto I.M., Adams S., Albrecht T., Baarsch F., Carlsburg M., Coumou D., Eden A., Ludi E., Marcus R., Mengel M., Mosello B., Robinson A., Schleussner C. F., Serdeczny O., Stagl J. Climate change impacts in Central Asia and their implications for development // *Reg. Environ. Change*. 2015. Vol. 17. С. 1639–1650. DOI:10.1007/s10113-015-0893-z.
3. White C.J., Tanton T.W., Rycroft D.W., 2014. The impact of climate change on the water resources of the Amu Darya Basin in Central Asia // *Water Resour. Manag.* 2014. 28 (15). С. 5267–5281. DOI: 10.1007/s11269-014-0716-X.
4. Hagg W., Hoelzle M., Wagner S., Mayr E., Klose Z. Glacier and runoff changes in the Rukhk catchment, upper Amu-Darya basin until 2050 // *Glob. Planet. Change*. 2013. T.110. С. 62–73. DOI:10.1016/j.gloplacha.2013.05.005
5. Didovets I., Lobanova A., Valentina Krysanova V., Menz Ch., Babagalieva Z., Nurbatsina A., Gavrilenko N., Khamidov V., Umirbekov A., Qodirov S., Muhyyew D., Hattermann F. Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representatives' catchments // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2021. 34. С. 100779. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100779.
6. Gan R., Luo Y., Zuo Q., Sun L. 2015. Effects of projected climate change on the glacier and runoff generation in the Naryn River Basin, Central Asia // *J. Hydrol.* 2015. T. 523. С. 240–251. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.057
7. Ozturk T., Turp M.T., Türkes M., Kurnaz M.L. 2017. Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5 // *Atmos. Res.* 2017. 183, 296–307. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.09.008.
8. Lobanova A., Didovets I., Menz C., Umirbekov A., Babagalieva Z., Hattermann F.,

References

1. Gulahmadov N.A., Chen Y. Analysis of the long-term temperature trends in the Kofarnihon river basin in Tajikistan. *Nauchno-tekhnichestkiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, No.2, pp. 189-206. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-64-70. (In Russian)
2. Reyer C.P., Otto I.M., Adams S., Albrecht T., Baarsch F., Carlsburg M., Coumou D., Eden A., Ludi E., Marcus R., Mengel M., Mosello B., Robinson A., Schleussner C. F., Serdeczny O., Stagl J. Climate change impacts in Central Asia and their implications for development. *Reg. Environ. Change*, 2015, 17, 1639–1650. DOI: 10.1007/s10113-015-0893-z.
3. White C.J., Tanton T.W., Rycroft D.W., 2014. The impact of climate change on the water resources of the Amu Darya Basin in Central Asia. *Water Resour. Manag.*, 2014, 28 (15), pp. 5267–5281. DOI: 10.1007/s11269-014-0716-X.
4. Hagg W., Hoelzle M., Wagner S., Mayr E., Klose Z. Glacier and runoff changes in the Rukhk catchment, upper Amu-Darya basin until 2050. *Glob. Planet. Change*, 2013, 110, pp. 62–73. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.05.005.
5. Didovets I., Lobanova A., Valentina Krysanova V., Menz Ch., Babagalieva Z., Nurbatsina A., Gavrilenko N., Khamidov V., Umirbekov A., Qodirov S., Muhyyew D., Hattermann F. Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representatives' catchments. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2021, 34, pp. 100779. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100779.
6. Gan R., Luo Y., Zuo Q., Sun L. 2015. Effects of projected climate change on the glacier and runoff generation in the Naryn River Basin, Central Asia. *J. Hydrol.*, 2015, 523, pp. 240–251. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.057.
7. Ozturk T., Turp M.T., Türkes M., Kurnaz M.L. 2017. Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5. *Atmos. Res.*, 2017, 183, pp. 296–307. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.09.008.
8. Lobanova A., Didovets I., Menz C., Umirbekov A., Babagalieva Z., Hattermann F.,

Сетевое издание
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Брянского государственного университета

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /
НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

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> 25.03.2024 г.