

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 2 (52)

И Н Н О Т Р А Н С

июнь 2024



**Кафедре «Электроснабжение транспорта»
Уральского государственного университета
путей сообщения – 65 лет!**

Расчет полных сопротивлений
тяговой сети систем
электроснабжения

Применение нейронных
сетей для диагностики
устройств контактной сети

Проверка состояния
контактной сети
с помощью БПЛА



ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

ДАТА ОСНОВАНИЯ — 1991 год

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ — объединение ученых, специалистов и руководителей

ПРИОРИТЕТНАЯ ЗАДАЧА —
проведение исследовательских
и научно-технических работ

БОЛЕЕ **660** УЧЕНЫХ
540 ДОКТОРОВ НАУК
БОЛЕЕ **120** КАНДИДАТОВ НАУК
400 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ

- **НАУЧНОЕ И ЭКСПЕРТНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ**
- **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ**
- **РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ**

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:

- > Разработка и внедрение инновационных технологий в сфере транспорта
- > Разработка научно-технических обоснований и специальных технических условий
- > Научное сопровождение транспортной стратегии РФ
- > Взаимодействие транспорта регионов страны
- > Взаимодействие с бизнес-сообществом
- > Экспертиза взаимодействия видов транспорта

КТО МОЖЕТ СТАТЬ ЧЛЕНОМ АКАДЕМИИ?

РОССИЙСКИЙ или **ИНОСТРАННЫЙ**
гражданин, имеющий ученую степень:

- доктора транспорта
- кандидата наук
- доктора наук



2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ОТДЕЛЕНИЯ

47 РЕГИОНАЛЬНЫХ
ОТДЕЛЕНИЙ

Аппарат Российской академии транспорта:

107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, 11 этаж
+7 (495) 970-74-09
info@rosacademtrans.ru
www.rosacademtrans.ru

Уральское межрегиональное отделение:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, УрГУПС
+7 (922) 205-95-92, факс: (343) 221-24-67
anna-volinskaya@mail.ru
www.uralakademia.ru

Инновационный транспорт (Иннотранс)

Научно-публицистическое издание

№ 2 (52), 2024 г.

Издается с ноября 2011 г.

Учредители: Российская академия транспорта (РАТ),
Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

Главный редактор Александр Геннадьевич Галкин, д-р техн. наук,
профессор, ректор УрГУПС, председатель Уральского отделения РАТ

Научный редактор Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук,
профессор, действительный член РАТ

Редактирование и корректура — Елена Владимировна Чагина

Верстка и дизайн — Андрей Викторович Трубин

Адрес редакции и издателя: 620034, г. Екатеринбург,
ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.
Веб-сайт: www.usurt.ru, e-mail: innotrans@mail.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Роскомнадзора ПИ № ФС 77-46984 от 14 октября 2011 г.

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.
Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков
и знаков обслуживания РФ 14.09.2016 г.

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге
«Пресса России» — 85022. Цена 685,64 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X

Изготовлено в ИБК УрГУПС,
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66.

Подписано в печать 28.06.2024. Дата выхода в свет 15.07.2024

Формат 60×90/8. Тираж 250 экз. (1-й з-д 1–80). Заказ № 31

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет
путей сообщения», 2024

© Общероссийская общественная организация
«Российская академия транспорта», 2024

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Александр Геннадьевич Галкин, доктор технических наук, профес-
сор, главный редактор журнала «Инновационный транспорт», дей-
ствительный член РАТ, ректор Уральского государственного универ-
ситета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Рольф Эпштайн, доктор технических наук, Siemens (Германия).

Денис Викторович Ломотько, доктор технических наук, академик
Транспортной академии Украины, профессор Украинского госу-
дарственного университета железнодорожного транспорта, Харь-
ков (Украина).

Маргарита Булатовна Имандосова, доктор технических наук, про-
фессор, проректор по научной работе Каспийского государствен-
ного университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова,
Актау (Казахстан).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Дмитрий Германович Неволин, доктор технических наук, профессор,
научный редактор журнала «Инновационный транспорт», действи-
тельный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и экс-
плуатация автомобилей» Уральского государственного университе-
та путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Петр Алексеевич Козлов, доктор технических наук, профессор, дей-
ствительный член РАТ, директор научно-производственного холдин-
га «Стратег», Москва (Россия).

Михаил Ростиславович Якимов, доктор технических наук, действи-
тельный член РАТ, директор Института транспортного планирования
Российской академии транспорта, Москва (Россия).

Валерий Михайлович Самуилов, доктор технических наук, действи-
тельный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и ло-
гистика» Уральского государственного университета путей сообще-
ния, Екатеринбург (Россия).

Игорь Александрович Тараторкин, доктор технических наук, дей-
ствительный член РАТ, профессор кафедры «Гусеничные машины»
Курганского государственного университета, заведующий Курган-
ским отделом механики транспортных машин Института машино-
ведения УрО РАН, Курган (Россия).

Елена Николаевна Тимухина, доктор технических наук, профессор,
действительный член РАТ, заведующая кафедрой «Управление экс-
плуатационной работой» Уральского государственного университе-
та путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 2 (52), 2024

Published since November 2011

Founders: Russian Academy of transport (RAT),
Ural state University of railway transport (USURT)

Editor-in-chief Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor,
Rector of USURT, Chairman of RAT Ural Department

Scientific editor Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor,
full member of RAT

Editing and proofreading — Elena V. Chagina

Layout and design — Andrey V. Trubin

Address of the editorial office:

66 Kolmogorova Str., Ekaterinburg, 620034.

Telephone: (343) 221-24-42, 221-24-90.

Web-site: www.usurt.ru. E-mail: innotrans@mail.ru

Mass media registration certificate of Roskomnadzor PI No. FS 77-46984
dated October 14, 2011

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue
“Russian Press” — 85022.

Released for printing on 28.06.2024. Date of issue 15.07.2024

Format 60×90/8. Circulation 250 copies

© Ural State University of Railway Transport, 2024

© All-Russian Public Organisation “Russian Academy of Transport”, 2024

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor, Editor-in-Chief
of Innotrans magazine, full member of RAT, Rector of the Ural State
University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

Rolf Epstein, DSc in Engineering, Siemens (Germany).

Denis V. Lomotko, DSc in Engineering, Academician of the Transport
Academy of Ukraine, professor of the Ukrainian State University
of Railway Transport, Kharkov (Ukraine)

Margarita B. Imandosova, DSc in Engineering, Professor,
vice-rector for academic affairs of the Caspian State University
of Technologies and Engineering named after S. Yesenov,
Aktau (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor, full member of
RAT, Scientific Editor of Innotrans journal, Head of Car Design and
Operation Chair, Ural State University of Railway Transport (USURT),
Ekaterinburg (Russia).

Pyotr A. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT,
Director of Scientific Production Holding Strateg, Moscow (Russia).

Mikhail Rostislavovich Yakimov, DSc in Engineering, full member of
RAT, Director of the Institute of Transport Planning of the Russian
Academy of Transport, Moscow (Russia).

Valery M. Samuilov, DSc in Engineering, full member of RAT,
Professor, Logistics and World Economy Chair, Ural State University
of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, (Russia).

Igor A. Taratorkin, DSc in Engineering, Professor of “Track Machines”
Department at Kurgan State University, member of the Russian
Academy of Transport, Institute of Mechanical Engineering Ural
Branch of Russian Academy of Sciences, Head of the Mechanics
of transport vehicles office, Kurgan (Russia).

Elena N. Timukhina, DSc in Engineering, Professor,
member of Russian Academy of Transport, Head of “Field operation
management” department of the Ural State University of Railway
Transport, Ekaterinburg, (Russia).

СОДЕРЖАНИЕ

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Лебедев Е. В., Штин А. Н., Лесников Д. В. Расчет полных сопротивлений тяговой сети систем электроснабжения 25 кВ и 2×25 кВ	3
Бойчук А. А., Галкин А. Г. Применение нейронных сетей для диагностики устройств контактной сети: современные подходы и перспективы	10
Ковалев А. А., Максимов А. А., Микава А. В. Методология диагностических испытаний центrifугированных железобетонных опор контактной сети.	13
Ильин В. О., Штин А. Н., Шумаков К. Г., Фролов Л. А. Конструкции распределительных устройств 35 кВ тяговых подстанций, расположенных в районах технологических агрессивных сред.	16
Ковалев А. А., Повод А. А., Аксенов Н. А. Проверка состояния изолирующих и неизолирующих сопряжений контактной сети с применением беспилотных летательных аппаратов.	22
Смолянинов А. В., Баранов Д. А., Колясов К. М. Погонная нагрузка как фактор увеличения провозной способности железных дорог	26

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Капский П. Д., Ивуть Р. Б. Сравнительный анализ потенциала экспедиторов и логистических операторов на рынке транспортно-логистических услуг Республики Беларусь	34
Мартыненко А. В., Плотников Д. С. Моделирование объемов отправок городского общественного транспорта.	37
Дмитриев Н. В., Медведев М. Е. Использование внешней системы компьютерного зрения для управления группой мобильных роботов	43
Коваленко В. Н. Метод оптимизации алгоритма поиска неисправностей.	48

Эксплуатация автомобильного транспорта

Тарасян В. С., Митин Н. Д. Аппаратный уровень системы управления роботизированной коробкой переключения передат автомобиля класса «Формула Студент».	56
Тарасян В. С., Фоминцев А. А. Моделирование тяговой системы трактора с коробкой передач без разрыва потока мощности.	61

CONTENTS

Rolling stock, hauling operation and electrification

Egor V. Lebedev, Andrej N. Shtin, Dmitrij V. Lesnikov. Calculation of the total resistances for the traction network of 25 kV and 2 25 kV power supply systems	3
Aleksandr A. Bojchuk, Aleksandr G. Galkin. Application of neural networks for diagnostics of contact network devices: modern approaches and prospects	10
Aleksej A. Kovalev, Andrej A. Maksimov, Aleksandr V. Mikava. Methodology of diagnostic tests for centrifuged reinforced concrete supports of the contact network	13
Vyacheslav O. Il'in, Andrej N. Shtin, Konstantin G. Shumakov, Leonid A. Frolov. Designs of switchgears for 35 kV traction substations located in areas of technological aggressive environments	16
Aleksej A. Kovalev, Artem A. Povod, Nikita A. Aksenov. Checking the condition of insulating and non-insulating interfaces of the contact network using unmanned aerial vehicles.	22
Aleksandr V. Smol'yaninov, Dmitrij A. Baranov, Konstantin M. Kolyasov. Linear load as a factor in increasing the carrying capacity of railways	26

Transport and transport-technology system of the country, its regions and cities, manufacture organization on transport

Pavel D. Kapski, Roman B. Ivut. Comparative analysis of the potential of freight forwarders and logistics operators in the market of transport and logistics services of the Republic of Belarus	34
Aleksandr V. Martynenko, Daniil S. Plotnikov. Modeling the volume of shipments for urban public transport.	37
Nikita V. Dmitriev, Matvey E. Medvedev. Application of external computer vision system for controlling a group of mobile robots	43
Vladimir N. Kovalenko. A method for optimizing the troubleshooting algorithm	48

Operation of motor transport

Vladimir S. Tarasyan, Nikita D. Mitin. Hardware level of the control system for the robotic gearbox of the Formula Student class car	56
Vladimir S. Tarasyan, Alexander A. Fomintsev. Modeling of a tractor traction system with a powershift gearbox	61



**Егор Викторович
Лебедев**

Egor V. Lebedev



**Андрей Николаевич
Штин**

Andrej N. Shtin



**Дмитрий Валентинович
Лесников**

Dmitrij V. Lesnikov

Расчет полных сопротивлений тяговой сети систем электроснабжения 25 кВ и 2×25 кВ

Calculation of the total resistances for the traction network of 25 kV and 2×25 kV power supply systems

Аннотация

На сегодняшний день 25,7 тыс. км железнодорожных линий Российской Федерации электрифицированы по системе однофазного переменного тока промышленной частоты напряжением 25 кВ. В условиях постоянного роста грузооборота остро стоит вопрос усиления систем тягового электроснабжения, в том числе переменного тока, а также формирования направления их дальнейшего технического развития. В этих условиях актуальной задачей является разработка методики определения параметров систем тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ и 2×25 кВ с учетом применения усиливающих проводов. В статье рассматривается методика и последовательность расчета сопротивления элементов тяговой сети для двух указанных систем, представлены результаты расчета для применяемых марок проводов.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, контактный провод, несущий трос, усиливающий провод, питающий провод, полное удельное сопротивление.

Abstract

Nowadays 25.7 thousand km of railway lines of the Russian Federation have been electrified using a single-phase alternating current system of industrial frequency with a voltage of 25 kV. Conditions of constant growth of cargo turnover explain the relevance of the issue of strengthening traction power supply systems, including alternating current, as well as shaping the direction of their further technical development. Thus, an urgent task is to develop a methodology for determining the parameters of 25 kV and 2×25 kV AC traction power supply systems, taking into account the use of reinforcing wires. The article discusses the methodology and sequence of calculating the resistance of traction network elements for the two specified systems, and presents the calculation results for the applied wire grades.

Keywords: traction power supply system, contact wire, carrier cable, reinforcing wire, supply wire, total resistivity.

Авторы Authors

Егор Викторович Лебедев, студент гр. СОэ-529, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: egor12667@gmail.com | **Андрей Николаевич Штин**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: AShteen@usurt.ru | **Дмитрий Валентинович Лесников**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: DLesnikov@usurt.ru

Egor V. Lebedev, student SSe-529 group, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: egor12667@gmail.com | **Andrej N. Shtin**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: AShteen@usurt.ru | **Dmitrij V. Lesnikov**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: DLesnikov@usurt.ru

Системы тягового электроснабжения (СТЭ) переменного тока 25 кВ и 2×25 кВ играют важную роль в электроснабжении железных дорог Российской Федерации. Каждая из них обладает как преимуществами, так и недостатками [1]. Большинство участков, работающих на переменном токе, электрифицировано по системе 25 кВ. В последние годы электрификация железных дорог Восточной Сибири производится в основном по системе 2×25 кВ. В работе [2] предпринята попытка сравнения СТЭ 25 кВ и СТЭ 2×25 кВ по потерям активной мощности при допущении, что сопротивления элементов тяговой сети являются чисто активными. В статье [3] описан способ расчета полных сопротивлений подвески, состоящей из медных контактного

(КП) и усиливающего (УП) проводов, а также стального несущего троса (НТ).

В данном исследовании предлагается методика расчета полных удельных сопротивлений тяговой сети СТЭ 25 кВ и СТЭ 2×25 кВ, когда контактная сеть (КС) (контактный провод и несущий трос), а также усиливающий или питающий (ПП) провод выполнены из меди. Материалы основаны на методе, разработанном К.Г. Марквардтом [4].

В табл. 1–3 сведены величины и формулы, используемые для вывода выражений при расчете удельных сопротивлений элементов тяговой сети. Для сокращения, если какие-либо параметры в разных СТЭ отличаются друг от друга, в скобках приводятся величины и названия для СТЭ 2×25 кВ.

Таблица 1

Электрические переменные, используемые для вывода выражений

Переменная	Название
Напряжения, токи, частота	
ΔU_{KP1}	Падение напряжения в контуре КП – Р1
ΔU_{P1Y}	Падение напряжения в контуре Р1 – УП
I_K	Ток в КП
I_T	Ток в НТ
I_{KC}	Ток в КС
$I_{Y(П)}$	Ток в УП (ПП)
I_P	Ток в Р
ω	Частота питающей сети
Активные сопротивления	
r_K	КП
r_T	НТ
$r_{Y(П)}$	УП (ПП)
r_P	Р
Индуктивные сопротивления взаимной индукции между контуром	
$X_{P1Y(П)}^K$	Р1 – УП (ПП) и КП
$X_{P1Y(П)}^T$	Р1 – УП (ПП) и НТ
X_{KP1}^T	КП – Р1 и НТ
$X_{KP1}^{Y(П)}$	КП – Р1 и УП (ПП)
X_{P1K}^{P2}	КП – Р1 и Р2
$X_{P1Y(П)}^{P2}$	УП (ПП) – Р1 и Р2

Окончание табл. 1

Переменная	Название
Полные сопротивления	
$Z_{КТ}$	КП в контуре КП – НТ
$Z_{ТК}$	НТ в контуре КП – Р1
$Z_{КР1}$	КП в контуре КП – Р1
$Z_{Р1К}$	Р1 в контуре КП – Р1
$Z_{У(П)Р1}$	УП (ПП) в контуре УП (ПП) – Р1
$Z_{Р1У(П)}$	Р1 в контуре УП (ПП) – Р1
$Z_{КС}$	Эквивалентное сопротивление КС
$Z_{Р1У(П)}^{КС}$	Контур УП (ПП) – Р1 с учетом взаимоиндукции с КС
$Z_{РК}$	Эквивалентное сопротивление контура КП – Р1
$Z_{РУ(П)}$	Эквивалентное сопротивление контура УП (ПП) – Р1
Z_K	КС
$Z_{У(П)}$	УП (ПП)
Z_P	Р

Таблица 2

Геометрические переменные, используемые для вывода выражений

Переменная	Название
Расстояние между	
$d_{УТ} (d_{ПТ})$	УП (ПП) и НТ
$d_{УР1} (d_{ПР1})$	УП (ПП) и Р1
$d_{КТ}$	КП и НТ
$d_{ТР1}$	НТ и Р1
$d_{КР1}$	КП и Р1
$d_{Р1,2}$	Р1 и Р2
Радиусы	
R_K	КП
R_T	НТ
$R_{У(П)}$	УП (ПП)
R_P	Р
Площади сечения	
q_K	КП
q_T	НТ
$q_{У(П)}$	УП (ПП)

Е. В. Лебедев, А. Н. Штин, Д. В. Лесников | Расчет полных сопротивлений тяговой сети систем электроснабжения 25 кВ и 2х25 кВ

Формулы, используемые для вывода выражений и расчетов

Название величины	Формула	Номер формулы
Постоянная	$m = 2 \cdot \omega \cdot 10^{-4}$	—
Взаимоиндукция между контуром Р1 – УП (ПП) и КП	$X_{P1Y(\Pi)}^K = -(+)m \cdot \ln \frac{d_{KY(\Pi)}}{d_{KP}}$	(1)
Взаимоиндукция между контуром Р1 – УП (ПП) и НТ	$X_{P1Y(\Pi)}^T = -(+)m \cdot \ln \frac{d_{TY(\Pi)}}{d_{TP}}$	(2)
Взаимоиндукция между контуром К – Р1 и НТ	$X_{KP1}^T = m \cdot \ln \frac{d_{TP1}}{d_{TK}}$	(3)
Взаимоиндукция между контуром К – Р1 и УП (ПП)	$X_{KP1}^{Y(\Pi)} = -(+)m \cdot \ln \frac{d_{Y(\Pi)P1}}{d_{KY(\Pi)}}$	(4)
Взаимоиндукция между контуром КП – Р1 и Р2	$X_{P1K}^{P2} = m \cdot \ln \frac{d_{P2K}}{d_{P2P1}}$	(5)
Сопротивление КП в контуре НТ – КП	$Z_{KT} = r_K + j \cdot m \cdot \ln \frac{1,28d_{KT}}{R_K}$	(6)
Сопротивление КП в контуре К – Р1	$Z_{KP1} = r_K + j \cdot m \cdot \ln \frac{1,28d_{KP1}}{R_K}$	(7)
Сопротивление НТ в контуре НТ – КП	$Z_{TK} = r_T + j \cdot m \cdot \ln \frac{1,28d_{KT}}{R_T}$	(8)
Сопротивление УП (ПП) в контуре Р1 – УП	$Z_{Y(\Pi)P1} = r_Y + j \cdot m \cdot \ln \frac{1,28d_{Y(\Pi)P1}}{R_{Y(\Pi)}}$	(9)
Сопротивление Р	$Z_P = r_P + j0,75r_P$	(10)
Сопротивление Р в контуре Р1 – КП	$Z_{P1K} = Z_P + j \cdot m \cdot \ln \frac{d_{KP1}}{R_P}$	(11)
Эквивалентное сопротивление контактной сети (КС)	$Z_{KC} = \frac{Z_{KP1}Z_{TK} + Z_{KT}jX_{KP1}^T}{Z_{TK} + Z_{KT}}$	(12)
Полное сопротивление контура УП (ПП) – Р1 с учетом взаимоиндукции с КС	$Z_{P1Y(\Pi)}^{KC} = \frac{Z_{TK} \cdot jX_{P1Y(\Pi)}^K + Z_{KT} \cdot jX_{P1Y(\Pi)}^T}{Z_{TK} + Z_{KT}}$	(13)
Полное эквивалентное сопротивление контура КП – Р1	$Z_{PK} = \frac{1}{2}(Z_{P1K} + jX_{P1K}^{P2})$	(14)
Полное эквивалентное сопротивление контура УП (ПП) – Р1	$Z_{PY(\Pi)} = \frac{1}{2}(-Z_{P1Y(\Pi)} + jX_{P1Y(\Pi)}^{P2})$	(15)
Активное сопротивление медного провода сечением q	$r = \frac{18,2}{q}$	(16)

На рис. 1 представлена опора контактной сети и расположение элементов (токоведущих частей) тяговой сети для СТЭ 25 кВ и СТЭ 2×25 кВ.

На рис. 2 и 3 показаны схемы взаиморасположения элементов тяговых сетей и направлений токов в них для контура К – Р1 (рис. 2) и для контура Р1 – УП (ПП) (рис. 3).

Вначале получим аналитические выражения для определения сопротивлений элементов тяговой сети СТЭ 25 кВ. Для этого составим по второму закону Кирхгофа уравнения падений напряжения при обходе контура К – Р1 (рис. 2) и контура Р1 – УП (рис. 3).

$$\Delta U_{KP1} = Z_{KP1} I_K + jX_{KP1}^T I_T + Z_{P1K} \frac{I_P}{2} + jX_{P1K}^{P2} \frac{I_P}{2} + jX_{KP1}^Y I_Y; \quad (17)$$

$$\Delta U_{P1Y} = -Z_{P1Y} \frac{I_P}{2} - Z_{Y P1} I_Y - jX_{P1Y}^{P2} \frac{I_P}{2} + jX_{P1Y}^K I_K + jX_{P1Y}^T I_T. \quad (18)$$

Так как $I_{KC} = I_K + I_T$, то

$$I_T = \frac{Z_{KT}}{Z_{TK} + Z_{KT}} I_{KC}; \quad I_K = \frac{Z_{TK}}{Z_{TK} + Z_{KT}} I_{KC}; \quad I_K = \frac{Z_{TK}}{Z_{KT}} I_T. \quad (19)$$

Соотношения (19) с учетом формул (12) и (13) можно использовать для упрощения выражений (17) и (18). Поэтому преобразуем первые два слагаемых в (17) и последние два слагаемых в (18) следующим образом:

$$\begin{aligned} I_K Z_{KP1} + I_T jX_{KP1}^T &= I_{KC} \frac{Z_{KP1} Z_{TK}}{Z_{TK} + Z_{KT}} + I_{KC} \frac{Z_{KT} jX_{KP1}^T}{Z_{TK} + Z_{KT}} = \\ &= I_{KC} \frac{Z_{KP1} Z_{TK} + Z_{KT} jX_{KP1}^T}{Z_{TK} + Z_{KT}} = I_{KC} Z_{KC}. \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} jX_{P1Y}^K I_K + jX_{P1Y}^T I_T &= jX_{P1Y}^K I_{KC} \frac{Z_{TK}}{Z_{TK} + Z_{KT}} + jX_{P1Y}^T I_{KC} \frac{Z_{KT}}{Z_{TK} + Z_{KT}} = \\ &= I_{KC} \frac{Z_{TK} jX_{P1Y}^K + jX_{P1Y}^T Z_{KT}}{Z_{TK} + Z_{KT}} = I_{KC} Z_{P1Y}^{KC}. \end{aligned} \quad (21)$$

Учитывая (20) и (21), а также формулы (14) и (15), запишем выражения (17) и (18) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta U_{KP1} &= Z_{KC} I_{KC} + Z_{PK} I_P + jX_{KP1}^Y I_Y; \\ \Delta U_{P1Y} &= -Z_{PY} I_P - Z_{Y P1} I_Y + Z_{P1Y}^{KC} I_{KC}. \end{aligned} \quad (22)$$

В дальнейшем необходимо привести выражения (22) к виду, в котором падения напряжения в рассматриваемом контуре будут определяться только токами, протекающими непосредственно в рассматриваемом контуре, и сопротивлениями элементов тяговой сети, в которых уже будет учитываться взаимное влияние проводов друг на друга. Для указанных преобразований необходимо принять допущение, что ток в земле будет равен нулю. Тогда $I_{KC} - I_P + I_Y = 0$.

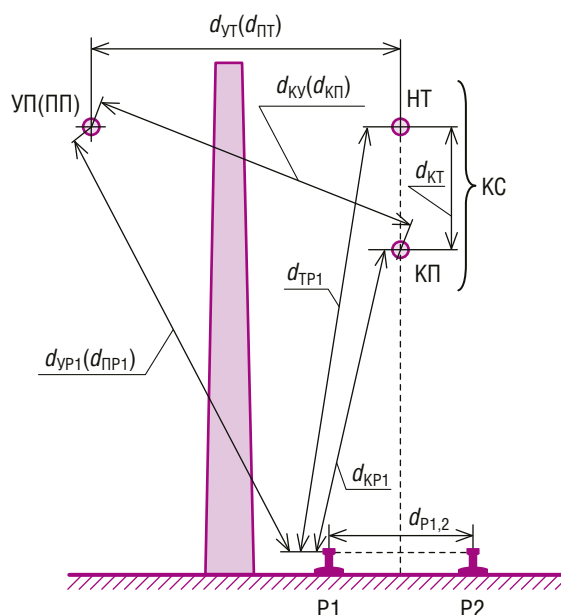


Рис. 1. Расположение в пространстве элементов тяговых сетей СТЭ 25 кВ (СТЭ 2×25 кВ):

КП — контактный провод; НТ — несущий трос;

КС — контактная сеть (КП+НТ);

УП (ПП) — усиливающий (питающий) провод;

Р1 и Р2 — первый и второй рельсы соответственно

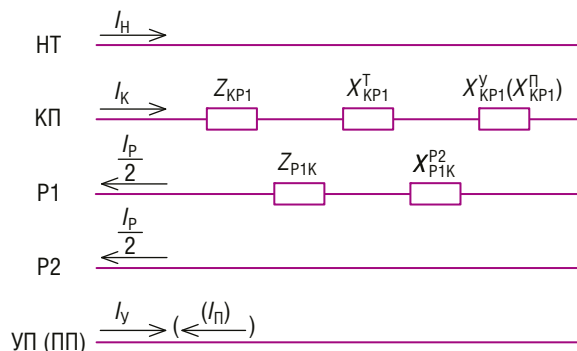


Рис. 2. Схема взаимного расположения токоведущих частей тяговых сетей СТЭ 25 кВ (СТЭ 2×25 кВ) и направлений токов в них для контура К – Р1

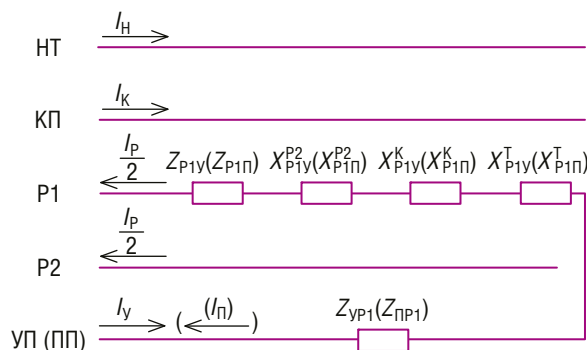


Рис. 3. Схема взаимного расположения токоведущих частей тяговых сетей СТЭ 25 кВ (СТЭ 2×25 кВ) и направлений токов в них для контура Р1 – УП (ПП)

С помощью последнего выражения можно выразить I_P и I_Y соответственно, что, в свою очередь, позволит сократить количество переменных в выражениях (22). Для этого в первом уравнении (22) необходимо заменить I_Y , а во втором — I_{KC} и привести подобные. В результате уравнения (22) будут представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned}\Delta U_{KP1} &= (Z_{KC} - jX_{KP1}^Y)I_{KC} + (Z_{PK} + jX_{KP1}^Y)I_P; \\ \Delta U_{P1П} &= -(Z_{PY} - Z_{P1Y}^{KC})I_P - (Z_{YP1} + Z_{P1Y}^{KC})I_Y.\end{aligned}\quad (23)$$

В [4] получено, что $Z_{P1K} + jX_{KP1}^Y = Z_{P1Y} - Z_{P1Y}^{KC}$. С учетом этого равенства обозначим в (23) сомножители при токах следующим образом:

$$\begin{aligned}Z_{K0} &= Z_{KC} - jX_{KP1}^Y; \\ Z_{Y0} &= Z_{YP1} + Z_{P1Y}^{KC}; \\ Z_{P0} &= Z_{PK} + jX_{KP1}^Y.\end{aligned}\quad (24)$$

Тогда выражения (23) примут следующий окончательный вид:

$$\begin{aligned}\Delta U_{KP1} &= Z_{K0}I_{KC} - Z_{P0}I_P; \\ \Delta U_{P1Y} &= -Z_{P0}I_P - Z_{Y0}I_Y.\end{aligned}\quad (25)$$

Теперь получим аналитические выражения для определения сопротивлений элементов тяговой сети СТЭ 2×25 кВ.

Для этого составим по второму закону Кирхгофа уравнения падений напряжения при обходе контура К – Р1 (рис. 2) и контура Р1 – ПП (рис. 3):

$$\Delta U_{KP1} = Z_{KP1}I_K + jX_{KP1}^T I_T + Z_{PK} \frac{I_P}{2} + jX_{PK}^{P2} \frac{I_P}{2} - jX_{KP1}^П I_{П}; \quad (26)$$

$$\Delta U_{P1П} = -Z_{P1П} \frac{I_P}{2} + Z_{ПP1} I_{П} - jX_{P1П}^{P2} \frac{I_P}{2} + jX_{P1П}^K I_K + jX_{P1П}^T I_T. \quad (27)$$

Путем проведения таких же преобразований, что и при выводе соотношений для СТЭ 25 кВ (17) — (25), преобразуем (26), (27) в следующие выражения:

$$\begin{aligned}\Delta U_{KP1} &= Z_{K0}I_{KC} - Z_{P0}I_P, \\ \Delta U_{P1Y} &= -Z_{P0}I_P + Z_{П0}I_{П}.\end{aligned}\quad (28)$$

С учетом направления токов, показанного на рис. 2 и 3, сопротивления KC , P и $ПП$ в (28) будут равны:

$$\begin{aligned}Z_{K0} &= Z_{KC} - jX_{KP1}^П, \\ Z_{П0} &= Z_{ПP1} + Z_{P1П}^{KC}, \\ Z_{P0} &= Z_{PK} + jX_{KP1}^П.\end{aligned}\quad (29)$$

В формулы (25) и (28) не входят в явном виде члены, учитывающие индуктивные связи между контурами. Они учтены в сопротивлениях Z_{K0} , Z_{Y0} , $Z_{П0}$, Z_{P0} , которые можно рассматривать как сопротивления KC , $УП$, $ПП$ и P соответственно.

Расчет по выражениям (24) и (29) производится при помощи формул, приведенных в табл. 3.

Для примера выполним расчеты удельных сопротивлений элементов тяговой сети СТЭ 25 кВ и СТЭ 2×25 кВ с исходными данными, приведенными в табл. 4 и 5. Результаты расчета представлены в табл. 6 и 7.

Таким образом, разработана методика расчета, позволяющая определять активные, индуктивные и полные сопротивления отдельных элементов тяговой сети при заданных параметрах контактной подвески. Полученные численные значения удельных сопротивлений контактной сети (контактный провод плюс несущий трос), усиливающего (питающего) провода и рельса могут быть использованы для определения потерь активной мощности и уровня напряжения на токоприемнике электровагона, что позволит сравнить различные системы тягового электроснабжения между собой. **ИТ**

Таблица 4

Параметры тяговых сетей

СТЭ	КП	НТ	УП (ПП)	P
25 кВ	МФ-100	М-120	М-240	P-75
2×25 кВ	МФ-100	М-120	М-120	P-75

Таблица 5

Расстояния между элементами тяговой сети (d) и радиусы проводов (R), м

d_{KP1}	$d_{P1,2}$	$d_{Y(П)P1}$	$d_{Y(П)T}$	$d_{KY(П)}$	d_{TP1}	d_{KT}	R_K	R_T	R_Y	$R_{П}$
6,5	1,54	8,86	4,47	4,63	7,69	1,2	0,0059	0,0074	0,01	0,0074

Таблица 6

Результаты промежуточных расчетов сопротивлений, Ом/км

Элемент тяговой сети	Сопротивление	СТЗ 25 кВ	СТЗ 2×25 кВ
КС	$X_{KP1}^Y (X_{KP1}^I)$	$j0,0408$	$j0,0408$
	X_{KP1}^T	$j0,1167$	$j0,1167$
	Z_{TK}	$0,1517 + j0,3352$	$0,1517 + j0,3352$
	Z_{KT}	$0,182 + j0,3495$	$0,182 + j0,3495$
	Z_{KP1}	$0,182 + j0,4556$	$0,182 + j0,4556$
	Z_{KC}	$0,0832 + j0,2829$	$0,0832 + j0,2829$
УП	$Z_{YP1} (Z_{PP1})$	$0,0758 + j0,4419$	$0,1517 + j0,4609$
	$X_{P1Y}^K (X_{P1П}^K)$	$j0,0213$	$-j0,0213$
	$X_{P1Y}^T (X_{P1П}^T)$	$j0,0341$	$-j0,0341$
	$Z_{P1Y}^{KC} (Z_{P1П}^{KC})$	$-0,0001 + j0,0273$	$0,0002 + j0,0275$
Р	Z_{P1K}	$0,06 + j0,2159$	$0,06 + j0,2159$
	X_{KP1}^Y	$j0,0408$	$j0,0408$
	X_{P1K}^{P2}	$j0,0905$	$j0,0905$

Таблица 7

Расчетные величины удельных сопротивлений элементов тяговой сети переменного тока, Ом/км

Сопротивление	СТЗ 25 кВ	СТЗ 2×25 кВ
Z_{K0}	$0,0832 + j0,3186$	$0,0832 + j0,2421$
$Z_{Y0(П0)}$	$0,0757 + j0,4693$	$0,1518 + j0,4334$
Z_{P0}	$0,06 + j0,1751$	$0,06 + j0,2567$

Список литературы

1. Пышкин А. А. Электроснабжение железных дорог : учебник / А. А. Пышкин, Д. В. Лесников. Екатеринбург : УрГУПС, 2023. 507 с.

2. Штин А. Н., Марченко Д. А., Лесников Д. В., Афанасьева Н. А. Сравнение систем тягового электроснабжения 25 кВ и 2×25 кВ на участке с односторонним питанием без учета индуктивных сопротивлений тяговой сети // Транспорт Урала. 2024. № 1 (80). С. 90–98. ISSN 1815-9400.

3. Лебедев Е. В., Штин А. Н., Лесников Д. В. Расчет полного сопротивления тяговой сети переменного тока со стальным несущим тросом и медным усиливающим проводом // Повышение надежности работы и энергетической эффективности устройств электроснабжения : сборник научных трудов. Екатеринбург : УрГУПС, 2024. Вып. 2 (257). С. 61–67. ISBN 978-5-94614-547-3.

4. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог : учебник для вузов ж.-д. трансп. М. : Транспорт, 1982. 528 с.

References

1. Pyshkin A. A. Electric power supply of railways : textbook / A. A. Pyshkin, D. V. Lesnikov. Yekaterinburg : USURT, 2023. 507 p.

2. Shtin A. N., Marchenko D. A., Lesnikov D. V., Afanasyeva N. A. Comparison of traction power supply systems of 25 kV and 2×25 kV on a site with one-way power supply without taking into account inductive resistances of the traction network // Transport of the Urals. 2024. No. 1 (80). P. 90–98. ISSN 1815-9400.

3. Lebedev E. V., Shtin A. N., Lesnikov D. V. Calculation of the total resistance of an alternating current traction network with a steel carrier cable and a copper reinforcing wire // Improving the reliability and energy efficiency of power supply devices: a collection of scientific papers. Yekaterinburg : USURT, 2024. Issue 2 (257). P. 61–67. ISBN 978-5-94614-547-3.

4. Marquardt K. G. Power supply of electrified railways : textbook. M. : Transport, 1982. 528 p.

Е. В. Лебедев, А. Н. Штин, Д. В. Лесников | Расчет полных сопротивлений тяговой сети систем электроснабжения 25 кВ и 2 25 кВ



**Александр Анатольевич
Бойчук**
Aleksandr A. Bojchuk



**Александр Геннадьевич
Галкин**
Aleksandr G. Galkin

Применение нейронных сетей для диагностики устройств контактной сети: современные подходы и перспективы

Application of neural networks for diagnostics of contact network devices: modern approaches and prospects

Аннотация

В статье рассматриваются перспективы применения нейронных сетей для обработки информации в сфере диагностики устройств контактной сети. Представлен обзор программного обеспечения и современных методов, использующих нейронные сети, проведен анализ программных комплексов, основанных на принципиально новых методах обработки данных, полученных при диагностике контактной сети. Для дальнейших исследований отмечены перспективные программные решения, используемые для анализа фото- и видеофайлов: OpenCV, TensorFlow Object Detection API, YOLO, Amazon Rekognition Video и IBM Watson Visual Recognition.

Ключевые слова: нейронные сети, диагностика устройств контактной сети, компьютерное зрение, обработка видео, машинное обучение, автоматизация.

Abstract

The article discusses the prospects of using neural networks for information processing in the field of diagnostics of contact network devices. An overview of software and modern methods using neural networks has been presented, an analysis of software complexes based on fundamentally new methods of data processing obtained during the diagnosis of a contact network has been carried out. For further research, promising software solutions used for analyzing photo and video files have been noted: OpenCV, TensorFlow Object Detection API, YOLO, Amazon Rekognition Video and IBM Watson Visual Recognition.

Keywords: neural networks, diagnostics of contact network devices, computer vision, video processing, machine learning, automation.

Авторы Authors

Александр Анатольевич Бойчук, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург | **Александр Геннадьевич Галкин**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение транспорта», ректор, Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

Aleksandr A. Bojchuk, post-graduate student, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Aleksandr G. Galkin**, Doctor in Technical Sciences, Professor, "Transport Power Supply" Department, Rector, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg

Современные комплексы диагностики технических процессов все более широко начинают применять технологии нейронных сетей для решения множества задач, связанных с мониторингом, диагностикой и управлением процессами. Перспективные методы анализа данных позволяют автоматизировать процессы сбора, обработки, анализа данных большого объема при обработке информации и уменьшить время на ручной анализ данных.

Для диагностики устройств контактной сети применяются методы, которые основаны на анализе данных, получаемых от датчиков, фиксирующих неисправности регистрируемых параметров в автоматизированном режиме, но с последующей ручной проверкой. Нейронные сети помогут более быстро и точно анализировать большие объемы информации и выявлять скрытые закономерности эксплуатации устройств электроснабжения, что делает их отличным инструментом и помощником для диагностики.

В настоящее время основным средством диагностики контактной сети на железнодорожном транспорте является специализированный вагон-лаборатория, который применяется с 1950-х гг. Первоначально целью лаборатории было определение нескольких основных параметров положения контактного провода относительно уровня головки рельса и оси пути. Сейчас вагон оснащен системами видеофиксации, автоматической регистрации основных показателей, системой контроля нагрева элементов контактной сети и другими датчиками. Передача показаний с измерительных датчиков осуществляется на компьютер, на котором анализируется база состояния в нормативном положении контактной подвески. В реальном времени осуществляется сравнение полученных данных фактического положения с требуемым положением, и фиксируются отклонения регистрируемых параметров. Операторы сопровождают процесс и сверяются с данными приборов, а также проводят анализ несоответствий [1].

С целью оптимизации процесса ручной обработки данных и поиска визуальных неисправностей контактной сети в автоматизированном режиме предлагается метод обработки видеофайлов, полученных с камер, установленных на вагоне-лаборатории ВЛКС, с применением современных технологий, а именно нейронных сетей. В настоящее время уже разработаны программные комплексы, которые можно адаптировать под выполнение поставленной задачи.

Рассмотрим несколько программных комплексов, использующих нейронные сети.

1. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — это специально созданная библиотека исходного кода для решения задач в области компьютерного зрения и машинного обучения. В ней содержится более 2500 оптимизированных алгоритмов для распознавания объектов на видео. OpenCV поддерживает несколько языков

программирования, таких как Python, Java, C++, и может работать на различных платформах [2].

OpenCV может захватывать видео с различных источников, включая камеры и файлы, включает множество алгоритмов для обнаружения объектов и их классификации, как это уже реализовано на примере алгоритма Кэнни. Также данный программный комплекс поддерживает совместное использование моделей глубокого обучения (YOLO, SSD и др.). Это дает возможность использовать современные технологии для обнаружения и классификации объектов. С помощью алгоритмов обработки изображений можно анализировать видео на предмет обнаружения неисправностей, а также проводить анализ отличий между нормальным и дефектным состоянием объекта.

Пример применения OpenCV для поиска неисправностей и обнаружения дефектов.

При объезде вагона ВЛКС производится видеосъемка контактной сети, и алгоритмы OpenCV тщательно анализируют видео для выявления отклонений от заданных параметров. Автоматическое распознавание неисправностей внешних элементов, таких как повреждение узлов и проводов контактной сети, открывает широкие возможности для автоматизации и повышения эффективности диагностики контактной сети. А благодаря большому набору функций OpenCV является мощным инструментом для решения задач компьютерного зрения в режиме реального времени.

2. TensorFlow Object Detection API от Google ориентирован в основном на обнаружение объектов и их классификацию не только в изображениях, но и на видео. Данный сервис использует глубокое обучение и множество моделей анализа [3]. Этот инструмент для разработки и обучения систем обнаружения объектов предлагает готовые архитектуры и предварительно обученные модели, которые адаптируются для различных задач и включают обнаружение неисправностей по видео. API поддерживает широкий спектр моделей, таких как SSD (Single Shot MultiBox Detector), Faster R-CNN, RFPN (RetinaNet) и др. TensorFlow Object Detection API предоставляет доступ к предварительно обученным моделям, что, в свою очередь, сокращает время на настройку и обучение с нуля и позволяет сконцентрироваться на доработке действующих библиотек данных.

3. YOLO (You Only Look Once) представляет систему для восприятия объектов в режиме реального времени. Сильной стороной сервиса является достаточно высокая скорость распознавания объектов на видео, если сравнивать ее с другими подобными системами. Также отличительная особенность заключается в использовании единой базы нейронной сети, изображение анализируется за один подход. Модель YOLO обрабатывает изображение за один пропуск, поэтому идеально подходит для выполнения задач по обработке данных систем видеонаблюдения и анализа видео в реальном времени,

в том числе для обнаружения неисправностей в режиме видеорегистрации.

4. Amazon Rekognition Video — технология от Amazon Web Services, использующая глубокое обучение для анализа видео, выявления конкретных объектов, людей или действий. Сервис способен распознавать лица, извлекать текст, отслеживать движение объектов и выполнять другие функции. Это облачная услуга, которая позволяет анализировать видео в реальном времени и не только, так как возможна загрузка видео из архивов. Rekognition Video может обнаруживать, отслеживать объекты и распознавать события, что делает его удобным инструментом для поиска неисправностей в процессе видеонаблюдения. Возможность автоматизации процесса выявления неисправностей визуального характера освобождает оператора от необходимости вручную просматривать большие объемы видеоматериалов.

5. Сервис IBM Watson Visual Recognition служит для анализа и восприятия визуального контента с использованием глубокого обучения. Технология распознает объекты, людей, текст, а также конкретные детали на видео. Для анализа видеофайлов с помощью Watson Visual Recognition необходимо выполнить раскладку видео на от-

дельные кадры. При этом достаточно быстро и эффективно производится обнаружение недостатков, сокращая при этом время на ручной анализ, а также значительно повышается точность обнаружения неисправностей.

Дальнейшее исследование применения нейронных сетей для диагностики устройств контактной сети представляет большой интерес и имеет значительный потенциал. Применение существующих моделей нейросетей, которые можно обучить с учетом специфики устройств контактной сети, позволит улучшить точность диагностики и ускорить процессы выявления визуальных отклонений и неисправностей. Кроме того, исследования в области оптимизации работы нейронных сетей, их обучения и адаптации к изменяющимся условиям могут значительно улучшить эффективность использования данной технологии.

Применение нейронных сетей может повысить эффективность работы средств диагностики. Развитие новых методов анализа данных, оптимизация работы нейронных сетей и создание специализированных моделей для диагностики сетевых устройств помогут обеспечить высокую надежность и производительность современных диагностических комплексов. **ИТ**

Список литературы

1. Бошкарёва Т. В., Добрынин Е. В., Табаков О. В. Современные информационные технологии в системе диагностики контактной сети // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017) : труды Международной научно-технической конференции. 2017. С. 589–591.
2. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, Inc., 2008. 580 p.
3. Коул А., Ганджу С., Казам М. Искусственный интеллект и компьютерное зрение. Реальные проекты на Python, Keras и TensorFlow. Издательский дом «Питер», 2023.

References

1. Boshkareva T. V., Dobrynin E. V., Tabakov O. V. Modern information technologies in the diagnostic system of the contact network // Promising Information Technologies (PIT 2017) : proceedings of the International Scientific and Technical Conference. 2017. P. 589–591.
2. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, Inc., 2008. 580 p.
3. Cole A., Ganju S., Kazam M. Artificial intelligence and computer vision. Real projects in Python, Keras and TensorFlow. Publishing house "Peter", 2023.



Алексей Анатольевич
Ковалев

Aleksej A. Kovalev



Андрей Андреевич
Максимов

Andrej A. Maksimov



Александр Ваноевич
Микава

Aleksandr V. Mikava

Методология диагностических испытаний центрифугированных железобетонных опор контактной сети

Methodology of diagnostic tests for centrifuged reinforced concrete supports of the contact network

Аннотация

В статье рассмотрены различные методы неразрушающей диагностики дефектов опор контактной сети, принципы действия существующих методов диагностирования, приведены причины появления дефектов железобетонных стоек опор, предложена концептуальная идея журнала диагностических испытаний на основе локального QR-кода.

Ключевые слова: контактная сеть, железобетонная опора контактной сети, диагностические испытания, коррозия.

Abstract

The article discusses various methods of non-destructive diagnostics of defects in contact network supports, examines the principles of operation of existing diagnostic methods, gives the reasons for the appearance of defects in reinforced concrete pillars, and proposes a conceptual idea for a diagnostic test journal based on a local QR code.

Keywords: contact network, reinforced concrete support of the contact network, diagnostic tests, corrosion.

Авторы Authors

Алексей Анатольевич Ковалев, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Андрей Андреевич Максимов**, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Александр Ваноевич Микава**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Aleksej A. Kovalev, Ph.D. in Technical Sciences, Professor, head of the department "Transport Power Supply", Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Andrej A. Maksimov**, post-graduate student, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Aleksandr V. Mikava**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg

Контактные сети (КС) железных дорог России являются «кровеносной системой» электрического подвижного состава, позволяя исполнять его главное логистическое предназначение, заключающееся в транспортировке людей и грузов из пункта А в пункт Б. Однако с течением времени любые конструкции испытывают воздействие деструктивных процессов, снижающее их эффективность и одновременно повышающее степень риска возникновения аварийной ситуации. Фактор надежности выходит на первое место при решении вопроса безопасности движения поездов. Опционально для опор КС надежность обеспечивается за счет максимального удобства проведения мероприятий по диагностике поддерживаемых конструкций.

Исходя из природы дефективности опор, принято выделять несколько факторов, влияющих на появление дефектов бетона:

- неудовлетворительное стягивание опалубки при изготовлении опоры, ведущее к появлению зазора в местах стыков (швов) вертикальных частей опоры;
- особенности климата и почв, вызывающие частичное разрушение бетонного слоя опоры (преимущественно подземного);
- механические повреждения, полученные в процессе эксплуатации;
- вредная электрохимическая среда.

Одним из популярных методов обследования опор для дальнейшего диагностирования является *метод визуального освидетельствования* [1, 2]. Затраты времени при использовании этого метода в разы выше, чем у любого другого. Это обусловлено откопкой подземной части опоры, однако такие работы позволяют выявить дефектные участки железобетонной поверхности и внутренней арматуры без использования специального оборудования, которое в данном случае не принесет каких-либо полезных результатов.

После откопки можно использовать *метод индуктивного контроля*, позволяющий определить степень коррозионных повреждений при визуальном целом бетонном слое, а также измерить толщину защитного слоя опоры.

Общую целостность бетонной опоры можно определить при помощи *вибрационного метода*. Любые железобетонные конструкции с внутренними дефектами, полученными в процессе эксплуатации, будут иметь меньший период колебаний, вызванных механическим воздействием, чем аналогичные строения без повреждений, соответственно, и величина декремента затухания собственных колебаний будет увеличиваться. В данном случае декремент затухания зависит еще и от нагрузки, приложенной к опоре, поэтому для получения достоверных значений декремента требуется предварительно провести работы по разгрузке опоры.

Перетекающие токи в групповом заземлении с течением времени деформируют коммутирующие участ-

ки заземляющего контура, снижая общее сопротивление цепи. Если значение сопротивления контура заземления менее 100 Ом — это свидетельствует о возможном наличии в группе одной или нескольких низкоомных опор. Для выявления дефектной опоры необходимо найти ее индивидуальное сопротивление. Чтобы получить корректные результаты в процессе проведения работ по выявлению низкоомных опор, нужно обеспечить синхронность проведения измерений в обоих случаях (во избежание разности значений потенциала в рельсах), при поддержании потенциала в рельсовой цепи около 10 В. Определить сопротивление опоры можно с использованием измерителей сопротивления заземлений М-416 или М-1101, МС-08 [3].

Для выявления опор с заниженным собственным сопротивлением используется *метод измерения пропорциональности электромагнитного поля*, возникшего в результате коммутирования токопроводящих составляющих внутреннего слоя опоры, который вырабатывается внешним источником. Для этого используется прибор ИПК-4 (искатель повреждения кабеля), состоящий из генераторного и поискового блоков. Первый блок создает электромагнитное поле, а второй определяет изменение значения электромагнитного поля при движении вдоль группового троса заземления путем подачи звукового сигнала в наушники, притом сигнал усиливается пропорционально величине электромагнитного поля опоры.

Определить степень коррозионных повреждений можно при помощи индуктивного дефектоскопа ИДА-1 [4], но данный прибор применяется только при проведении земляных работ по откопке стоек и фундаментов. После освобождения фундамента от грунтовой насыпи проводят исследование внутренних сегментов стоек и фундаментов датчиками, реагирующими на изменения магнитных полей вокруг металлических составляющих. Далее сравнивают величины сечений прутков армировки в месте проведения земляных работ и выше уровня земли. Однако результаты измерений могут быть неточными из-за неоднородности толщины исследуемого слоя бетона. Корректность конечных данных напрямую зависит от условий окружающей среды: в разных климатических зонах оценка ущерба идентичного повреждения может различаться из-за природных факторов, ускоряющих процесс разрушаемости бетона и металлов.

Измерение защитного слоя бетона без его принудительного разрушения можно проводить прибором ИЗС-2 [5]. При помощи этого устройства также определяют расположение и направление стальной арматуры в бетонном слое стойки опоры.

При всех своих достоинствах результаты диагностических испытаний, проведенных приборами ИДА-1 и ИЗС-2, будут объективны лишь после земляных работ по откопке опоры, что ограничивает возможность их применения.

Коррозионное состояние опоры контактной сети можно определить с помощью явления направленного колебания векторов величины напряженности электрического поля или напряженности магнитного поля арматуры. Для этого необходимо замерить потенциал цепи заземления, предварительно изменив полярность токопроводящих частей опоры по цепи «земля — арматура — рельс».

При проведении диагностических испытаний принимают токи разной полярности, так как принято считать, что сонаправленность векторов токов может влиять на результаты испытаний. После работ по поляризации арматуры проводится сравнение результатов и нормы, после чего делается заключение о дефективности опоры. Метод получил название электрохимического, так как представляет собой выявление дефектности за счет поляризации металлических частей внутренних слоев строения опоры КС посредством электрического воздействия на них.

Для испытаний *методом электрохимической диагностики* был разработан прибор «Диакор», а также его аналог — «АДО-2М». При проведении диагностики данными приборами необходимо выполнить коммутацию тока вручную, зафиксировать отсчет времени и измерения с помощью измерительного прибора. Многие измерительные приборы имеют собственное входное сопротивление, поэтому при проведении измерений стоит его учитывать, в противном случае есть риск получить некорректные данные.

На текущий момент самым популярным среди диагностов остается *метод проверки высокочастотными волнами или ультразвуком*. Методология строится на основе измерения скорости распространения звуковых волн высокой частоты в бетонном слое стойки опоры КС и показателей его прочностной характеристики. Затем проводится оценка остаточной прочности бетона по времени распространения ультразвука в бетоне в поперечном направлении по отношению к продольной оси опоры (Π_1) и по времени распространения ультразвука

в продольном направлении ко времени распространения ультразвука в продольном направлении опоры (Π_2), которое характеризует насыщение бетона микротрещинами. Для измерений используется прибор УК/14ПМ. Ультразвуковой метод целесообразно сочетать с другими, например с электрохимическим методом [6].

В связи с постоянным увеличением эксплуатационной нагрузки, появлением новых, более мощных единиц электроподвижного состава современные диагностические мероприятия требуют доработок и усовершенствований, касающихся как методологии, так и материально-ресурсной базы. Объемы работ по выполнению диагностических испытаний увеличиваются с каждым годом, повышая нагрузку на работников группы коррозии и на эксплуатируемое ими оборудование, которое вкупе с различными методиками диагностики не всегда достоверно позволяет «на месте» определить критичность данных, а также оценить опасность возможных последствий.

В настоящее время актуальна задача по систематизации и анализу данных диагностики для дальнейшего изучения и коррекции жизненного цикла железобетонных опор. Для решения этой задачи требуется инструмент мониторинга — систематизированная база данных с возможностью прогнозирования исходов в зависимости от состояния конструкции. Однако такую систему мониторинга не выстроить без цифровой аналитики и введения параметров идентификации каждой опоры контактной сети.

Предлагается ввести QR-код, соответствующий идентификационному номеру опоры, по которому можно определить ее принадлежность. QR-код должен служить серверным журналом, в котором будут отражены все диагностические испытания, проведенные с опорой и ее частями. В данный момент существует лишь концепт-идея по размещению такого кода непосредственно на опоре КС, но остается нерешенным вопрос местоположения кода и способа его нанесения. Испытания «в поле» запланированы на сентябрь 2024 г. **ИТ**

Список литературы

1. Комплексная диагностика при эксплуатации опор контактной сети : монография / А. В. Окунев. Екатеринбург : УрГУПС, 2022. 96, [2] с. ISBN 978-5-94614-514-5.
2. Ковалев А. А., Коротких М. В. Исследование способов диагностики подземной части опор и фундаментов // Студент: наука, профессия, жизнь : материалы X Всероссийской студенческой научной конференции с международным участием. В 5 ч. Ч. 1. Омск : ОмГУПС, 2023. 199–202 с.
3. Указания по техническому обслуживанию и ремонту опорных конструкций контактной сети. М. : Транспорт, 1996. 120 с.
4. Герасимов В. П., Вайнтрот И. Н. Аппаратура диагностики опор. Индуктивный метод // Электрическая и тепловозная тяга. 1981. № 4. С. 40–41.
5. Кузнецов К. Б., Звягинцева Г. В. и др. Поиск дефектных опор // Электрическая и тепловозная тяга. 1983. № 2. С. 42–43.
6. Сальников А. А., Ковалев А. А. Методы неразрушающего контроля состояния железобетонных опор контактной сети // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 1. С. 257–261.

References

1. Complex diagnostics during the operation of contact network supports: monograph / A.V. Okunev. Yekaterinburg : USURT, 2022. 96, [2] p. ISBN 978-5-94614-514-5.
2. Kovalev A. A., Korotkov M. V. Investigation of methods for diagnosing the underground part of supports and foundations // Student: science, profession, life : materials of the X All-Russian Student Scientific conference with international participation. At 5 p.m. 1. Omsk, 2023. 199–202 p.
3. Instructions for maintenance and repair of contact network support structures. M. : Transport, 1996. 120 p.
4. Gerasimov V. P., Vaintrut I. N. Support diagnostic equipment. Inductive method // Electric and diesel traction. 1981. No. 4. P. 40–41.
5. Kuznetsov K. B., Zvyagintseva G. V. and others. Search for defective supports // Electric and diesel traction. 1983. No. 2. P. 42–43.
6. Salnikov A. A., Kovalev A. A. Methods of non-destructive testing of the condition of reinforced concrete supports of the contact network // Transport infrastructure of the Siberian region. 2019. Vol. 1. P. 257–261.



**Вячеслав
Олегович
Ильин**

Vyacheslav O. Il'in



**Андрей
Николаевич
Штин**

Andrej N. Shtin



**Константин
Геннадьевич
Шумаков**

Konstantin G. Shumakov



**Леонид
Александрович
Фролов**

Leonid A. Frolov

Конструкции распределительных устройств 35 кВ тяговых подстанций, расположенных в районах технологических агрессивных сред

Designs of switchgears for 35 kV traction substations located in areas of technological aggressive environments

Аннотация

В статье предлагаются различные конструкции распределительных устройств 35 кВ тяговых подстанций электрифицированных железных дорог постоянного тока, расположенных в районах технологических агрессивных сред. На основе современных электроаппаратов, выпускаемых российскими производителями, предложены варианты выполнения закрытых распределительных устройств 35 кВ, позволяющие исключить негативное влияние агрессивных сред на оборудование тяговых подстанций.

Ключевые слова: тяговая подстанция, агрессивная среда, распределительное устройство, ангар, выключатель, модуль, присоединение, силовое оборудование.

Abstract

The article proposes various designs of switchgears of 35 kV traction substations of electrified DC railways located in areas of technological aggressive environments. Based on modern electrical devices manufactured by Russian manufacturers, variants of closed 35 kV switchgears have been proposed, allowing to eliminate the negative impact of aggressive media on the equipment of traction substations.

Keywords: traction substation, aggressive environment, switchgear, hangar, switch, module, connection, power equipment.

Авторы Authors

Вячеслав Олегович Ильин, студент 5 курса, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Андрей Николаевич Штин**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Константин Геннадьевич Шумаков**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: kshumakov@usurt.ru | **Леонид Александрович Фролов**, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Vyacheslav O. Il'in, a fifth-year student, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Andrej N. Shtin**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: AShten@usurt.ru | **Konstantin G. Shumakov**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: kshumakov@usurt.ru | **Leonid A. Frolov**, senior lecturer, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg

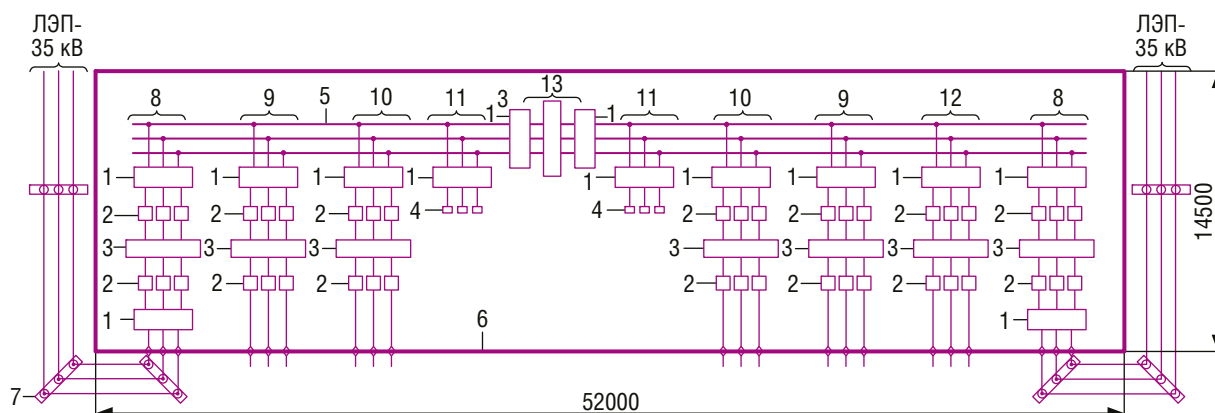


Рис. 1. План ЗРУ 35 для варианта Б

Оборудование открытых распределительных устройств (РУ) тяговых подстанций (ТП), расположенных в непосредственной близости с предприятиями по производству удобрений и солей, подвергается интенсивной коррозии и быстрому старению [1, 2], из-за загрязнений нередко происходят перекрытия изоляции.

РУ обычно являются устройствами питающего напряжения, поэтому для борьбы с негативным влиянием внешней среды несколько раз в год приходится полностью отключать всю тяговую подстанцию, прекращая при этом не только питание электрической тяги, но и всех промышленных предприятий, получающих питание от ТП. Все это значительно снижает надежность электрообеспечения как тяговых, так и нетяговых потребителей. Кардинальным решением данной проблемы является сооружение закрытых распределительных устройств (ЗРУ) питающего напряжения, которые бы полностью защищали оборудование от загрязнения.

В исследовании предложен способ повышения надежности работы тяговых подстанций, расположенных в районах технологических агрессивных сред, путем размещения оборудования РУ 35 кВ в закрытых ангарах.

Очевидно, что в процессе реконструкции тяговой подстанции существующее оборудование должно продолжать работу, поэтому сооружение нового РУ следует производить на свободной территории подстанции, и, следовательно, строящееся ЗРУ 35 кВ должно иметь минимальные размеры.

В работе [3] предложена реализация самых распространенных присоединений РУ 35 кВ на модулях, содержащих современное электротехническое оборудование отечественного производства, в том числе реклоузеры SMART-35 производства компании «Таврида Электрик» [4].

Рассмотрим четыре варианта выполнения ЗРУ 35 кВ (ЗРУ-35) на примере одной из реальных тяговых подстанций Свердловской железной дороги:

1) на обычном оборудовании с выключателями ВГТ-35 [5] — вариант Б (базовый);

2) на модулях [3] при расположении силового оборудования в четыре ряда — вариант 1;

3) на модулях [3] при расположении силового оборудования в два ряда — вариант 2;

4) на модулях [3] при расположении силового оборудования в один ряд — вариант 3.

Принципиальные схемы РУ для всех вариантов не отличаются друг от друга, а цены выключателей ВГТ-35 и SMART-35 примерно равны, поэтому можно считать, что затраты на сооружение ЗРУ-35 будут отличаться друг от друга только стоимостью строительства ангара, которая, в свою очередь, определяется его площадью.

Разработаем планы ЗРУ-35 для каждого из четырех вариантов.

На рис. 1 показан план расположения оборудования для варианта Б, а в табл. 1 — спецификация оборудования для этого варианта.

Длина L_B и ширина B_B ангара для варианта Б рассчитывались следующим образом:

$$\begin{aligned} L_B &= L_Q N_Q + L_{QS} N_{QS} + L_B + L_{\Pi} N_{\Pi} + L_{\Pi} N_{\Pi} = \\ &= 3770 \cdot 7 + 2925 \cdot 2 + 4260 + 1500 \cdot 9 + 1000 \cdot 2 = \\ &= 52000 \text{ мм} = 52 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_B &= B_Q + B_{QS} N_{QS} + B_{TA} N_{TA} + B_B + B_{\Pi} N_{\Pi} + B_{\Pi} N_{\Pi} = \\ &= 850 + 1000 \cdot 2 + 650 \cdot 2 + 3350 + 1500 \cdot 2 + 1000 \cdot 4 = \\ &= 14500 \text{ мм} = 14,5 \text{ м}, \end{aligned}$$

где L_Q, B_Q, N_Q — длина, ширина и число выключателей ВГТ-35; L_{QS}, B_{QS}, N_{QS} — длина, ширина и число разъединителей РГ-35; L_B, B_B — длина, ширина секционного блока; B_{TA}, N_{TA} — ширина и число трансформаторов тока ТОЛ-35; $L_{\Pi}, B_{\Pi}, N_{\Pi}$ — длина, ширина и число промежутков, рассчитанных на проход людей; $L_{\Pi}, B_{\Pi}, N_{\Pi}$ — длина, ширина и число промежутков, не рассчитанных на проход людей.

Таким образом, общая площадь ЗРУ 35 кВ для варианта Б S_B получилась равной 754 м².

Таблица 1

Спецификация оборудования ЗРУ 35 кВ для варианта Б

Поз.	Наименование	Кол-во
1	Разъединитель РГ-35	13
2	Трансформатор тока ТОЛ-35	42
3	Выключатель ВГТ-УЭТМ-35	8
4	Трансформатор напряжения ЗНОЛ-35	6
5	Система сборных шин	1
6	Ангар	1
7	Портал	6
8	Участок присоединения ввода	2
9	Участок присоединения тягового трансформатора	2
10	Участок присоединения трансформатора собственных нужд	2
11	Участок присоединения трансформатора напряжения	2
12	Участок присоединения понижающего трансформатора	1
13	Участок секционирования сборных шин	1

Варианты 1, 2 и 3 выполнения ЗРУ-35 основаны на модулях, которые содержат различный набор силового оборудования [3]. Оборудование располагается на рамах, выполненных из металлических швеллеров. На рис. 2 приведен пример в 3D-виде модуля «Ввод».

Модули можно располагать в любой плоскости (горизонтально, вертикально, на ребро и т.д.), что дает возможность максимально оптимизировать рабочее пространство и уменьшить площадь всего ЗРУ-35.

В настоящее время отечественной промышленностью освоен выпуск пожаро- и взрывобезопасных сухих трансформаторов различной мощности и назначения. Поэтому для вариантов 1, 2 и 3 разместим в ангарах все силовые трансформаторы подстанции (тяговые, понижающие, собственных нужд), которые в варианте Б находятся на открытой части подстанции. Это значительно повысит надежность работы тяговой подстанции, так как изоляторы и токоведущие части трансформаторов бу-

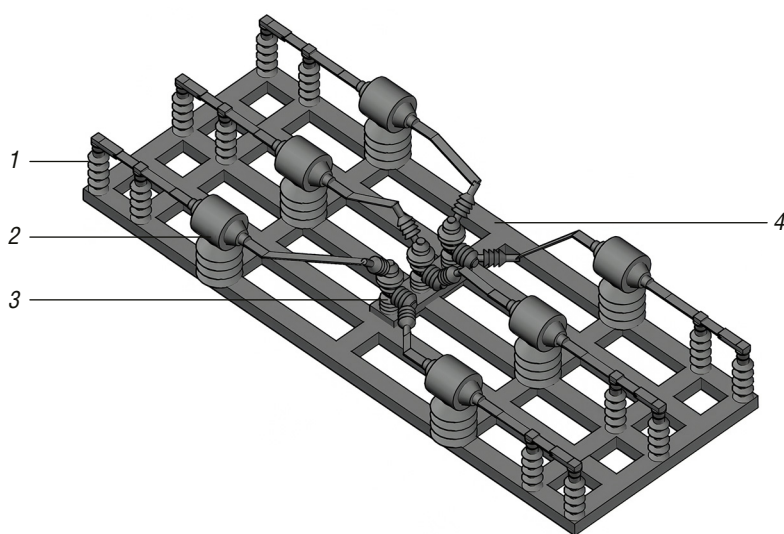


Рис. 2. Модуль «Ввод»:

1 — разъединитель РГ-35; 2 — трансформатор тока ТОЛ-35; 3 — выключатель SMART-35; 4 — рамная конструкция модуля

дут защищены от воздействия агрессивных сред.

В варианте 1 модули расположены в два ряда, каждый из которых представляет собой одну секцию ЗРУ-35 (рис. 3). В вариантах 2

и 3 модули обеих секций ЗРУ 35 кВ размещены в один ряд (рис. 4).

Из рис. 3 видно, что общие шины, соединяющие модульные ячейки, проходят снизу для оптимизации места в распределительном устрой-

стве. Для устойчивости под шинами располагается общая рама, куда крепятся модули.

В варианте 1 силовые трансформаторы размещены с обеих сторон модулей в зависимости от расположения соответствующих присоединений. Таким образом, в варианте 1 силовое оборудование в ангаре устанавливается в четыре ряда.

В варианте 2 трансформаторы расположены с одной стороны модулей напротив соответствующих присоединений — силовое оборудование в ангаре устанавливается в два ряда.

В варианте 3 сухие трансформаторы размещены в один ряд с модулями, поэтому все оборудование в ангаре устанавливается в один ряд.

На рис. 5 показаны планы расположения оборудования для вариантов 1–3. В табл. 2 приведена спецификация оборудования.

Длины L и ширины B ангаров для вариантов 1, 2, 3 определялись следующим образом:

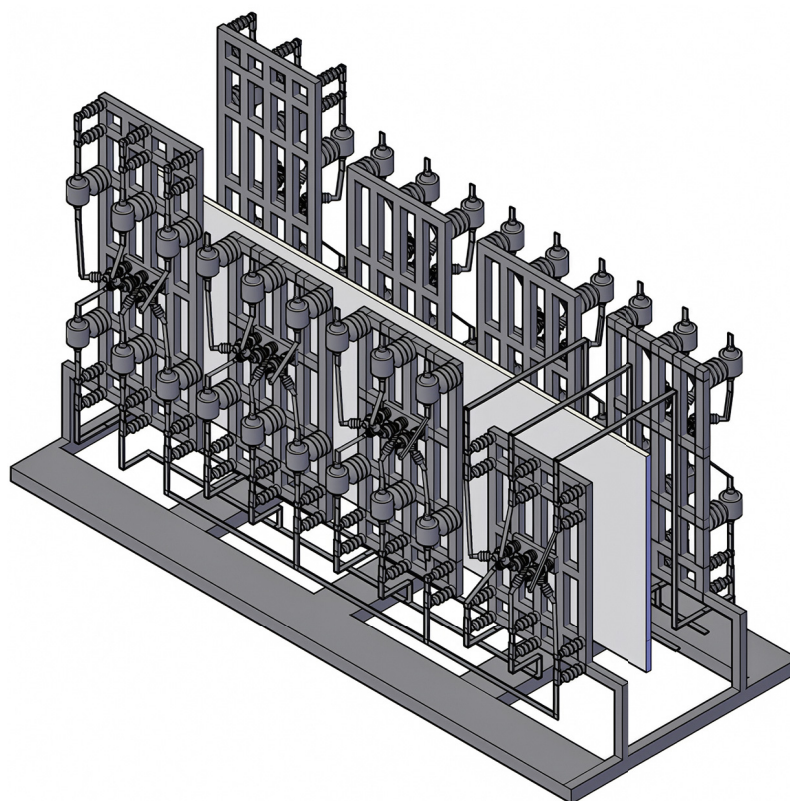


Рис. 3. Расположение модулей в ЗРУ-35 в два ряда (вариант 1)

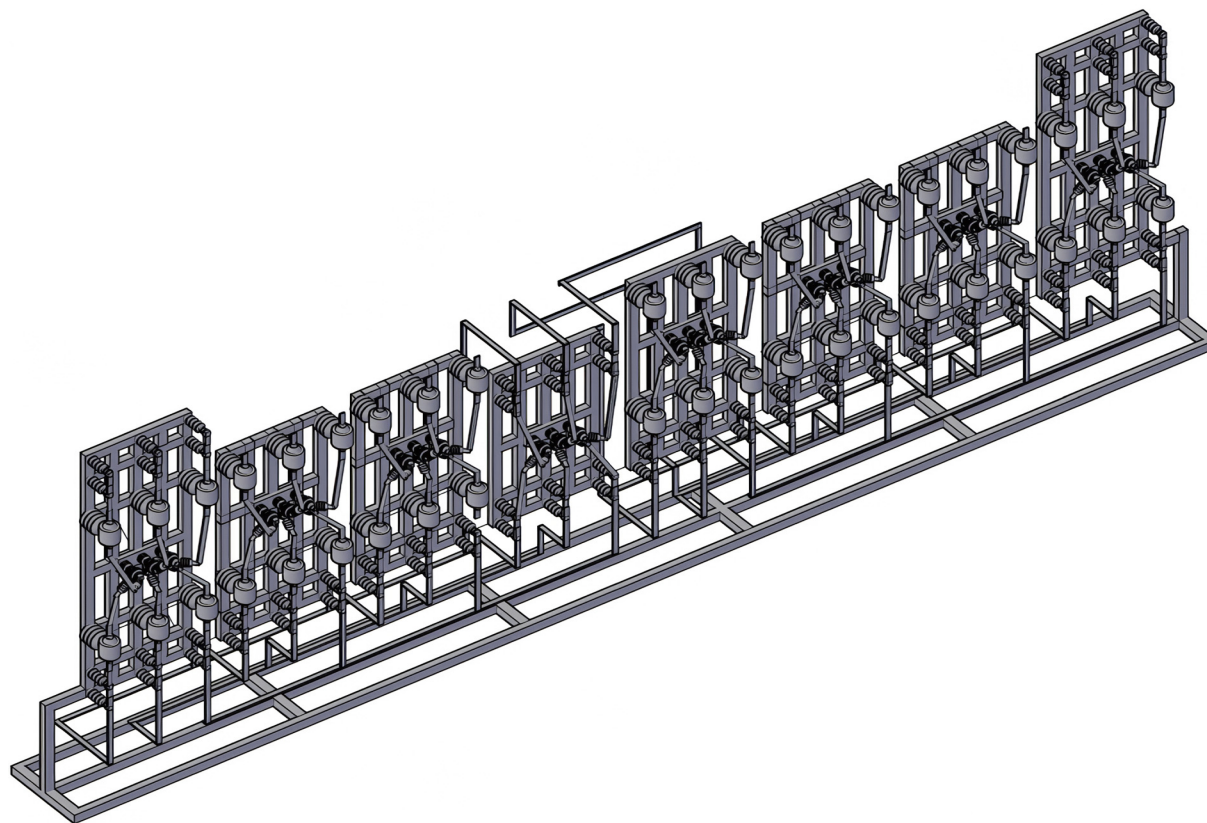


Рис. 4. Расположение модулей в ЗРУ-35 в один ряд (варианты 2 и 3)

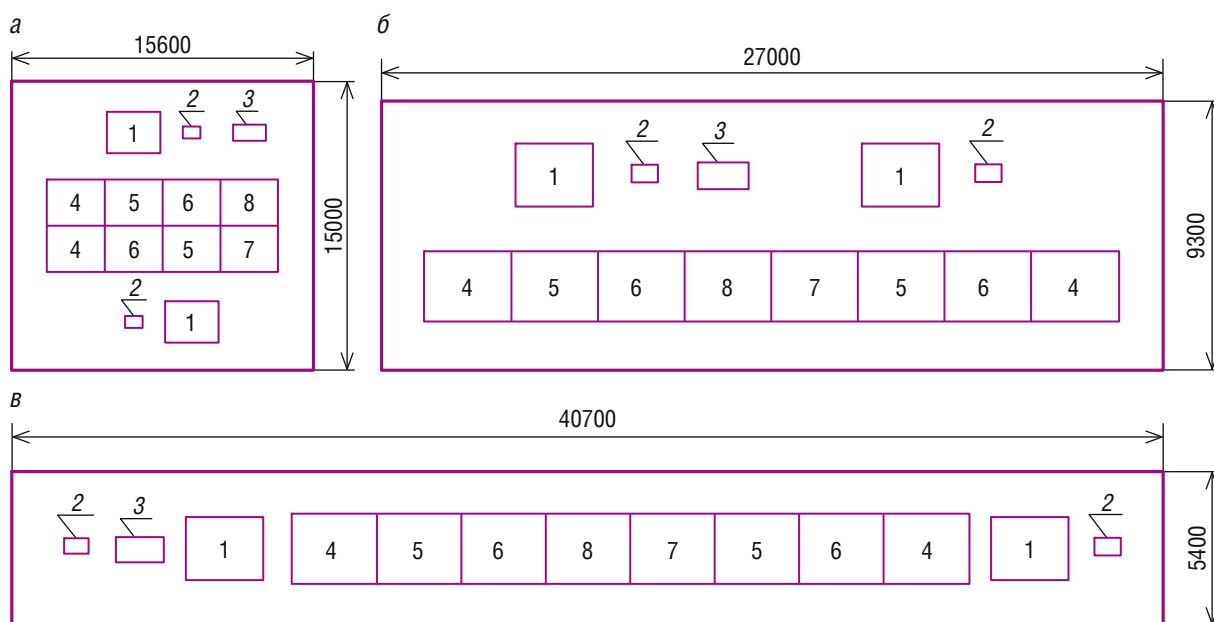


Рис. 5. Планы ЗРУ-35 для варианта 1 (а), варианта 2 (б) и варианта 3 (в)

Таблица 2

Спецификация оборудования ЗРУ-35 для вариантов 1, 2, 3

Поз.	Наименование	Кол-во
1	Трансформатор тяговый ТРСЗП-6300/35	2
2	Трансформатор собственных нужд ТСЗ-250/35	2
3	Трансформатор понижающий ТС-2500/35/10	1
4	Модуль «Ввод»	2
5	Модуль «Присоединение тягового трансформатора»	2
6	Модуль «Присоединение трансформатора СН»	2
7	Модуль «Секционирование»	1
8	Модуль «Присоединение понижающего трансформатора»	1

$$L_1 = L_M N_M + L_L N_L = 3000 \cdot 4 + 1500 \cdot 2 = 15000 \text{ мм} = 15 \text{ м};$$

$$B_3 = B_{TT} + L_L N_L = 2400 + 1500 \cdot 2 = 5400 \text{ мм} = 5,4 \text{ м},$$

$$\begin{aligned} B_1 &= B_M N_M + B_{TT} N_{TT} + L_L N_L = \\ &= 2400 \cdot 2 + 2400 \cdot 2 + 1500 \cdot 4 = 15700 \text{ мм} = 15,6 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$L_2 = L_M N_M + L_L N_L = 3000 \cdot 8 + 1500 \cdot 2 = 27000 \text{ мм} = 27 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} B_2 &= B_M N_M + B_{TT} N_{TT} + L_L N_L = \\ &= 2400 \cdot 1 + 2400 \cdot 1 + 1500 \cdot 3 = 9300 \text{ мм} = 9,3 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_3 &= L_M N_M + L_{TT} N_{TT} + L_{ТСН} N_{ТСН} + L_{ПТ} N_{ПТ} + L_L N_L + L_{ПН} N_{ПН} = \\ &= 3000 \cdot 8 + 2750 \cdot 2 + 800 \cdot 2 + 1600 + \\ &+ 1500 \cdot 2 + 1000 \cdot 5 = 40700 \text{ мм} = 40,7 \text{ м}; \end{aligned}$$

где L_M , B_M , N_M — длина, ширина и число модулей; L_{TT} , B_{TT} , N_{TT} — длина, ширина и число тяговых трансформаторов ТРСЗП-6300/35; $L_{ТСН}$, $B_{ТСН}$, $N_{ТСН}$ — длина, ширина и число трансформаторов собственных нужд ТСЗ-250/35; $L_{ПТ}$, $B_{ПТ}$, $N_{ПТ}$ — длина, ширина и число понижающих трансформаторов собственных нужд ТС-2500/35/10.

Общие площади ЗРУ-35 получились равными для варианта 1 — $S_1 = 234 \text{ м}^2$, для варианта 2 — $S_2 = 251 \text{ м}^2$ и для варианта 3 — $S_3 = 220 \text{ м}^2$.

Выводы

1. Для защиты от загрязнения оборудования напряжением 35 кВ подстанций, расположенных в районах технологических агрессивных сред, необходимо размещать распределительные устройства 35 кВ в закрытых ангарах.

2. Применение модулей, предложенных в [3], позволяет существенно снизить площадь ЗРУ 35 кВ. Даже при установке сухих силовых трансформаторов внутри ангара их площадь составляет примерно 30 % от площади распредустройств на обычном оборудовании без трансформаторов.

3. Вариант выполнения распределительного устройства (1, 2 или 3) следует выбирать исходя из размеров свободной территории на подстанции. Для рассматриваемой реальной тяговой подстанции Свердловской железной дороги, имеющей незанятый участок длиной 30 м и шириной 20 м, следует выбрать вариант 1.

4. Строительство ангара для вариантов 2 и 3, особенно в районах, имеющих большое количество осадков в виде снега, предпочтительно производить в виде А-домов («финский домик»), преимуществами которых являются легкий вес, низкая материалоемкость фундамента и невысокая стоимость конструкции. **ИТ**

Список литературы

1. Как окружающая среда влияет на электрооборудование // ТМРсила-М. URL: <https://tmr-power.com/stati/okryjauschaya-sreda-i-electrooborudovanie> (дата обращения: 26.05.2024).
2. Агрессивная среда для оборудования // Дзен. URL: <https://dzen.ru/a/YPp6YwkvoQPmijaq> (дата обращения: 26.05.2024).
3. Ильин В. О., Штин А. Н., Шумаков К. Г. Сооружение модульных распредустройств 35 кВ тяговых подстанций на современном оборудовании // Повышение надежности работы и энергетической эффективности устройств электроснабжения : сборник научных трудов X региональной научно-практической конференции, посвященной Дню энергетика, Екатеринбург, 22 декабря 2023 года. Екатеринбург : УрГУПС, 2024. С. 41–47.
4. Реклоузер SMART-35. Исполнения для подстанций // Таврида Электрик. URL: <https://www.tavrida.ru/ter/solutions/REC35/SUB7/> (дата обращения: 26.05.2024).
5. Элегазовые колонковые выключатели ВГТ-УЭТМ®-35 // УЭТМ. URL: <https://www.uetm.ru/ru/katalog-produktsii/item/VGT-UETM-35/> (дата обращения: 26.05.2024).

References

1. How the environment affects electrical equipment. URL: <https://tmr-power.com/stati/okryjauschaya-sreda-i-electrooborudovanie> (date of access: 05/26/2024).
2. Aggressive environment for equipment. URL: <https://dzen.ru/a/YPp6YwkvoQPmijaq> (date of access: 05/26/2024).
3. Ilyin V. O., Shtin A. N., Shumakov K. G. Construction of modular switchgears of 35 kV traction substations on modern equipment // Improve operational reliability and energy efficiency of power supply devices : a collection of scientific papers of the X regional scientific and practical conference dedicated to the Day of Power Engineering, Yekaterinburg, December 22, 2023. Yekaterinburg, 2024. P. 41–47.
4. SMART-35 recloser. Versions for substations // Tavrida Electric. URL: <https://www.tavrida.ru/ter/solutions/REC35/SUB7/> (date of access: 05/26/2024).
5. Gas-operated column switches VGT-UETM®-35 // UETM. URL: <https://www.uetm.ru/ru/katalog-produktsii/item/VGT-UETM-35/> (date of access: 05/26/2024).

УДК 621.332.3

DOI:10.20291/2311-164X-2024-2-22-25



**Алексей Анатольевич
Ковалев**

Aleksej A. Kovalev



**Артём Андреевич
Повод**

Artem A. Povod



**Никита Андреевич
Аксенов**

Nikita A. Aksenov

Проверка состояния изолирующих и неизолирующих сопряжений контактной сети с применением беспилотных летательных аппаратов

Checking the condition of insulating and non-insulating interfaces of the contact network using unmanned aerial vehicles

Аннотация

Статья посвящена вопросам разработки технологий для повышения эффективности проверки технического состояния сопряжений анкерных участков контактной сети. Рассмотрены основные виды беспилотных летательных аппаратов, применяемых для мониторинга состояния воздушных линий электропередачи, приведены технические характеристики для каждого вида. Для уменьшения трудозатрат и перерывов в графике движения поездов предложен вариант проверки состояния изолирующих и неизолирующих сопряжений контактной сети с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: контактная сеть, изолирующее сопряжение, неизолирующее сопряжение, беспилотный летательный аппарат, проверка состояния, канатоход, технические характеристики, воздушная линия, несущий трос.

Abstract

The article is devoted to the development of technologies to improve the efficiency of checking the technical condition of the interfaces of the anchor sections of the contact network. The main types of unmanned aerial vehicles used to monitor the condition of overhead power lines are considered, and technical characteristics for each type are given. The option for reducing labor costs and interruptions in the train schedule has been proposed to check the condition of insulating and non-insulating interfaces of the contact network using unmanned aerial vehicles.

Keywords: contact network, insulating coupling, non-insulating coupling, unmanned aerial vehicle, condition check, tightrope walker, technical characteristics, overhead line, carrier cable.

Авторы Authors

Алексей Анатольевич Ковалев, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Артём Андреевич Повод**, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Никита Андреевич Аксенов**, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Aleksej A. Kovalev, Ph.D. in Technical Sciences, Professor, head of the department «Transport Power Supply», Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Artem A. Povod**, post-graduate student, «Transport Power Supply» Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Nikita A. Aksenov**, senior lecturer, «Transport Power Supply» Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg

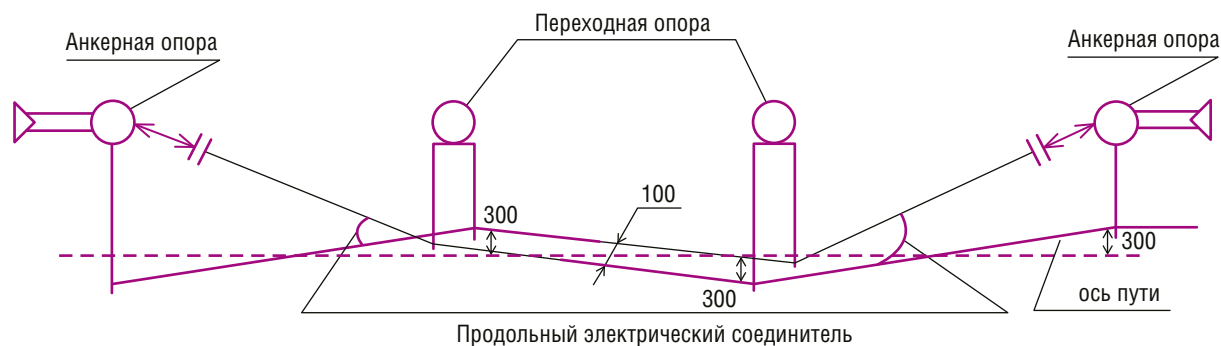


Рис. 1. Схема неизолирующего сопряжения анкерного участка

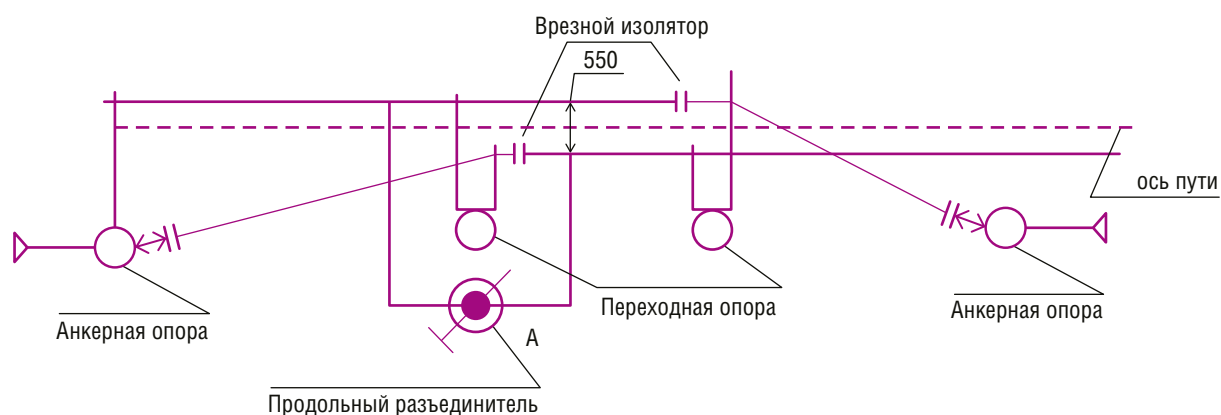


Рис. 2. Схема изолирующего сопряжения анкерного участка

Контактная сеть (КС) — один из важных элементов в системе электроснабжения железных дорог. Она служит для передачи электрической энергии от тяговой подстанции к токоприемнику электроподвижного состава. КС состоит из контактной подвески, опорных и поддерживающих конструкций, фиксирующих устройств, изоляторов, защитных заземлений, устройств секционирования, а также устройств защиты от перенапряжений.

Контактная сеть относится к потребителям первой категории, но ее отличительной особенностью является отсутствие резерва, поэтому, согласно [1], к ее работе предъявляются следующие требования: устройства электроснабжения должны обеспечивать бесперебойное движение поездов с установленными весовыми нормами, скоростями и интервалами между поездами при требуемых размерах движения. Чтобы обеспечить эти требования, проектирование, сооружение и эксплуатация КС осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами [1].

Одним из важных узлов контактной сети является сопряжение анкерных участков контактной сети. Сопряжением анкерных участков КС называются места, в которых токоприемник переходит с контактной подвески одного анкерного участка на контактную подвеску другого анкерного участка.

Различают неизолирующие и изолирующие сопряжения анкерных участков. Неизолирующее сопряжение

анкерных участков (рис. 1) предназначено для механического разделения двух однопотенциальных анкерных участков. Изолирующее сопряжение (рис. 2) служит для механического и электрического разделения двух разнотенциальных анкерных участков. Такие сопряжения устанавливаются в местах, где контактная подвеска станции сопрягается с контактной подвеской перегона, а также на постах секционирования.

Несвоевременное обнаружение отклонений параметров от нормативных может привести к отказам в работе технических средств, которые нарушают график движения поездов, могут стать причиной гибели людей, аварий, а также причинить материальный ущерб. В связи с этим проблема повышения эффективности проверки состояния КС не теряет своей актуальности.

Перспективным направлением для решения данной проблемы является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В настоящее время БПЛА используются для проверки состояния воздушных линий электропередачи (ЛЭП). Экспериментальным путем было установлено, что БПЛА существенно упрощают и ускоряют проведение технического обследования ЛЭП. Снимки, которые совершаются с воздуха, позволяют выявлять большинство дефектов, включая падения и повреждения опор, нарушение их целостности и отклонение от вертикали, обрыв и провисание проводов ЛЭП [2].

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Преимущества использования БПЛА при проведении проверки состояния ЛЭП:

1. Выполнение работ без подъема на высоту, что сокращает риски, связанные с падением работника.
2. Сокращение числа членов бригады.
3. Способность БПЛА скользить по линии, находящейся под напряжением, что позволяет источникам питания получать электроэнергию без перерывов.

Для мониторинга технического состояния ЛЭП используются следующие БПЛА:

- диагностическая платформа «Стрекоза»;
- платформа для технического обслуживания «Паук»;
- диагностическая платформа «Муха»;
- диагностическая платформа «Муравей».

Характеристики используемых беспилотных летательных аппаратов приведены в табл. 1.

Проанализировав технические характеристики основных видов БПЛА, используемых для мониторинга ЛЭП, можно сделать вывод, что необходимо разработать летательный аппарат, который будет предназначен для проверки состояния контактной сети. Беспилотная диагностическая платформа будет скользить по несущему тросу и, благодаря загруженной базе данных с длинами пролетов всех обслуживаемых районом КС перегонов и станций, сможет беспрепятственно перелетать через бугели и ригели опор контактной сети. Разрабатываемое устройство должно учитывать все особенности контактной сети.

Среди основных причин отказов на сопряжениях контактной сети выделяют следующие:

- высота контактного провода выходит за пределы допустимого диапазона из-за изменения температуры окружающей среды;
- ослабление болтовых зажимов на клеммах узлов контактной сети из-за человеческого фактора или вибраций от поездов;

- обрыв струн контактной сети из-за сверхнормативных сроков использования;
- недопустимое отклонение контактного провода от оси пути по причине недопустимого наклона опоры контактной сети.

Для обнаружения указанных неисправностей планируется оборудовать БПЛА датчиком, который будет сравнивать фактические значения параметров КС (высота контактного провода, зигзаг, вертикальное и горизонтальное расстояние между рабочей и нерабочей ветвями контактной сети) со значениями, которые заданы в паспорте контактной сети. В перспективе БПЛА сможет определять параметры не только проводов КС, но и опорного хозяйства, такие как габарит опоры от крайней головки рельса, наклон опоры относительно оси пути (при помощи прибора УГК-1) [3]. Для эффективной работы нужно запрограммировать БПЛА таким образом, чтобы он мог проводить не только проверку состояния контактной сети, но и регулировку и ремонт узлов (например, мог подтянуть болтовой зажим на клеммах контактной сети или заменить оборванную струну контактной сети).

В настоящий момент осуществление этой идеи остается под вопросом, поскольку требует больших технических и финансовых затрат, но уже на этапе планирования очевидно, что это даст большой толчок к внедрению БПЛА на железной дороге.

Рассмотрим примеры работы БПЛА при повреждениях на сопряжении анкерных участков КС.

Машинист электроподвижного состава заявляет об обрыве простой струны на сопряжении анкерного участка, указывая номер пути, перегон, опоры контактной сети, а также километр и пикетаж. Передав диспетчеру, что работа будет выполнена по распоряжению номер № X, два работника района контактной сети берут

Таблица 1

Характеристики БПЛА, используемых для проверки состояния ЛЭП

Параметр	Вид БПЛА			
	«Стрекоза»	«Паук»	«Муха»	«Муравей»
Тип	Гексакоптер (6 двигателей)	Гексакоптер (6 двигателей)	Квадрокоптер (4 двигателя)	Октокоптер (8 двигателей)
Габариты	1400×1650×600	1450×1660×500	1000×1400×500	1550×1450×1200
Дальность связи	до 5 км	до 5 км	до 5 км	до 5 км
Тип и количество батарей	2x Li-Po 6S 16000mah	2x Li-Po 6S 16000mah	2x Li-Po 6S 16000mah	4x Li-Po 6S 16000mah
Масса	18,9 кг	17,5 кг	11,2 кг	40 кг
Время полета	12 мин 30 с	15 мин	20 мин	15 мин

с собой инструмент и комплект БПЛА, состоящий из летательной платформы и пульта управления. На служебном транспорте или пригородном электропоезде они добираются до места повреждения. На планшет приходит уведомление о том, что платформа готова к использованию, после чего для своей безопасности один работник уходит в габарит, а второй, имея сигнальные принадлежности, подсказывает своему коллеге о приближающихся поездах. Включив запись, оператор начинает управлять беспилотным летательным аппаратом, с помощью джойстика поднимает БПЛА на высоту, подводит его к простой струне контактной сети и на экране планшета видит причину обрыва.

Например, с контактного провода слетел струновой зажим КС-0,46. Для восстановления зажима БПЛА приземляется на контактный провод, с помощью клешни надевает клемму на фаску контактного провода и при помощи встроенной головки закручивает сначала болт, а потом контргайку с заданным значением Ньютон-метр. Поскольку на зажимах контактной сети в основном применяются болты и контргайки на 14, 17 и 19 мм, предлагается оборудовать БПЛА встроенными головками для данных размеров. После этого работник района КС с помощью клешни приподнимает контактный провод, чтобы проверить состояние звеньев струны на износ. Износ металлической струны не должен превышать 30 % их полной площади сечения.

Еще один пример — обрыв струны из-за износа нижнего колена звеньевой струны. В данном случае полностью раскручивается стыковой зажим. Оператор опускает БПЛА на землю, чтобы поместить в клешню новое нижнее звено с новой клеммой КС-0,46, или надевает новое колено на уже имеющийся струновой зажим, если его износ не превышает 30 %. Затем летательная платформа поднимается на высоту, и производится монтаж нижнего колена звеньевой струны на контактный провод. Если контактная подвеска с одинарным контактным проводом, то работник при помощи клешни вводит верхнее звено в кольцо нижнего звена и на-

дежно закручивает проволоку. Если контактная подвеска с двумя контактными проводами, то после монтажа нижнего колена на контактный провод оператор БПЛА раскручивает верхнее колено от нижнего, производит осмотр нижнего колена струны на втором контактном проводе, при необходимости производит замену колена. Если оба колена имеют износ менее 30 % от общего сечения проволоки, то производится та же самая операция, что и при одинарном контактном проводе. После этого работник еще раз проверяет правильность монтажа струны, а также надежность закрепления клемм, опускает БПЛА на землю, собирает инструмент и уведомляет энергодиспетчера об окончании работ.

Вывод

Использование БПЛА для мониторинга технического состояния сопряжения анкерных участков контактной сети является перспективным направлением и будет иметь ряд несомненных преимуществ:

1. Повышение производительности труда.
2. Увеличение скорости диагностики, так как БПЛА преодолевает перегон в разы быстрее, чем работник района контактной сети пешком.
3. Снижение роли человеческого фактора, так как фотографии и записи полета будут сохранены.
4. Снижение уровня травматизма и числа случаев гибели работников на железнодорожных путях и на высоте, так как при работе с БПЛА не нужно выходить на железнодорожные пути или подниматься на высоту.
5. Способность БПЛА работать на линии, находящейся под напряжением, возможность производить осмотр устройств КС без перерыва движения поездов.
6. Работы с БПЛА можно производить по распоряжению, следовательно, не нужно писать наряд, выдавать его, а также отправлять на проверку энергодиспетчеру, что позволяет сократить время при аварийной ситуации. **ИТ**

Список литературы

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М., 2023. 40 с.
2. Иванов Н. О., Куляс Д. И., Шаховцев Я. В. Мониторинг и диагностика воздушных линий электропередачи с применением беспилотных летательных аппаратов // Технические науки. 2023. №9(84). С. 223–229.
3. Ковалев А. А. Формирование управляющих воздействий контактной сети с учетом процесса разрегулировок опор : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Ковалев Алексей Анатольевич. Екатеринбург, 2008. 142 с.

References

1. Rules of technical operation of electrical installations of consumers. M., 2023. 40 p.
2. Ivanov N. O., Kulyas D. I., Shakhovtsev Ya. V. Monitoring and diagnostics of overhead power transmission lines using unmanned aerial vehicles // Technical Sciences. 2023. No. 9 (84). P. 223–229.
3. Kovalev A. A. Formation of control actions of the contact network taking into account the process of misalignment of supports : dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.22.07 / Kovalev Alexey Anatolyevich. Yekaterinburg, 2008. 142 p.



**Александр Васильевич
Смолянинов**

Aleksandr V. Smol'yaninov



**Дмитрий Александрович
Баранов**

Dmitrij A. Baranov



**Константин Михайлович
Колясов**

Konstantin M. Kolyasov

Погонная нагрузка как фактор увеличения провозной способности железных дорог

Linear load as a factor in increasing the carrying capacity of railways

Аннотация

В статье анализируются конструктивные решения в вагоностроении, направленные на повышение погонной нагрузки. Одним из первых конструктивных решений стало уменьшение длины крытого вагона по осям сцепления на 360 мм, что привело к увеличению веса поезда на 150 т. Проектирование грузовых полувагонов в габарите ТПР с осевой нагрузкой 25 и 27 тс позволило сократить длину вагона по осям сцепления с 13,29 до 12,1 м. В этом случае на длине поезда из 71 типового инновационного вагона расположится 81 вагон габарита ТПР с весом поезда до 8200 т. В последнее время разрабатываются проекты восьмиосных полувагонов, состоящих из двух секций, обращенных друг к другу, соединенных между собой сцепным устройством с поглощающими аппаратами. Восьмиосные полужесткие сцепы вписаны в габарит 1-Т и ТПР. Длина полувагонов по осям сцепления составляет 24,7 и 21,96 м, при этом погонная нагрузка – 8,036 (вес поезда 8 тыс. т) и 9,107 тс/м (вес поезда 9 тыс. т), что позволяет увеличить провозную способность железных дорог на 12,6 и 26 % соответственно.

Ключевые слова: инновационный грузовой вагон, погонная нагрузка, длина вагона, длина поезда, вес поезда, восьмиосные грузовые вагоны, сцепное устройство, провозная способность.

Abstract

The article analyzes constructive solutions in car building aimed at increasing the running load. One of the first design solutions was to reduce the length of the covered wagon along the coupling axes by 360 mm, which led to an increase in the weight of the train by 150 tons. The design of cargo gondolas in the size of the TPR with an axial load of 25 and 27 tc made it possible to reduce the length of the wagon along the coupling axes from 13.29 to 12.1 m. In this case, 81 wagons of the TPR size with a train weight of up to 8,200 tons will be located on the length of the train out of 71 typical innovative wagons. Recently, projects of eight-axle gondola cars have been developed, consisting of two sections facing each other, connected by a coupling device with absorbing devices. The eight-axle semi-rigid couplings are inscribed in the 1-T and TPR dimensions. The length of gondola cars along the coupling axes is 24.7 and 21.96 m, while the running load is 8,036 (train weight 8 thousand tons) and 9,107 t/m (train weight 9 thousand tons), which allows to increase the carrying capacity of railways by 12.6 and 26%, respectively.

Keywords: innovative freight car, linear load, wagon length, train length, train weight, eight-axle freight cars, coupling device, carrying capacity.

Авторы Authors

Александр Васильевич Смолянинов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны», Уральский государственный университет путей сообщения (Ур-ГУПС), Екатеринбург | **Дмитрий Александрович Баранов**, студент, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Константин Михайлович Колясов**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Вагоны», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Aleksandr V. Smol'yaninov, Doctor in Technical Sciences, Professor, "Wagons" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Dmitrij A. Baranov**, student, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg | **Konstantin M. Kolyasov**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of department "Wagons", Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg

Провозная способность железных дорог в первую очередь определяется весом поезда и во вторую — скоростью движения и интервалом между поездами на участках пути. Провозная и пропускная способность железных дорог имеют одну размерность — тонны. Применительно к провозной способности это вес поезда, складывающийся из веса брутто единицы подвижного состава и их числа в поезде. В случае пропускной способности это суммарный вес поездов, пропущенных на конкретном участке железнодорожного пути за определенный промежуток времени. Провозная способность прямо пропорциональна пропускной способности участка и массе составов поездов, а также существенно зависит от конструктивных схем и параметров вагонов.

Повышение провозной способности за счет увеличения длины поезда (сто и более вагонов) приводит к увеличению веса поезда до 9–12 тыс. т. Увеличение скорости движения и снижение интервалов между поездами ведет к увеличению числа пар поездов, пропущенных на участке железной дороги.

Известно два основных пути повышения провозной способности железных дорог:

1. Развитие сети железных дорог и модернизация инфраструктуры в целях увеличения нагрузки от оси на рельсы и удлинение приема-отправочных путей станций. Этот путь решает долгосрочные стратегические задачи развития транспортной системы, дорогостоящий и требует низкорентабельных (длинных) инвестиций.

2. Внедрение инновационных вагонов, позволяющих существенно повысить массу поезда в рамках существующей инфраструктуры (увеличение числа осей вагона и объема кузова за счет использования больших габаритов, межтележного и межевагонного пространства) [1, 2]. Этот путь оценивается как среднеэффективный, решает задачи обеспечения экономического развития за счет повышения провозной способности, относительно недорогой и высокоэффективный. Эффект повышения провозной способности будет достигнут через 3–5 лет при существующей структуре грузов, увеличение провозной способности обеспечивает до 20–30 % [1].

Производимый сегодня инновационный подвижной состав не позволяет в полной мере реализовать допускаемые параметры инфраструктуры по формированию поезда с нагрузкой от оси на рельсы 25 тс (245 кН) и погонной нагрузке 8,2 тс/м (80,42 кН/м) [3]. Параметр погонной нагрузки является важнейшим показателем оценки эффективности грузового вагона и представляет собой отношение веса брутто вагона к его длине по осям сцепления [4]:

$$q_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{бр}}}{2L_{\text{ос}}} \ll [q],$$

где $P_{\text{бр}}$ — расчетная сила тяжести вагона брутто с учетом положительного отклонения на массу тары, кН; $2L_{\text{ос}}$ — длина вагона по осям сцепления автосцепок, м; $[q]$ — допускаемое значение статической погонной нагрузки на железнодорожный путь от вагона, кН/м; для восьмьюосного вагона $[q] = 102,9$ кН/м (10,5 тс/м) [4, 5].

Повышение погонной нагрузки при неизменной длине приема-отправочных путей станции позволяет увеличить вес поезда и тем самым повысить провозную способность железных дорог. Особенно это важно для грузовых вагонов, перевозящих объемные легковесные грузы. Крытые грузовые вагоны стали одними из первых объектов, на которых были реализованы конструктивные решения, направленные на повышение веса поезда той же длины. Данные вагоны предназначены для перевозки крупногабаритных и относительно нетяжелых грузов, нуждающихся в защите от атмосферных осадков. Как правило, при перевозке таких грузов вагоном не реализуются трафаретная грузоподъемность (ввиду нехватки объема кузова) и осевая нагрузка.

В целях повышения эффективности крытых вагонов в увеличении веса поезда в раме вагона реализована конструкция «утопленная автосцепка» путем заглубления розетки на концевой балке. Типовое исполнение автосцепного устройства на раме вагона предусматривает ее вылет на 610 мм. В конструкциях крытых вагонов моделей 11-066 и 11-217 автосцепки были утоплены с каждой стороны на 180 мм, что привело к уменьшению длины вагона по осям сцепления на 360 мм, а применительно к весу поезда дало его увеличение на 150 т.

Полезная длина приема-отправочных путей сортировочных станций железных дорог может быть 850, 1050 и 1250 м. Для обработки поездов повышенной длины и поездов, в составе которых 100 вагонов и более (вес поезда 9–12 тыс. т), проектируются пути длиной до 1500 м. При этом расчетная длина приема-отправочных путей станции будет составлять минимум 1427 м ($100 \times 13,92$ м + 35 м).

Длина приема-отправочных путей станций главного хода составляет 1050 м, на которых можно расположить 71 условный вагон (длина условного вагона принимается 14,73 м) и локомотив длиной 35 м. Фактическая длина поезда, состоящего из 71 вагона, имеющего длину по осям сцепления 13,92 м, будет равна 988,32 м (табл. 1).

В табл. 1 приведены некоторые параметры инновационных полувагонов, позволяющие оценить их эффективность в увеличении веса поезда.

Инновационные полувагоны первых трех позиций имеют одинаковую погонную нагрузку величиной 7,18 тс/м и позволяют формировать грузовой поезд расчетным весом 7100 т. Грузовые поезда, сформированные из инновационных вагонов весом брутто 100 тс, являются типовыми на Восточном полигоне.

Таблица 1

Параметры инновационных полувагонов

Производитель / модель / год	Грузоподъемность, тс	Объем кузова, м ³	Осевая нагрузка, кН/тс	Длина вагона по осям сцепления, м	Погонная нагрузка, кН/м (тс/м)	Габарит
«Алтайвагон» / 12-2159 / 2018	75 (люк.)	94	245 / 25	13,92	70,5 / 7,18	1-ВМ
УВЗ / 12-196-02 / 2014	75 (люк.)	94	245 / 25	13,92	70,5 / 7,18	1-Т
ОВК (ТВСЗ) / 12-9853 / 2013	75 (люк.)	88	245 / 25	13,92	70,5 / 7,18	1-ВМ
КАВАЗ / 12-1304 / 2010	75 (люк.)	88	245 / 25	13,92	70,5 / 7,18	1-ВМ
12-2123 / 2009	76 (глух.)	89	245 / 25	12,1	81,1 / 8,26	Т _{пр}
РВЗ / 12-9828 / 2008	83 (глух.)	98	265 / 27	12,1	87,5 / 8,92	Т _{пр}

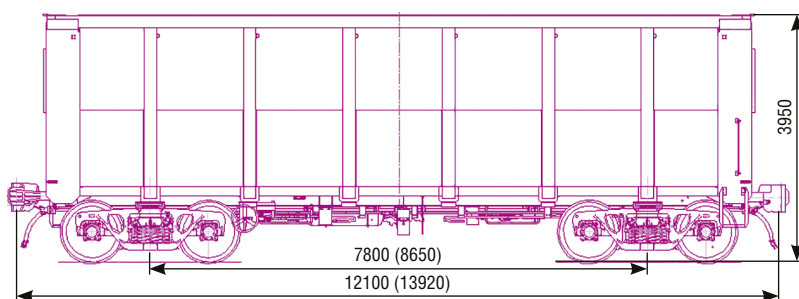


Рис. 1. Вид и основные размеры грузового вагона габарита ТПР (в скобках размеры типового вагона)

В целях увеличения веса поезда ЗАО «Промтрактор-Вагон» (КАВАЗ) в соответствии с конструкторской документацией ОАО «РЖД» начал производить полувагон модели 12-2123 габарита Т_{пр}. Полувагон имеет погонную нагрузку 8,26 тс/м, достигнутую за счет уменьшения длины вагона по осям сцепления до 12,1, и базу 7,8 м при сохранении остальных параметров (рис. 1) [6]. В таком случае на длине поезда из 71 типового инновационного вагона расположится 81 вагон модели 12-2123 с весом поезда от 8100 до 8260 т.

В период 2014–2015 гг. полувагоны данной конструкции использовались при подконтрольных сравни-

тельных испытаниях влияния на напряженно-деформированное состояние верхнего строения пути, земляного полотна и мостовых сооружений при воздействии поездов весом от 2 до 12 тысяч тонн с осевой нагрузкой 23,5, 25 и 27 тс. Осевая нагрузка 27 тс реализовывалась путем загрузки в вагоны 84 т груза (перегруз 8 т).

Воздействие на путь оценивалось путем пропуска на данном участке пути поездов весом 2, 4, 6, 8 и 12 тысяч т. Например, поезда весом 8000 т формировались из 85 вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс длиной 1183 м (без локомотива), 80 вагонов мод. 12-2123 с нагрузкой 25 тс длиной

988 м и 74 вагонов этой же модели с нагрузкой 27 тс длиной 895 м. Полувагоны производства Рославльского вагоноремонтного завода (РВЗ, табл. 1) с осевой нагрузкой 27 тс и погонной нагрузкой 8,92 тс/м (дающие увеличение веса поезда той же длины от 15,5 до 25,6 %) не могут быть допущены на существующую инфраструктуру [3].

Пилотный проект Петербургского государственного университета путей сообщения и ОАО «Рухимаш» посвящен созданию восьмислойной цистерны, состоящей из двух котлов, находящихся на двухосных тележках [7, 8]. Применение котлов безрамной конструкции позволило значительно уменьшить массу тары и увеличить грузоподъемность вагона до 145,5 тс при осевой нагрузке 25 тс (245 кН) [8, 9]. Котел цистерны стопроцентно реализует возможности габарита Т_{пр} по ширине путем создания котла переменного диаметра по его длине (цилиндрическая часть котла на длине полубазы имеет диаметр 3400 мм, консольные части имеют конусную форму с минимальным диаметром 3260 мм). Два котла соединены между собой беззазорным

сцепным устройством (рис. 2), позволившим увеличить длину каждого котла на 290 мм по сравнению с длиной котла вагона аналога мод. 15-1218 [10], оставив расстояние между котлами над сцепным устройством 260 мм. При этом общий объем цистерны составил 192 м³, что на 12 м³ больше суммарного объема двух цистерн-аналогов. Увеличение суммарного объема цистерны позволяет реализовать ресурс грузоподъемности при перевозке светлых нефтепродуктов (бензин, керосин и дизельное топливо). Длина цистерны по осям сцепления составляет 24040 мм, чтократно длине двухосной цистерны, соответствующей шагу загрузочных эстакад (рис. 2) [11].

Восьмиосная цистерна имеет погонную нагрузку, аналогичную нагрузке вагона-аналога, а именно 8,32 тс/м, но при этом она получила статус восьмиосной, для которых допускаемая погонная нагрузка ограничена 10,5 тс/м. В таком случае вес поезда, сформированного из данных цистерн, на длине 1000 м будет равен 8300 тс.

Идея данного проекта в 2023 г. была воплощена компанией «РМ Рейл» по заказу «Федеральной грузовой компании» (ФГК) в виде восьмиосного вагона-цистерны модели 15-1271 для перевозки нефтепродуктов (рис. 3).

Цистерна представляет собой двухсекционный полужесткий сцеп с длиной по осям сцепления 24040 мм, осевой нагрузкой 25 тс, грузоподъемностью 150 тс и суммарным объемом 184 м³ и сможет перевозить на 13,5 % больше светлых и темных нефтепродуктов в сравнении с существующими моделями [12]. ФГК планирует приобрести в 2024–2026 гг. до 10 тысяч восьмиосных цистерн данной конструкции.

Вагоностроительная компания «РМ Рейл» (ОАО «Рузхиммаш») совместно с ОК «РУСАЛ» к началу 2017 г. завершила сертифика-

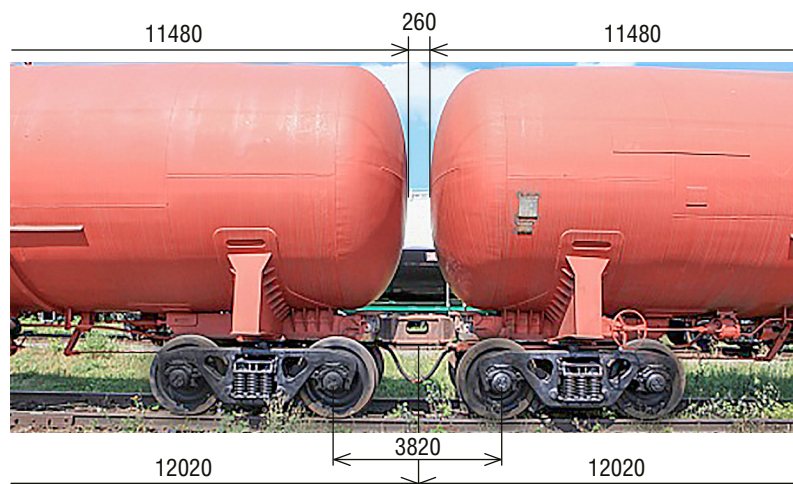


Рис. 2. Жесткий сцеп восьмиосной цистерны



Рис. 3. Общий вид восьмиосной цистерны мод. 151271¹

цию вагона-хоппера из алюминиевых сплавов (кузов) модели 19-1244. Применение алюминиевого сплава в конструкции вагона-хоппера позволило в сравнении с вагоном-аналогом с осевой нагрузкой 25 тс увеличить грузоподъемность до 78 т (против 76,5 т) за счет снижения тары вагона, увеличить коррозионную стойкость и довести срок службы до 32 лет. При этом длина вагона по осям сцепления уменьшена на 200 мм с 14720 до 14520 мм, что привело к увеличению погонной нагрузки с 6,8 до 6,9 тс/м. Маршрутный поезд, состоящий из 65 вагонов-аналогов, имеет длину около 960 м и вес поезда 6,5 тыс. т. В то же время на данной длине разместится 66 ва-

гонов модели 19-1244 с весом 6600 т.

Вагоны-хопперы данной модели выпускаются заводом серийно. Первая партия в количестве 20 штук на условиях аренды была передана перевозчикам минеральных удобрений, организована их подконтрольная эксплуатация [13]. В настоящее время ООО «Первый промышленный оператор» имеет в своем парке 200 алюминиевых хопперов.

В целях значительного повышения провозной способности железных дорог путем увеличения веса поезда на той же инфраструктуре Уральским конструкторским бюро вагоностроения предложен проект восьмиосного жесткого сцепа (рис. 4). Главная цель разработки

¹Фото с сайта Информационного агентства ROLLINGSTOCK Agency (RSA): <https://rollingstockworld.ru/gruzovye-vagony/rzhd-zavershili-predvaritelnye-ispytaniya-vosmiosnoj-czisterny-ot-rm-rejl>

этого проекта — увеличение провозной способности за счет уменьшения расстояния между полувагонами в составе, что ведет к повышению погонной нагрузки и тем самым к увеличению веса поезда той же длины. Это особенно важно для увеличения провозной способности железных дорог Восточного полигона (в границах Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской и Дальневосточной железных дорог).

Проект восьмиосного полужесткого сцепа базируется на инновационном серийно выпускаемом полувагоне модели 12-196-02 [14]. В отличие от данной конструкции каждая секция сцепа уменьшена на размер крышки люка, в сцепе 12 люков вместо 14. Полувагон состоит из двух секций, обращенных друг к другу, соединенных между собой сцепным устройством с поглощающими аппаратами класса не ниже Т2 (рис. 4).

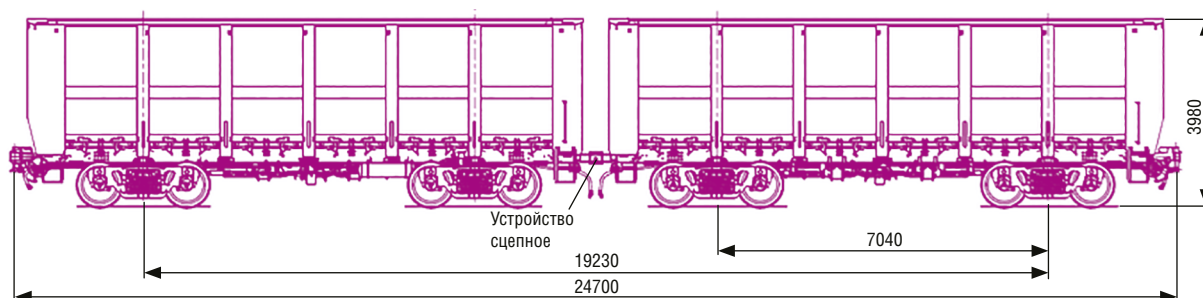


Рис. 4. Общий вид полувагона

Таблица 2

Технические параметры полувагонов

Наименование параметра	Значение параметра		
	Базовая модель 12-196-02	Восьмиосный полужесткий сцеп модели	
		12-5991	12-5992
Грузоподъемность, тс	75	150	151
Масса тары, тс			
минимальная	24	47	47
максимальная	25	50	49
Осевая нагрузка, тс	25	25	25
Коэффициент тары, не более	0,33	0,33	0,32
Геометрический объем кузова, м ³ , не менее	94	176	166
Удельный объем кузова, м ³ /тс	1,253	1,173	1,099
Общее число тележек/осей, шт.	2/4	4/8	4/8
Количество разгрузочных люков, шт.	14	24	20
Номинальная длина по осям сцепления автосцепок, мм	13920	24700	21960
Погонная нагрузка (брутто), тс/м	7,184	8,036	9,107
Номинальная база, мм	8650	19230	16460
Максимальная ширина, мм	3198	3220	3350
Максимальная высота, мм	3800	4000	4100
Габарит	1-Т	1-Т	Т _{ПР}

Сцепное устройство обеспечивает ручное сцепление двух секций вагона, удержание секций на определенном расстоянии друг от друга, передачу и амортизацию продольных усилий, прохождение кривых участков пути малого радиуса и горбов сортировочных горков. Расцепление и сцепление сцепного устройства предусмотрено только в условиях специализированных вагоноремонтных и эксплуатационных предприятий (рис. 5).

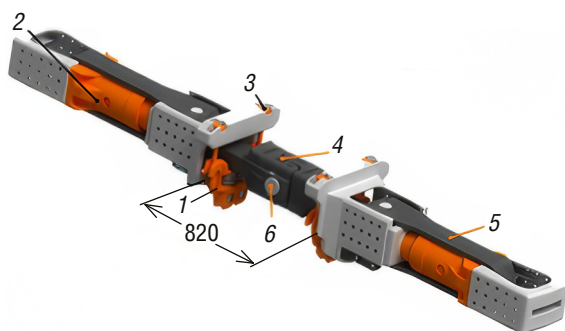


Рис. 5. Твёрдотельная модель сцепного устройства:
1 — центрирующая балочка; 2 — поглощающий аппарат;
3 — подвеска маятниковая; 4 — корпус сцепки;
5 — тяговый хомут

Применение полужесткого сцепного устройства позволяет сократить расстояние между секциями до 820 мм вместо 1220 мм при условии оборудования их типовыми автосцепками. Каждая секция полувагона состоит из следующих составных частей: кузова, включающего в себя раму, оборудованную крышками люков, боковые и торцевые стены; двух двухосных тележек модели 18-194-1 с осевой нагрузкой 25 тс; одного автосцепного устройства с автосцепкой СА-3 полужесткого типа с поглощающим аппаратом класса не ниже Т2; тормоза автоматического пневматического с раздельным торможением тележек и стояночного тормоза с ручным приводом.

В табл. 2 приведены общие сведения об основных параметрах базовой модели и двух вариантов восьмиосных полужестких сцепов.

Сравнительный анализ общего объема перевозимого груза инновационным вагоном 12-196-02 и восьмиосным полужестким сцепом в поезде одинаковой длины показывает, что поезд, сформированный из 71 вагона модели 12-196-02 длиной 988 м с погонной нагрузкой 7,184 тс/м, имеет вес 7100 т, а поезд той же длины, сформированный из восьмиосных вагонов (40 шт.) с погонной нагрузкой 8,036 тс/м, весит 8000 т, т.е. увеличение провозной способности составляет более чем 12,6 %, и дополнительных вложений в инфраструктуру не требуется. Секция сцепа имеет повышенную высоту от уровня головки рельсов (табл. 2).

Инновационные вагоны моделей 12-2123 и 12-9828 (табл. 1), разработка которых была нацелена на уве-

личение числа вагонов в составе поезда посредством уменьшения их длины, вписаны в габарит Т_{пр}. Проект полужесткого восьмиосного сцепа вписан в габарит 1-Т, что повышает его вездеходность в сравнении с конкурентами.

Анализируя параметры, следует заметить, что восьмиосный полужесткий сцеп имеет меньший удельный объем кузова. Это не позволит реализовать проектную грузоподъемность при перевозке легких углей (удельным весом менее 0,858 т/м³). Разгрузка сцепа возможна только на тандемных вагоноопрокидывателях, при этом сцеп не входит в большинство вагоноопрокидывателей по высоте. Крупнейший потребитель инновационных вагонов (Сибирская угольная энергетическая компания [2]) установил ограничения по высоте 3,8 м и по ширине 3,2 м.

Таким образом, благодаря увеличению веса поезда той же длины и грузоподъемности подвижного состава путем уменьшения расстояния между полувагонами и повышения высоты кузова, а также за счет применения полужесткого сцепа сохранена осевая и погонная нагрузка в пределах допустимых значений [3], что означает пригодность к использованию данного подвижного состава на имеющейся инфраструктуре железнодорожного транспорта без ее изменений или доработок. Также сцеп может использоваться на большинстве железнодорожных магистралей благодаря вписыванию в габарит 1-Т.

В то же время конструкторами Уральского конструкторского бюро предложен второй восьмиосный полувагон (двухсекционный полужесткий сцеп) с улучшенными техническими характеристиками (табл. 2). Полувагон вписан в габарит Т_{пр}, что привело к увеличению ширины вагона до 3350 мм и высоты до 4100 мм. Длина сцепа по осям сцепления уменьшена с 24700 до 21960 мм, при этом каждая секция полувагона имеет 10 люков.

Восьмиосный полужесткий сцеп модели 12-5992 имеет погонную нагрузку 9,107 тс/м, при этом вес поезда той же длины, что и из типовых полувагонов, составит 8990 т, что приведет к увеличению провозной способности более чем на 26 %. Вагон имеет ряд ограничений, вызванных применением габарита Т_{пр}:

- разгрузка на вагоноопрокидывателях невозможна;
- ограничение «всеходности»;
- реализация трафаретной грузоподъемности в 151 т возможна только при перевозке грузов насыпной плотностью 0,91 т/м³ и более.

В марте 2024 г. «Уралвагонзавод» презентовал две модели восьмиосного полужесткого сцепа (рис. 6). Во время презентации вагонов подписано соглашение о сотрудничестве между «Уралвагонзаводом» и «Федеральной грузовой компанией», согласно которому с 2025 г. планируется поставка до 20 тысяч таких

вагонов — по 10 тысяч каждой модели. На первом этапе ФГК возьмет по 200 вагонов для подконтрольной эксплуатации [15]. Сертификацию вагонов предполагается завершить до конца 2024 г. Обе компании УВЗ

и ФГК подчеркнули, что подвижной состав направлен на увеличение провозной способности на Восточном полигоне в соответствии с задачами, поставленными Президентом России. **ИТ**



Рис. 6. Восьмиосный полувагон (двухсекционный полужесткий сцеп)²

Список литературы

1. Лapidус Б. М. Повышение производительности и эффективности железнодорожного транспорта на инновационной основе // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. № 5. С. 3–6. ISSN 2223-9731.
2. Смолянинов А. В., Карматский В. Ф., Колясов К. М. Анализ конструкций, параметров и перспективы развития инновационных грузовых вагонов // Транспорт Урала. 2024. № 1 (80). С. 9–17. ISSN 1815-9400.
3. СТО РЖД 1.07.002-2010. Инфраструктура железнодорожного транспорта на участках обращения грузовых поездов повышенного веса и длины. Технические требования // Система Гарант. URL: <https://base.garant.ru/57420565/> (дата обращения: 15.02.2024).
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. (Изменения и дополнения №1, 2000. Изменения и дополнения № 2, 2002).
5. ГОСТ 34759-2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 26 с.
6. Полувагон модель 12-2123 // Вагон.by: сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве. URL: <https://vagon.by/model/12-2123> (дата обращения 15.09.2023).
7. Бороненко Ю. П., Орлова А. М., Цыганская Л. В., Решетов В. А., Рудакова Е. А. О проекте создания инновационного грузового подвижного состава // Вагоны и вагонное хозяйство. 2011. № 1. С. 35–37. ISSN 1817-6089.

References

1. Lapidus B. M. Improving the productivity and efficiency of long-distance transport on an innovative basis // Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport. 2012. No. 5. P. 3–6. ISSN 2223-9731.
2. Smolyaninov A. V., Karmatsky V. F., Kolyasov K. M. Analysis of structures, parameters and prospects for the development of innovative freight wagons // Transport of the Urals. 2024. No. 1 (80). P. 9–17. ISSN 1815-9400.
3. STO RZD 1.07.002-2010. The infrastructure of the railway transport port in the areas of circulation of freight trains of increased weight and length. Technical requirements. URL: <https://base.garant.ru/57420565/> (accessed: 02/15/2024).
4. Standards for the calculation and design of railcars of the MPS gauge of 1520 mm (non-self-propelled). Moscow: GosNIIV-VNIIZHT, 1996. (Amendments and additions No. 1, 2000. Amendments and Additions No. 2, 2002).
5. GOST 34759-2021. Railway rolling stock. Norms of permissible impact on the railway track and test methods. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. 26 p.
6. Gondola car model 12-2123. URL: <https://vagon.by/model/12-2123> (accessed: 09/15/2023).
7. Boronenko Yu. P., Orlova A. M., Tsyganskaya L. V., Reshetov V. A., Rudakova E. A. On the project of creating innovative freight rolling stock // Wagons and carriage facilities. 2011. No. 1. P. 35–37. ISSN 1817-6089.

²Фото с сайта Информационного агентства ROLLINGSTOCK Agency (RSA): <https://rollingstockworld.ru/gruzovye-vagony/uvz-vypustil-vosmiosnye-poluvagony-pod-perspektivnyj-zakaz-fgk>

8. Романова А. А., Жарова Е. А., Решетов В. А., Хохлов С. В. Инновационный грузовой подвижной состав: технико-экономические параметры // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 3 (34). С. 16–20. ISSN 1994-831X.
9. Атаманчук Н. А., Цыганская Л. В. Направления совершенствования конструкций вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 3 (46). С. 14–17. ISSN 1994-831X.
10. Цистерна для светлых нефтепродуктов модели 15-1218 // Вагон.by: сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве. URL: <https://wagon.by/model/15-1218> (дата обращения: 15.09.2023).
11. Цистерна для светлых нефтепродуктов модели 15-9892 // Вагон.by: сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве. URL: <https://wagon.by/model/15-9892> (дата обращения: 15.09.2023).
12. «РМ Рейл» и ФГК представили новую восьмиосную цистерну для перевозки нефтепродуктов // РМ Рейл. URL: <https://rmrail.ru/news/rm-reyl-i-fgk-predstavili-novuyu-vosmiosnuyu-tsisternu-dlya-perevozki-nefteproduktov/> (дата обращения: 11.03.2024).
13. Вагоны с кузовом из алюминиевых сплавов. URL: <https://railwayexpo.ru> (дата обращения: 15.06.2023).
14. Полувагон модели 12-196-02 // Вагон.by: сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве. URL: <https://wagon.by/model/12-196-02/1671> (дата обращения: 15.09.2023).
15. УВЗ выпустил восьмиосные полувагоны под перспективный заказ ФГК // Официальный сайт информационного агентства ROLLINGSTOCK Agency. URL: <https://rollingstockworld.ru/gruzovye-vagony/uvz-vypustil-vosmiosnye-poluvagony-pod-perspektivnyj-zakaz-fgk/> (дата обращения: 11.03.2024).
8. Romanova A. A., Zharova E. A., Reshetov V. A., Khokhlov S. V. Innovative freight rolling stock: technical and economic parameters // Transport of the Russian Federation. 2011. No. 3 (34). P. 16–20. ISSN 1994-831X.
9. Atamanchuk N. A., Tsyganskaya L. V. Directions for improving the designs of tank wagons for the transportation of petroleum products // Transport of the Russian Federation. 2013. No. 3 (46). P. 14–17. ISSN 1994-831X.
10. Tank for light petroleum products models 15-1218. URL: <https://wagon.by/model/15-1218> (accessed: 09/15/2023).
11. Tank for light petroleum products model 15-9892. URL: <https://wagon.by/model/15-9892> (accessed: 09/15/2023).
12. RM Rail and FGC presented a new eight-axle tank for the transportation of petroleum products // RM Rail. URL: <https://rmrail.ru/news/rm-reyl-i-fgk-predstavili-novuyu-vosmiosnuyu-tsisternu-dlya-perevozki-nefteproduktov/> (accessed: 03/11/2024).
13. Wagons with aluminum alloy bodywork. URL: <https://railwayexpo.ru> (accessed: 06/15/2023).
14. Gondola car model 12-196-02. URL: <https://wagon.by/model/12-196-02/1671> (accessed: 09/15/2023).
15. UVZ has released eight-axle gondola cars for the prospective order of FGK. URL: <https://rollingstockworld.ru/gruzovye-vagony/uvz-vypustil-vosmiosnye-poluvagony-pod-perspektivnyj-zakaz-fgk/> (accessed: 03/11/2024).



Павел Денисович
Капский
Pavel D. Kapski



Роман Болеславович
Ивуть
Roman B. Ivut

Сравнительный анализ потенциала экспедиторов и логистических операторов на рынке транспортно-логистических услуг Республики Беларусь

Comparative analysis of the potential of freight forwarders and logistics operators in the market of transport and logistics services of the Republic of Belarus

Аннотация

В статье проведен анализ особенностей профессиональной деятельности экспедиторов и 3PL-операторов. На примере Республики Беларусь исследованы структурные особенности рынка транспортно-логистических услуг, продуктовые и ценовые предложения экспедиторских компаний и 3PL-операторов. Исследованы факторы, которые влияют на ценообразование на рынке транспортно-логистических услуг. Показано, что ценовой фактор не является главным для клиентов, которым необходима доставка «от двери до двери». Для большей устойчивости логистического бизнеса экспедиторам и логистическим операторам следует развивать услуги мультимодальных перевозок.

Ключевые слова: экспедитор, 3PL-провайдер, логистический оператор, конкуренция, транспортно-логистические услуги, мультимодальная перевозка.

Abstract

The article analyzes the features of the professional activities of forwarders and 3PL operators. Using the example of the Republic of Belarus, the structural features of the transport and logistics services market, product and price offers of forwarding companies and 3PL operators were studied. Factors that influence pricing in the market of transport and logistics services have been studied. It is shown that the price factor is not the main one for customers who require door-to-door delivery. For greater sustainability of the logistics business, freight forwarders and logistics operators should develop multimodal transportation services.

Keywords: forwarder, 3PL provider, logistics operator, competition, transport and logistics services, multimodal transportation.

Авторы Authors

Павел Денисович Капский, аспирант кафедры «Экономика и логистика», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь; e-mail: pavelkap2001@gmail.com | Роман Болеславович Ивуть, д-р экон. наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и логистика», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь; e-mail: atfeco@tut.by

Pavel D. Kapski, PhD student of the Department of Economics and Logistics, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus; e-mail: pavelkap2001@gmail.com | Roman B. Ivut, Doctor of Economical Sciences, Professor, Head of the Department of Economic and Logistic, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus; e-mail: atfeco@tut.by

Введение

Вопросы конкуренции на рынке транспортно-логистических услуг исследованы во многих работах ([1, 2] и др.). Развитие конкуренции на рынке транспортно-логистических услуг способствует повышению качества и эффективности доставки грузов, расширению географии внешнеторговой деятельности национальных компаний. В последнее время в Республике Беларусь отмечается сокращение транзитных перевозок через территорию страны в связи с экономической нестабильностью в странах Европейского Союза. При этом увеличился спрос на транспортно-логистические услуги со стороны крупных маркетплейсов (в частности, «21Век», Wildberries, Ozon и др.). Заказчики транспортно-логистических услуг стремятся оптимизировать соответствующие расходы, ведут анализ поставщиков, их продуктовые и ценовые предложения. При этом, как показывает практика, ценовой фактор не всегда является определяющим при их выборе. В настоящей статье исследованы причины таких решений.

Участники транспортно-логистического рынка

В Республике Беларусь наибольшая доля участников транспортно-логистического рынка приходится на экспедиторов и логистических операторов (3PL-провайдеры) [3, 4]. В качестве экспедиторских компаний выступают, как правило, представители малого и среднего бизнеса, которые оказывают услуги по перевозке. Логистическими операторами, наоборот, являются крупные компании, которые оказывают комплекс услуг по доставке грузов, в том числе хранения. Поэтому в составе пятидесяти ведущих предприятий транспортно-логистического сектора Республики Беларусь только 26 % являются экспедиторскими организациями, которые специализируются на автомобильных перевозках, остальные компании работают как 3PL-операторы.

По белорусскому законодательству экспедитором является лицо или компания (юридическое лицо или индивидуальный предприниматель), осуществляющие организацию, документарное и физическое сопровождение представленного к перевозке груза одним или несколькими видами транспорта, а также несущие ответственность за сохранность груза [5]. В ходе исследования рынка автомобильных перевозок экспедиторы разделялись на группы по следующим критериям:

- 1) по грузоподъемности используемых транспортных средств (ТС):
 - малотоннажные (все ТС с грузоподъемностью до 2 тонн);

- среднетоннажные (все ТС с грузоподъемностью от 2 до 8 тонн);
- крупнотоннажные (все ТС с грузоподъемностью от 8 до 20 тонн);
- смешанные (присутствуют ТС из различных категорий).

2) по грузовместимости кузова используемых ТС:

- малообъемные (все ТС с грузовместимостью кузова до 20 куб. м);
- объемные (все ТС с грузовместимостью кузова от 20 до 50 куб. м);
- сверхобъемные (все ТС с грузовместимостью кузова от 50 до 120 куб. м);
- комбинированные (все ТС с различной грузовместимостью кузова).

3) по возможности оказания услуг по перевозке специфического груза:

- негабаритные (ТС для перевозки негабаритных грузов);
- сверхмассивные (ТС для перевозки грузов массой свыше 20 т);
- цистерны (ТС с типом кузова «цистерна» для перевозки наливных либо насыпных грузов);
- рефрижераторы (ТС с типом кузова «рефрижератор» для перевозки скоропортящихся грузов либо грузов с определенным температурным режимом);
- стандартные (ТС не предназначены для осуществления специфических перевозок).

Под 3PL-провайдером (3PL — от англ. Third-Party Logistics) понимается компания, осуществляющая организацию, таможенное и документарное сопровождение, страхование груза, а также сортировку, укрупнение/разукрупнение и хранение груза на собственных складах, включая обработку грузов на складе без хранения (cross docking) [6, 7].

Исследования показали, что для регулярных перевозок товаров маркетплейсы предпочитают пользоваться услугами нескольких экспедиторов, каждый из которых обладает незначительным количеством транспортных средств, однако в совокупности способных выполнить доставку всей партии груза. Такие экспедиторы предлагают клиентам более низкие тарифы по сравнению с логистическими операторами. К недостаткам экспедиторов можно отнести отсутствие дополнительных услуг (укрупнение, разукрупнение, складирование груза и так далее).

К числу отличий деятельности 3PL-провайдеров от экспедиторов можно отнести более широкий перечень услуг по обработке груза, а также комплексное использование информационных систем для планирования и контроля логистических процессов. Поэтому 3PL-провайдера можно считать следующей ступенью развития экспедитора [8, 9]. Для маркетплейсов предложения 3PL-провайдеров являются более ценными по сравнению с экспедиторами, когда компания выходит на новые

рынки (в других регионах и/или странах) и ей требуется не только перевозка товара, а необходим весь комплекс услуг по доставке («под ключ» со всеми мелочами), в том числе хранение на складе в регионе назначения. Однако стоимость базовых услуг, таких как перевозка, у логистических операторов выше, чем у экспедиторов. Данный тезис подтверждается коммерческими предложениями экспедиторов и логистических операторов на доставку со следующими параметрами: масса груза 4 т; объем до 40 куб. м; тип груза — металлоконструкции сборные; код ТНВЭД — 7308909809; маршрут: Минск — Брест (примерно 350 км); тип упаковки: защитная пленка, целлофан. Ценовое предложение экспедитора (ИП Магильный) — 480 белорусских рублей с НДС (1,37 бел. рубля за км). Ценовое предложение логистического оператора (ООО «Трансгрупплогистик») — 610 белорусских рублей с НДС (1,75 бел. рубля за км). Соответственно, заказчикам услуг, которым не нужен комплекс дополнительных услуг, связанных с доставкой (в частности, складирование), выгоднее заказывать перевозку у экспедитора.

Выводы

Результаты исследований показывают, что тарифы на однотипную перевозку у логистических операторов выше в среднем на 28 %, чем тарифы у экспедиторов. При этом часто логистические операторы покупают услуги по перевозке у экспедиторских компаний, к тарифам которых добавляют свою наценку. Тем не менее клиенты, которым необходима доставка «от двери до двери», предпочитают работать с логистическими операторами, так как у них можно получить комплекс услуг по принципу «одного окна». В состав услуг логистических операторов входят услуги по перевозке, обработке грузов на терминалах при смене видов транспорта, складирование и так далее. Логистические операторы гибко реагируют на спрос, предлагают грузоотправителям нестандартные решения, в том числе с использованием разных видов транспорта. Для большей устойчивости логистического бизнеса экспедиторам и логистическим операторам следует развивать услуги мультимодальных перевозок. **ИТ**

Список литературы

1. Колесников М. В., Бакалов М. В., Задорожный В. М., Бакалов Ю. А. Исследование уровня конкуренции операторских компаний в региональной транспортной системе // Логистика. 2024. № 1. С. 52–56. ISSN 2219-7222.
2. Голомолзин А. Н. О конкуренции и регулировании: теория, история, практика, перспективы. М. : РГ-Пресс, 2021. 176 с.
3. Топ-50. Рейтинг ведущих экспедиторов Ассоциации «БАМЭ» по итогам хозяйственной деятельности за 2023 год. URL: <http://www.baifby.com/page/75>.
4. Каталог предприятий // Электронный ресурс Transinfo.by. URL: <https://catalog.transinfo.by/?profile%5B%5D=3&name=&rating=0&placename=%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D1%80%D1%83%D1%81%D1%8C&idc=1302&idr=0&idcity=0>.
5. Закон Республики Беларусь «О транспортно-экспедиционной деятельности» от 13 июня 2006 г. № 124-З (в ред. Законов Республики Беларусь от 26.12.2007 № 300-З, от 29.11.2010 № 195-З, от 13.07.2016 № 397-З, от 09.11.2018 № 145-З).
6. Ивуть Р. Б. Аутсорсинг в транспортно-логистической системе Республики Беларусь // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 15-й Международной научно-технической конференции. Минск : БНТУ, 2017. Т. 4. С. 169–170.
7. Ивуть Р. Б. Терминологическая структура логистики // Наука — образованию, производству, экономике : материалы Шестой международной научно-технической конференции : в 3 т. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. Минск : БНТУ, 2008. Т. 3. С. 143.
8. Божанов П. В. Логистика и цепи поставок // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 14-й Международной научно-технической конференции. Минск : БНТУ, 2016. Т. 4. С. 206.
9. Галай Т. А., Альшевская О. В. Логистика и управление цепями поставок в таможенной сфере // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 13-й Международной научно-технической конференции. Минск : БНТУ, 2015. Т. 4. С. 182–183.

References

1. Kolesnikov M. V., Bakalov M. V., Zadorozhny V. M., Bakalov Yu. A. Investigation of the level of competition of operator companies in the regional transport system // Logistics. 2024. No. 1. P. 52–56. ISSN 2219-7222.
2. Golomolzin A. N. On competition and regulation: theory, history, practice, prospects. Moscow : RG-Press, 2021. 176 p.
3. Top 50. The rating of the leading forwarders of the BAME Association based on the results of economic activity for 2023. URL: <http://www.baifby.com/page/75>.
4. Business directory // Electronic resource Transinfo.by . URL: <https://catalog.transinfo.by/?profile%5B%5D=3&name=&rating=0&placename=%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D1%80%D1%83%D1%81%D1%8C&idc=1302&idr=0&idcity=0>.
5. The Law of the Republic of Belarus “On Freight Forwarding activities” dated June 13, 2006 No. 124-Z (as amended. Laws of the Republic of Belarus dated 12/26/2007 No. 300-Z, dated 11/29/2010 No. 195-Z, dated 07/13/2016 No. 397-Z, dated 11/19/2018 No. 145-Z).
6. Ivut R. B. Outsourcing in the transport and logistics system of the Republic of Belarus // Science — education, production, economy : materials of the 15th International Scientific and Technical Conference. Minsk : BNTU, 2017. Vol. 4. P. 169–170.
7. Ivut R. B. Terminological structure of logistics // Science — education, production, economics : materials of the Sixth International Scientific and Technical Conference : in 3 volumes / Belarusian National Technical University; editorial board: B. M. Khrustalev, F. A. Romanyuk, A. S. Kalinichenko. Minsk : BNTU, 2008. Vol. 3. P. 143.
8. Bozhanov P. V. Logistics and supply chains // Science — education, production, economics : materials of the 14th International Scientific and Technical Conference. Minsk : BNTU, 2016. Vol. 4. P. 206.
9. Galai T. A., Alshevskaya O. V. Logistics and supply chain management in the customs sphere // Science — education, production, economics : proceedings of the 13th International Scientific and Technical Conference. Minsk : BNTU, 2015. Vol. 4. P. 182–183.



**Александр Валериевич
Мартыненко**
Aleksandr V. Martynenko



**Даниил Сергеевич
Плотников**
Daniil S. Plotnikov

Моделирование объемов отправок городского общественного транспорта

Modeling the volume of shipments for urban public transport

Аннотация

Для организации эффективной работы городского общественного транспорта и планирования развития транспортной инфраструктуры необходимо точное прогнозирование объемов пассажиропотоков. В частности, необходимо прогнозировать объем отправок пассажиров от остановочных пунктов, который зависит от большого количества различных факторов, таких как плотность населения вблизи остановочного пункта, отправляющиеся от него виды транспорта, количество проходящих через него маршрутов и т. п. В настоящей работе предложено моделирование исходящего пассажиропотока на основе регрессионного подхода. Для апробации подхода и определения наиболее подходящих спецификаций уравнений регрессии были использованы данные по объемам посадок пассажиров на остановочных пунктах г. Екатеринбурга, а также открытые данные из базы многоквартирных домов.

Ключевые слова: общественный транспорт, транспортно-пересадочные узлы, численность населения, регрессионный анализ, метод наименьших квадратов.

Abstract

Organizing the effective operation of urban public transport and planning the development of transport infrastructure requires predicting the volume of passenger traffic. In particular, it needs to predict the volume of passenger departures from stopping points, which depends on a large number of different factors, such as the population density near the stopping point, the types of transport departing from it, the number of routes passing through it, etc. In this article, we propose modeling outgoing passenger traffic based on a regression approach. To test the approach and determine the most appropriate specifications for regression equations, data on passenger boarding volumes at bus stops in Ekaterinburg, as well as open data from the database of apartment buildings, were used.

Keywords: public transport, transport hubs, population, regression analysis, least squares method.

Авторы Authors

Александр Валериевич Мартыненко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: AMartynenko@usurt.ru | **Даниил Сергеевич Плотников**, студент гр. С0т-410 электротехнического факультета, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: daniilrew@mail.ru

Aleksandr V. Martynenko, Ph. D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, "Natural Sciences" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: AMartynenko@usurt.ru | **Daniil S. Plotnikov**, student SST-410 group, Elektrotechnical Faculty, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: daniilrew@mail.ru

В современном обществе эффективное функционирование транспортной инфраструктуры играет ключевую роль в обеспечении продуктивного развития городов и регионов. Информация об объемах пассажиропотоков, отправляющихся от остановочных пунктов (ОП), необходима для эффективного управления и планирования развития транспортной сети. Объемы пассажиропотоков зависят от различных факторов: вида транспорта (автобус, трамвай, троллейбус), населенности в близлежащих районах, наличия станции метро, общего количества маршрутов, отправляющихся от данного ОП, и др. Понимание этих зависимостей позволяет повысить эффективность работы общественного транспорта, улучшить его доступность для горожан и повысить уровень комфортности перевозок.

Моделирование и прогнозирование пассажиропотоков является неотъемлемой частью процесса принятия решений в сфере транспорта. В частности, прогнозирование пассажиропотоков необходимо для оценки результатов инвестиций в транспортную инфраструктуру. Для моделирования и прогнозирования пассажиропотоков используют различные методы: регрессионный анализ, имитационное моделирование, машинное обучение, географические информационные системы (ГИС). Например, в работе [1] рассмотрено моделирование пассажиропотоков для межмуниципального автобусного сообщения методом временных рядов. В статье [2] обсуждался вопрос адекватности применения гравитационной модели для моделирования пространственного распределения пассажиропотоков в железнодорожном сообщении дальнего следования. Исследование [3] также посвящено моделированию пространственного распределения пассажиропотоков на основе методов геоинформационного анализа. Примером использования методов агентного моделирования является работа [4], где изучаются вопросы планирования перевозки пассажиров с учетом особенностей пунктов отправления и прибытия. Отметим также, что имитационные модели активно используются для создания цифровых двойников, на основе которых осуществляется оперативное управление и контроль работы крупных транспортных предприятий [5]. Детальное изложение различных аспектов моделирования пассажиропотоков можно найти в монографии [6].

Для анализа пассажиропотоков очень важна информация об объемах отправок пассажиров от остановочных пунктов, поскольку именно она в первую очередь используется при создании и модификации маршрутной сети населенных пунктов и формировании расписания движения транспортных средств (ТС) по маршруту. При этом для проведения анализа отдельные близлежащие остановочные пункты удобно объединять в транс-

портно-пересадочные узлы (ТПУ). Исследованию вопросов функционирования ТПУ, принципов их наиболее эффективного расположения, объемов порождаемых и поглощаемых ими пассажиропотоков, а также многим другим проблемам посвящено большое количество исследований.

Для эффективного функционирования транспортной системы города разрабатываются концепции формирования ТПУ [7], которые направлены на формирование маршрутов мультимодальных пассажирских перевозок [8]. Формирование новых ТПУ, объединяющих различные маршруты транспорта, а также реконструкция существующих ТПУ направлена на повышение качества транспортных услуг как для пассажиров, проживающих вблизи ТПУ, так и для тех, кто использует ТПУ для пересадки между маршрутами [9]. Создание ТПУ полностью соответствует современной методологии развития города в парадигме «город для людей» [10]. Естественно, планировочная задача по формированию ТПУ должна основываться на точных инструментах моделирования и прогнозирования пассажиропотоков в ТПУ в зависимости от различных внешних факторов.

Цель данной работы заключается в моделировании методами регрессионного анализа исходящих из ТПУ пассажиропотоков на основе данных о численности и пространственном распределении населения Екатеринбурга.

Исходными данными для проводимого исследования послужили:

- информация о транзакциях пассажиров в системе оплаты проезда компании «И-сеть»;
- инфраструктурные данные о маршрутах и остановках общественного транспорта г. Екатеринбурга;
- информация о движении транспортных средств на основании навигационных данных¹;
- данные из Реестра домов Фонда развития территорий по Свердловской области².

Платежные данные для каждой выполненной транзакции содержат номер транспортного средства, маршрут, вид платежа (наличный или безналичный), идентификатор платежного средства для безналичного платежа (номер банковской или транспортной карты), время проведения операции. Навигационные данные, передаваемые с интервалом 30 секунд (согласно нормативному документу [11]), содержат номер транспортного средства, маршрут, время фиксации данных геопозиционирования, широту, долготу, скорость и направление движения ТС. На основе этой информации можно осуществить анализ и оценку объемов посадок пассажиров в общественном транспорте на различных остановках.

Общая информация об исходных платежных и навигационных данных приведена в табл. 1.

¹ Информация доступна на сайте <http://маршрут.екатеринбург.рф/>

² Информация доступна на сайте <https://auc.fpm.ru>

Статистические данные по транспорту г. Екатеринбурга

Сравнительная характеристика	Автобус	Трамвай	Троллейбус	Метро
Количество маршрутов	67	30	16	1
Количество ТС	965	321	191	17
Количество остановок	1128	315	284	9
Перевезено пассажиров, чел.	340011	221117	82297	113870
Доля пассажиров, %	44,9	29,2	10,87	15,04
Среднее количество пассажиров на остановочный пункт	301	702	290	12652

Все близлежащие остановки были объединены в транспортно-пересадочные узлы (ТПУ). Пример одного из таких ТПУ представлен на рис. 1.

Данные из реестра домов представляют собой выгрузку нескольких таблиц с портала «Фонд развития территорий» (бывш. «Реформа ЖКХ»). Таблицы содержат адреса, этажность, жилую площадь квартир и домов, а также примерное количество человек, проживающих в домах и квартирах. Для каждого жилого дома было определено ближайшее ТПУ. Таким образом, дома были разбиты на группы, каждая из которых представляет собой все дома, для которых ближайшим является одно и то же ТПУ. Фрагмент карты города с разбиением ТПУ на группы представлен на рис. 2.

На пассажиропоток из ТПУ влияет большое количество факторов, поэтому основная задача моделирования объема пассажиропотока из ТПУ заключается в отборе значащих факторов и выборе адекватной зависимости пассажиропотока от этих факторов.

В настоящей работе рассматриваются следующие факторы:

- **POP** — населенность всех домов, для которых данное ТПУ является ближайшим;
- **STOP** — количество остановок в ТПУ;
- **BUS** — количество маршрутов автобусов, проходящих через ТПУ;
- **TRAM** — количество маршрутов трамваев, проходящих через ТПУ;
- **TROL** — количество маршрутов троллейбусов, проходящих через ТПУ;
- **METRO** — принимает значение 1, если в ТПУ есть станции метро;
- **RCOUNT** — общее количество маршрутов в ТПУ.

Будем исследовать влияние этих факторов на количество пассажиров (PAS), отправляющихся из ТПУ в утренние часы (с 6:00 до 10:00).

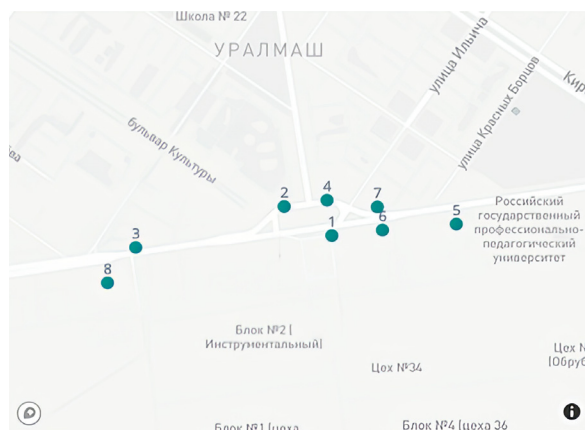


Рис. 1. Пример ТПУ

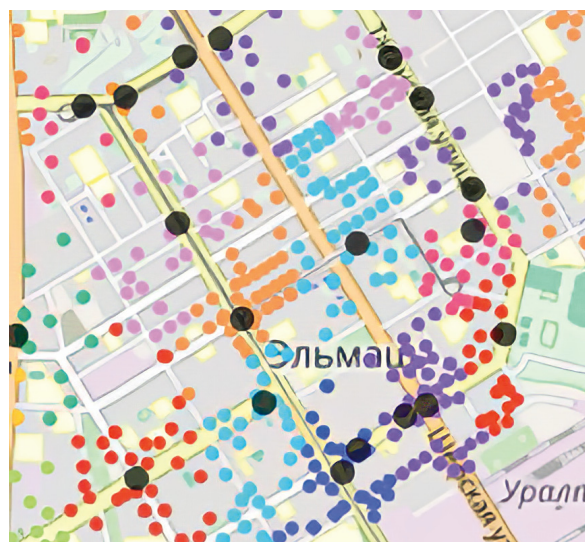


Рис. 2. Разбиение домов на группы по ближайшему ТПУ (дома каждой группы выделены своим цветом, черные точки — центры ТПУ)

Рассмотрим несколько спецификаций регрессионных зависимостей для моделирования пассажиропотока из ТПУ:

I. Модели с учетом разделения по видам транспорта:

а) линейная множественная регрессия:

$$PAS = \beta_0 + \beta_1 POP + \beta_2 STOP + \beta_3 BUS + \beta_4 TRAM + \beta_5 TROL + \beta_6 METRO + \varepsilon; \quad (1)$$

б) степенная множественная регрессия:

$$PAS = \beta_0 \cdot POP^{\beta_1} \cdot STOP^{\beta_2} \cdot BUS^{\beta_3} \times \times TRAM^{\beta_4} \cdot TROL^{\beta_5} \cdot METRO^{\beta_6} \cdot \varepsilon; \quad (2)$$

с) показательная множественная регрессия:

$$PAS = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 POP} \cdot e^{\beta_2 STOP} \cdot e^{\beta_3 BUS} \times \times e^{\beta_4 TRAM} \cdot e^{\beta_5 TROL} \cdot e^{\beta_6 METRO} \cdot \varepsilon; \quad (3)$$

II. Модели без учета разделения по видам транспорта:

а) линейная:

$$PAS = \beta_0 + \beta_1 POP + \beta_2 STOP + \beta_7 RCOUNT + \varepsilon; \quad (4)$$

б) степенная:

$$PAS = \beta_0 \cdot POP^{\beta_1} \cdot STOP^{\beta_2} \cdot RCOUNT^{\beta_7} \cdot \varepsilon; \quad (5)$$

с) показательная:

$$PAS = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 POP} \cdot e^{\beta_2 STOP} \cdot e^{\beta_7 RCOUNT} \cdot \varepsilon.$$

Из данных табл. 1 следует, что среднее количество отправок на одну станцию метрополитена значительно превышает количество отправок для ОП других видов транспорта. Это является следствием хорошо известных свойств метрополитена (выделен-

ная трасса, расположение станций в наиболее оживленных местах и т.п.) и приводит к тому, что пассажиропотоки в ТПУ со станциями метрополитена на два порядка превышают пассажиропотоки в остальных ТПУ. Минимальное количество отправок в ТПУ со станциями метрополитена составляет 21938 человек, а максимальное количество отправок в ТПУ без станций метрополитена — 16056 человек. С точки зрения рассматриваемых моделей значительное превышение пассажиропотока в ТПУ со станциями метрополитена можно трактовать как выбросы данных, не отражающие закономерности формирования пассажиропотоков, присущие остальным ТПУ. Поэтому все представленные модели также будем оценивать на выборке ТПУ, не содержащих станции метрополитена, полагая $\beta_6 = 0$.

Для оценки уравнений будем пользоваться методом наименьших квадратов (МНК), при этом нелинейные уравнения (2), (3), (5), (6) предварительно линеаризуем. Уравнения с разделением по видам транспорта (2), (3) в линеаризованной форме будут иметь вид:

$$\ln PAS = \beta_0 + \beta_1 \ln POP + \beta_2 \ln STOP + \beta_3 \ln BUS + \beta_4 \ln TRAM + \beta_5 \ln TROLL + \beta_6 \ln METRO + \varepsilon; \quad (7)$$

$$\ln PAS = \beta_0 + \beta_1 POP + \beta_2 STOP + \beta_3 BUS + \beta_4 TRAM + \beta_5 TROL + \beta_6 METRO + \varepsilon. \quad (8)$$

Уравнения без разделения по видам транспорта (5), (6) можно линеаризовать аналогичным образом:

$$\ln PAS = \beta_0 + \beta_1 \ln POP + \beta_2 \ln STOP + \beta_7 \ln RCOUNT + \varepsilon. \quad (9)$$

$$\ln PAS = \beta_0 + \beta_1 POP + \beta_2 STOP + \beta_7 \ln RCOUNT + \varepsilon. \quad (10)$$

Результаты применения МНК к уравнениям (1), (7), (8), (4), (9), (10) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение показателей регрессионных моделей (уровень значимости приведен в скобках)

Вид модели	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	R^2
Линейная с разделением видов транспорта (МЛ.1)	-168,7 (0)	0,026 (0)	72,4 (0)	46,7 (0)	37,7 (0)	-0,81 (0,928)	4215,8 (0)	—	0,849
Линейная без разделения видов транспорта (МЛ.2)	-530,6 (0)	0,019 (0,083)	222,9 (0)	—	—	—	—	44,65 (0)	0,473
Линейная с разделением видов транспорта и $\beta_6 = 0$ (МЛ.3)	-210,4 (0)	0,0282 (0)	82,294 (0)	45,48 (0)	38,77 (0)	11,21 (0,074)	0	—	0,654
Степенная с разделением видов транспорта (МС.1)	1,017 (0,001)	0,248 (0)	0,868 (0)	0,609 (0)	0,576 (0)	0,3 (0)	1,73 (0)	—	0,598

Окончание табл. 2

Вид модели	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	R^2
Степенная без разделения видов транспорта (МС.2)	0,383 (0,161)	0,2 (0)	1,07 (0)	–	–	–	–	1,11 (0)	0,644
Степенная с разделением видов транспорта и $\beta_6 = 0$ (МС.3)	0,94 (0,002)	0,248 (0)	0,847 (0)	0,671 (0)	0,605 (0)	0,305 (0)	0	–	0,57
Показательная с разделением видов транспорта (МП.1)	3,489 (0)	0,0001 (0)	0,205 (0)	0,128 (0)	0,132 (0)	0,082 (0,003)	0,499 (0,218)	–	0,519
Показательная без разделения видов транспорта (МП.2)	3,449 (0)	0,0001 (0)	0,229 (0)	–	–	–	–	0,122 (0)	0,516
Показательная с разделением видов транспорта и $\beta_6 = 0$ (МП.3)	3,37 (0)	0,0001 (0)	0,2147 (0)	0,146 (0)	0,135 (0)	0,077 (0,006)	0	–	0,495

Результаты оценки моделей, приведенные в табл. 2, показывают, что наибольший коэффициент детерминации у модели МЛ.1. Это в значительной степени объясняется влиянием элементов выборки с метрополитеном (на рис. 3 они обведены зеленым цветом). Собственно говоря, именно эти значения и обеспечивают столь высокое значение коэффициента детерминации. Как уже было сказано ранее, эти данные можно трактовать как выбросы, поэтому, несмотря на высокий коэффициент детерминации, эта зависимость не очень хорошо отражает закономерности, соответствующие всем остальным ТПУ. По этой причине были построены дополнительные модели, в которых коэффициенты оценивались по выборке ТПУ, не содержащих станций метрополитена и при $\beta_6 = 0$.

Рассмотрение модели без ТПУ с метрополитеном показало, что лучшая зависимость — линейная МЛ.3, у которой коэффициент детерминации меньше, чем у модели МЛ.1, но при этом она гораздо лучше аппроксимирует элементы выборки, соответствующие ТПУ без метрополитена (рис. 3, 4).

При этом отметим, что МЛ.2 имеет самый маленький коэффициент детерминации среди линейных моделей. Напомним, что в данной модели маршруты транспорта, проходящие

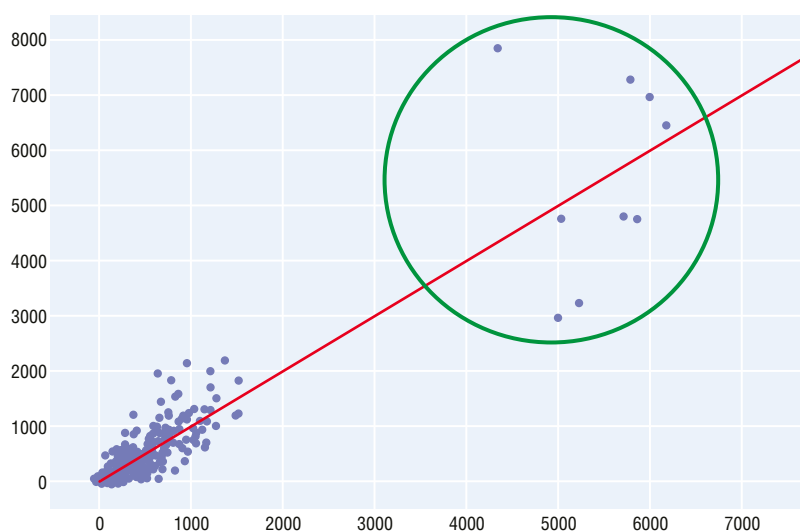


Рис. 3. Сравнение наблюдаемых (ось Y) и прогнозных (ось X) значений (МЛ.1)

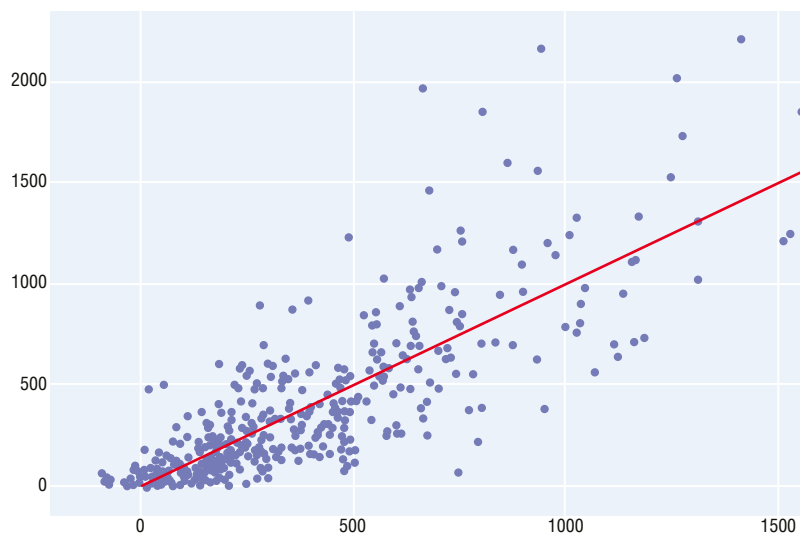


Рис. 4. Сравнение наблюдаемых (ось Y) и прогнозных (ось X) значений (МЛ.3)

через ТПУ, были объединены в общий показатель. Из-за низкого коэффициента детерминации у этих моделей можно сделать вывод, что учет разных видов транспорта в качестве отдельных факторов значительно повышает качество модели.

Таким образом, основываясь на проведенном исследовании нескольких регрессионных моделей, можно сде-

лать вывод, что их точность приемлема для объяснения качественных закономерностей формирования исходящих из ТПУ пассажиропотоков, но для прогнозирования полученных зависимостей этого недостаточно. В дальнейшем авторы планируют продолжить исследования, направленные на поиск и анализ других моделей, которые смогут обеспечить высокую точность прогноза. **ИТ**

Список литературы

1. Мартыненко А. В., Ваколюк К. К. Анализ долговременных тенденций изменения пассажиропотока в межмуниципальном автобусном сообщении // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 2 (58). С. 4–15. ISSN 2079-0392.
2. Мартыненко А. В., Сайфутдинов Д. Ж. Адекватность гравитационной модели для железнодорожных пассажиропотоков // Мир транспорта. 2023. Т. 21, № 1 (104). С. 75–86. ISSN 1992-3252.
3. Лосин Л. А., Булычева Н. В. Исследование влияния стоимости проезда на транспортный спрос методом математического моделирования // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. № 2. С. 179–194. eISSN 2223-9987.
4. Свистунова А. С., Кравец Д. М. Разработка алгоритма доставки пассажиров до аэровокзала путём применения метода агентного моделирования // Системный анализ в проектировании и управлении. 2021. № 3. С. 293–301.
5. Майоров Н. Н., Фетисов В. А. Метод оценки пропускной способности аэровокзального комплекса с помощью имитационного моделирования // Информационно-управляющие системы. 2014. № 6 (72). С. 82–85. ISSN 1684-8853.
6. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. Modelling Transport. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 606 p.
7. Медведев П. В. Формирование транспортно-пересадочных узлов в городах // Вестник университета. 2014. № 11. С. 120–124. ISSN 1816-4277.
8. Ольмезова А. Х. Концепция создания транспортно-пересадочных узлов как основных элементов транспортной инфраструктуры // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. № 4. С. 151–156. eISSN 2658-3569.
9. Свечкар Е. С., Адигеев А. Г. Функционально-планировочные приемы при реконструкции железнодорожных вокзалов и преобразование их в транспортно-пересадочные узлы // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. № 3 (56). С. 104–118. eISSN 1998-4839.
10. Башкаев Т. И. Место транспортно-пересадочных узлов в новой градостроительной парадигме // Architecture and Modern Information Technologies. 2015. № 4 (33). С. 13. eISSN 1998-4839.
11. Об утверждении Правил оснащения транспортных средств категорий М2, М3 и транспортных средств категорий N, используемых для перевозки опасных грузов, аппаратурой спутниковой навигации : Постановление Правительства РФ от 22 декабря 2022 г. № 2216 // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/131791>.

References

1. Martynenko A. V., Vakolyuk K. K. Analysis of long-term trends in passenger traffic in intermunicipal bus service // Herald of the Ural State University of Railway Transport. 2023. No. 2 (58). P. 4–15. ISSN 2079-0392.
2. Martynenko A. V., Sayfutdinov D. J. Adequacy of the gravitational model for railway passenger flows // World of Transport and Transportation. 2023. Vol. 21, No. 1 (104). P. 75–86. ISSN 1992-3252.
3. Losin L. A., Bulycheva N. V. Investigation of the impact of fare on transport demand by the method of mathematical modeling // Bulletin of the results of scientific research. 2022. No. 2. P. 179–194. eISSN 2223-9987.
4. Svistunova A. S., Kravets D. M. Development of an algorithm for delivering passengers to the airport terminal by applying the agent modeling method // System analysis in design and management. 2021. No. 3. P. 293–301.
5. Mayorov N. N., Fetisov V. A. Method of estimating the capacity of the airport complex using simulation modeling // Information and control systems. 2014. No. 6 (72). P. 82–85. ISSN 1684-8853.
6. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. Modelling Transport. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 606 p.
7. Medvedev P. V. Formation of transport hubs in cities // Bulletin of the University. 2014. No. 11. P. 120–124. ISSN 1816-4277.
8. Olmezova A. H. The concept of creating transport hubs as the main elements of transport infrastructure // International Journal of Applied Sciences and Technologies “Integral”. 2020. No. 4. P. 151–156. eISSN 2658-3569.
9. Svehkar E. S., Adigeev A. G. Functional planning techniques for the reconstruction of railway stations and their transformation into transport hubs // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. No. 3 (56). P. 104–118. eISSN 1998-4839.
10. Bashkaev T. I. The place of transport hubs in the new urban planning paradigm // Architecture and Modern Information Technologies. 2015. No. 4 (33). P. 13. eISSN 1998-4839.
11. On approval of the Rules for equipping vehicles of categories M2, M3 and vehicles of categories N used for the transportation of dangerous goods with satellite navigation equipment : Decree of the Government of the Russian Federation dated December 22, 2022 No. 2216 // Government of Russia : official website. URL: <http://government.ru/docs/all/131791>.



**Никита Владимирович
Дмитриев**
Nikita V. Dmitriev



**Матвей Евгеньевич
Медведев**
Matvey E. Medvedev

Использование внешней системы компьютерного зрения для управления группой мобильных роботов

Application of external computer vision system for controlling a group of mobile robots

Аннотация

В работе рассмотрен централизованный подход к совместному управлению группой роботов с помощью внешней системы компьютерного зрения. Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение планирования пути экспериментально проверено на смоделированных рабочих участках в программной среде робототехнического моделирования V-REP для группы из трех мобильных роботов, управление производилось в программе Jupyter-notebook с помощью библиотеки OpenCV.

Ключевые слова: мобильный робот, группа мобильных роботов, централизованное управление, планирование пути, автономная навигация, компьютерное зрение, обработка изображений.

Abstract

The paper considers a centralized approach to the joint management of a group of robots using an external computer vision system. Developed algorithms and path planning software was experimentally tested on simulated work sites in the V-REP robotic modeling software environment for a group of three mobile robots, the control was performed in the Jupyter-notebook program using the OpenCV library.

Keywords: mobile robot, group of mobile robots, centralized control, path planning, autonomous navigation, computer vision, image processing.

Авторы Authors

Никита Владимирович Дмитриев, старший преподаватель кафедры «Мехатроника», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), e-mail: ndmitriev@usurt.ru | **Матвей Евгеньевич Медведев**, магистрант, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

Nikita V. Dmitriev, Senior Lecturer of "Mechatronics" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: ndmitriev@usurt.ru | **Matvey E. Medvedev**, student, Ural State University of Rail-way Transport (USURT), Yekaterinburg

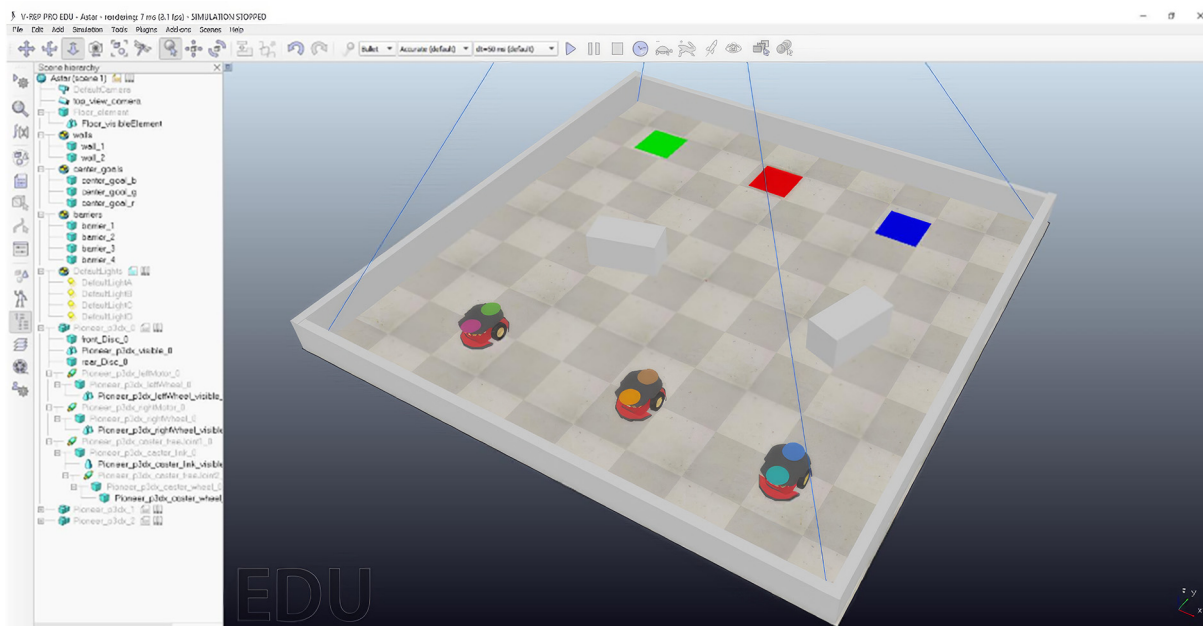


Рис. 1. Пример смоделированного рабочего участка в программе V-REP

Мобильные роботы все чаще стали использоваться для решения различных производственных задач, но основная сфера их применения в настоящее время — обеспечение транспортировки небольших грузов в рамках логистических и складских центров. Особой проблемой при этом является их управление в динамической среде, что вызвано не столько возможным изменением планировки помещения из-за передвижения палет и вероятностью нахождения внутри работников предприятия, сколько совместным влиянием передвигающихся роботов друг на друга [1, 2].

Важно, что использование группы мобильных роботов вместо отдельного робота является единственным способом обеспечения надежности выполняемых операций в условиях, когда среда, статические и динамические объекты могут оказать непоправимое воздействие, например привести к падению или застреванию [3].

Существует два основных подхода для решения поставленной проблемы: использование централизованного и децентрализованного управления [4].

Децентрализованное управление используется прежде всего тогда, когда имеется возможность обеспечить некоторую степень интеллектуализации мобильного робота за счет наличия развитой компьютерной системы контроля [5] и разнообразных датчиков, которые можно отнести к системе компьютерного зрения: ультразвуковых, инфракрасных датчиков и видеокамер [6]. Недостатком такого подхода является необходимость постоянного обмена данными между соседними роботами, что может привести к зашумлению радиоканалов и отказу системы при их высокой концентрации.

Централизованный подход отражает базовый принцип «Индустрии 4.0» — создание киберфизической системы [7], которая подразумевает равномерное распределение вычислительной компоненты в рабочем пространстве. Так как данный аспект уже отражен в исполнительской компоненте поставленной проблемы (передвижение мобильных роботов), то логичным видится и распределение сенсорной части, которую можно реализовать в статичном исполнении, например, расположить видеокамеры в вершинах периодической сетки над рабочим пространством. Централизация при этом достигается единым модулем стратегического планирования движения мобильных роботов, оставляя тактический уровень непосредственно для отдельных роботов, не подразумевая взаимодействия между ними.

При этом необходимо поставить критерий оптимизации движения мобильных роботов [8]. Базовым критерием является время работы мультиагентной системы, перед которой ставится задача о транспортировке грузов из начальных точек в конечные, что при постоянной скорости движения сводится к минимизации траектории; побочными критериями можно поставить также необходимость отсутствия столкновений.

Для исследования поставленной проблемы были смоделированы участки рабочего помещения в системе моделирования робототехнических систем V-REP, обладающей достаточным функционалом для имитирования реальной физики. На участке представлены неподвижные объекты, стены, мобильные роботы поставлены в начальные точки, конечные точки показаны цветными квадратами, сверху расположена видеокамера (рис. 1). По заданию левый робот должен попасть в си-

ний квадрат, правый робот — в зеленый, таким образом, при планировании траекторий обязано произойти столкновение.

Идентификация роботов и направления их движения происходит за счет цветных меток, расположенных на верхней части корпуса роботов. Вместо них можно использовать другие способы идентификации, например штрих- или QR-коды. Тем не менее использование QR-кодов привело бы к необходимости покупки видеокамер со значительным разрешением, а для цветных меток достаточно обеспечить равномерное освещение.

Управление роботами на данном смоделированном участке производилось через Jupyter-notebook на языке Python. Для решения поставленной проблемы был разработан общий алгоритм, показанный на рис. 2.

Алгоритм получения траектории движения роботов (рис. 3) основан на графической обработке изображений, получаемых с видеокамеры, с помощью функций бинаризации и морфологической обработки библиотеки OpenCV.

Для получения текущей траектории был модифицирован алгоритм A* [9], первоначально разработанный для планирования пути мобильного робота Shakey. Модификация алгоритма заключалась в установке зависимости стоимости каждого i -го отрезка траектории g_i от расстояния до ближайшего статического или динамического препятствия R (в оригинальном алгоритме эта стоимость является постоянной):

$$g_i = \begin{cases} 1500, R \leq 35 \\ 15, 35 < R \leq 40 \\ 10, 40 < R \leq 45. \\ 5, 45 < R \leq 50 \\ 1, R > 50 \end{cases}$$

Для обеспечения сокращения времени на реализацию поворотов [10] было произведено итерационное сглаживание траектории с помощью следующей подстановки:



Рис. 2. Общая схема алгоритма управления группой роботов

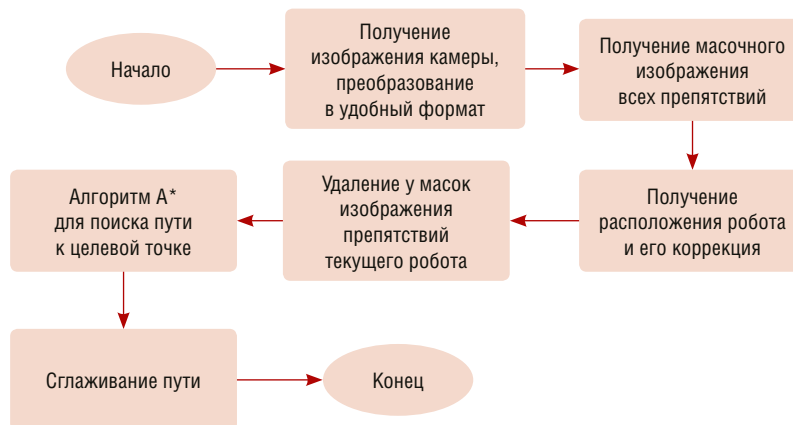


Рис. 3. Алгоритм получения траекторий движения роботов

$$\bar{x}_i \leftarrow \bar{x}_i + \alpha \cdot (x_i - \bar{x}_i) + \beta \cdot \left(\frac{\bar{x}_{i+1} + \bar{x}_{i-1}}{2} - \bar{x}_i \right),$$

где x_i — изначальное значение координаты точки траектории; \bar{x}_i — новое значение координат, $\alpha = 0,5$ — коэффициент отклонения, $\beta = 0,2$ — коэффициент сглаживания.

Пример вычисления начальных и сглаженных траекторий показан на рис. 4.

После получения траектории для задачи управляющих воздействий был использован ПИ-регулятор, получающий на вход угол рассогласования с вычисленной траекторией и расстояние до нее.

При моделировании системы были получены следующие результаты:

1. Для отработки столкновения роботов дополнительно был создан модуль управления, обрабатывающий возможные столкновения: при этом ближайший к целевой точке

робот продолжал движение, а другой (другие) приостанавливал движение.

2. Мобильные роботы по предложенным алгоритмам проявили способность к значительному перестраиванию траекторий, например в случае перекрытия прохода другим роботом, что повышает гибкость работы системы.

3. Повышение частоты перестройки траектории в какой-то момент (в зависимости от моделируемой схемы расстановки объектов в помещении) приводило к ухудшению работы системы из-за неустойчивости управления, при этом низкая частота также приводит к ухудшению за счет падения уровня контроля, что говорит о необходимости дальнейших исследований по поиску оптимума.

4. Время передвижений в участках $4 \times 4 \text{ м}^2$ составило порядка 20 секунд. Стоит учесть, что на смоделированных участках прежде всего исследовалось сложное совместное движение, нехарактерное для общего рабочего пространства. **ИТ**

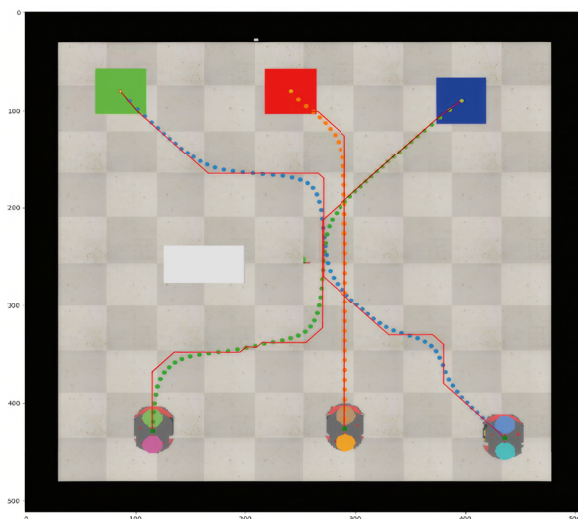


Рис. 4. Полученные начальные и сглаженные траектории движения роботов

Список литературы

1. Коновалов В. Б., Воробьев А. А., Сергеев В. В. Состояние и перспективы создания больших гетерогенных групп робототехнических средств, действующих совместно // Робототехника и техническая кибернетика. 2022. Т. 10, № 3. С. 165–171. DOI: 10.31776/RTCJ.10301.
2. Галин Р. Р., Камешева С. Б. Эффективное функционирование коллаборативной робототехнической системы в едином пространстве // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 1 (99). С. 5–14. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-1-99-5-14.
3. Кондрашова Я. С., Абросимов Э. А. Архитектура программного обеспечения группы мобильных роботов, функционирующих в экстремальных условиях // Экстремальная робототехника. 2021. № 1(32). С. 263–269.
4. Дмитриев Н. В. Моделирование и исследование автоматизированной складской системы с использованием роевой робототехники // Инновационный транспорт. 2023. № 1(47). С. 36–39. DOI: 10.20291/2311-164X-2023-1-36-39.
5. Marroquín A. et al. Mobile Robot Navigation Based on Embedded Computer Vision // Mathematics. 2023. V. 11(11). P. 2561. DOI: 10.3390/math11112561.
6. Шимолин В. В., Дмитриев Н. В. Роботизация больницы с помощью мобильного робота // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2024. № 13. С. 128–130. DOI: 10.26160/2541-8637-2024-13-128-130.
7. Fadeev A. S. et al. Cyber-physical system prototype development for control of mobile robots group for general mission accomplishment // Second Int. conf. on material science, smart structures and applications, ICMSS-2019. AIP Conf. Proc. V. 2195. P. 020020. DOI: 10.1063/1.5140120.
8. Darintsev O., Migranov A. Multi-criteria optimization of the mobile robot group strategy using the ant algorithm // Proc. of 16th Intern. Conf. Electromechanics and Robotics

References

1. Konovalov V. B., Vorobyov A. A., Sergeev V. V. Status and prospects of creating large heterogeneous groups of robotics operating jointly // Robotics and Technical Cybernetics. 2022. V. 10. No. 3. P. 165–171. DOI: 10.31776/RTCJ.10301.
2. Galin R. R., Kamesheva S. B. Effective functioning of a collaborative robotic system in a shared workspace // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 1 (99). P. 5–14. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-1-99-5-14.
3. Kondrashova Y. S., Abrosimov E. A. Software architecture of a group of mobile robots operating in extreme conditions // Extreme robotics. 2021. No. 1(32). P. 263–269.
4. Dmitriev N. V. Modeling and research of the automated warehouse system using role-based robotics // Innotrans. 2023. No. 1(47). P. 36–39. DOI: 10.20291/2311-164X-2023-1-36-39.
5. Marroquín A. et al. Mobile Robot Navigation Based on Embedded Computer Vision // Mathematics. 2023. V. 11(11). P. 2561. DOI: 10.3390/math11112561.
6. Shimolin V. V., Dmitriev N. V. Hospital robotization using a mobile robot // Mechatronics, automation and robotics. 2024. No. 13. P. 128–130. DOI: 10.26160/2541-8637-2024-13-128-130.
7. Fadeev A. S. et al. Cyber-physical system prototype development for control of mobile robots group for general mission accomplishment // Second Int. conf. on material science, smart structures and applications, ICMSS-2019. AIP Conf. Proc. V. 2195. P. 020020. DOI: 10.1063/1.5140120.
8. Darintsev O., Migranov A. Multi-criteria optimization of the mobile robot group strategy using the ant algorithm // Proc. of 16th Intern. Conf. Electromechanics and Robotics

Zavalishin's Readings, Saint-Petersburg, April 14-17, 2021. 2022. V. 232. P. 97-108. DOI: 10.1007/978-981-16-2814-6_9.

9. Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B. A Formal Basis for the Heuristic De-termination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1968. V. 4(2). P. 100-107. DOI: 10.1109/TSSC.1968. 300136.
10. Захаров К. С., Савельев А. И. Сглаживание кривизны траектории движения наземного робота в трехмерном пространстве // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. № 24 (4). С. 107-125. DOI: 10.21869/2223-1560-2020-24-4-107-125.

and Robotics Zavalishin's Readings, Saint-Petersburg, April 14-17, 2021. 2022. V. 232. P. 97-108. DOI: 10.1007/978-981-16-2814-6_9.

9. Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B. A Formal Basis for the Heuristic De-termination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1968. V. 4(2). P. 100-107. DOI: 10.1109/TSSC.1968. 300136.
10. Zakharov K. S., Saveliev A. I. Smoothing the curvature of trajectory of ground robot in 3d space // Proc. of the Southwest State University. 2020. No. 24(4). P. 107-125. DOI: 10.21869/2223-1560-2020-24-4-107-125.



Владимир Николаевич
Коваленко

Vladimir N. Kovalenko

Метод оптимизации алгоритма поиска неисправностей

A method for optimizing the troubleshooting algorithm

Аннотация

В статье приведен краткий обзор способов оптимизации бинарных алгоритмов идентификации отказавшего элемента. Для непрерывного объекта, заданного функциональной схемой, синтезируется математическая модель в виде таблицы функций неисправностей. Используя таблицы, можно вычислить минимальный диагностический тест и построить словарь поиска неисправностей. На основе словаря неисправностей определяется очередность проверки, т. е. строится оптимизированный и эффективный алгоритм бинарной идентификации отказавшего функционального элемента для объекта диагноза в виде графа.

Ключевые слова: проверка, функциональный элемент, корень дерева, алгоритм, оптимизация, оценка эффективности, поиск отказов, виды диагностических тестов, бинарные деревья идентификации.

Abstract

The article provides a brief overview of ways to optimize binary algorithms for identifying a failed element. For a continuous object specified by a functional circuit, a mathematical model has been synthesized in the form of a table of fault functions (TFN). Using the TFN, you can calculate the minimum diagnostic test and build a troubleshooting dictionary. On the basis of the fault dictionary, the sequence of checks has been determined, i.e. an optimized and effective algorithm for binary identification of a failed functional element for the object of diagnosis in the form of a graph has been built.

Keywords: verification, functional element, root of the tree, algorithm, optimization, efficiency assessment, failure search, types of diagnostic tests, binary identification trees.

Авторы Authors

Владимир Николаевич Коваленко, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VKovalenko@usurt.ru

Vladimir N. Kovalenko, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, "Automation, telemechanics and communication in railway transport" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: VKovalenko@usurt.ru

Введение

При современном развитии общества придается огромное значение техническим средствам, которые реализуют алгоритмы управления технологическими процессами. В связи с использованием микроэлектронной элементной базы для построения систем управления происходит усложнение их внутренней структуры, что, в свою очередь, усложняет процесс поиска отказов, который является одной из задач диагноза.

Известно, что техническая диагностика (ТД) — это область науки, которая занимается вопросами распознавания состояний технических объектов, а возможно, и состояния биологических объектов. Такого рода задачи возникают как при производстве изделий, систем и механизмов, так и при их техническом обслуживании и эксплуатации.

Решение таких задач позволяет, во-первых, повысить качество выпускаемой продукции за счет автоматизации процесса контроля при производстве и, во-вторых, уменьшить затраты при техническом обслуживании и ремонте, поиске неисправного элемента или множества элементов, среди которых находится неисправный. Техническая диагностика также решает задачи, которые возникают в процессе эксплуатации: прогнозирование состояния изделия в будущем (проблема прогноза) (решение вопросов технического обслуживания) и определение состояния, в котором изделие находилось в прошлом (задача гене-за) (предотвращение аналогичных отказов в будущем).

Обзор работ по оптимизации алгоритмов

Решение задачи диагноза, поиска неисправного элемента связано с синтезом минимальных или минимизированных диагностических тестов и построением на их основе оптимизированных алгоритмов поиска неисправности. Данная задача привела к развитию особой области знаний, объектом исследования которой являются методы построения оптимальных диагностических тестов (труды П. П. Пархоменко, Е. С. Согомоян и др. [1]). В области систем железнодорожной автоматики проблема решалась в трудах И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников и других ученых [2–4].

С точки зрения информатики алгоритм — это формальное описание вычислительной процедуры преобразования информации с априорно известными критериями эффективности [5, 6]. Часто критерием эффективности алгоритмов выступает вычислительная сложность, т.е. количество проверок, которые необходимо сделать, чтобы достичь конечного результата. Для сравнения бинарных алгоритмов по эффективности в ряде случаев используют оценочные критерии, например время выполнения проверки или критерий, который учитывает как время проверки, так и стоимостные затраты на ее реализацию.

В работах [6] и [7] за критерий эффективности алгоритма принята временная сложность алгоритма для наихудшего случая, обозначенная символом $O(\dots)$. Здесь также показано, что линейный алгоритм поиска отказов имеет линейную сложность, равную $O(n)$, где n — количество проверок, которые необходимо реализовать, чтобы получить необходимый результат. В то же время древовидный алгоритм того же самого процесса имеет сложность $O(\log_2 n)$, т.е. позволяет сократить число проверок для наихудшего случая. Особенно эта разница заметна при больших значениях числа n .

В исследованиях [5–7] показано, что для различных видов бинарных деревьев поиска неисправностей необходимым условием для получения эффективного алгоритма является сбалансированность, а это означает, что высота любой из ветвей дерева не должна отличаться от высоты остальных ветвей дерева более чем на одну проверку (для алгоритмов, имеющих нечетное число проверок). Количество узлов (проверок) ветви дерева от конечного элемента (листа) до корня дерева называют высотой ветви дерева. Как показано в работе [6], при полностью сбалансированном дереве высота равна $\log_2 n$. В том же случае, если полученный алгоритм не удовлетворяет условию сбалансированности, для балансировки применяют операцию поворота бинарного дерева [6].

Для балансировки поворот осуществляется в сторону ветвей с наименьшей длиной. Корень дерева переносится в тот узел ветви дерева, который позволяет получить сбалансированное дерево поиска. Пример балансировки бинарного дерева идентификации отказа, заданного линейным графом, приведен на рис. 1.

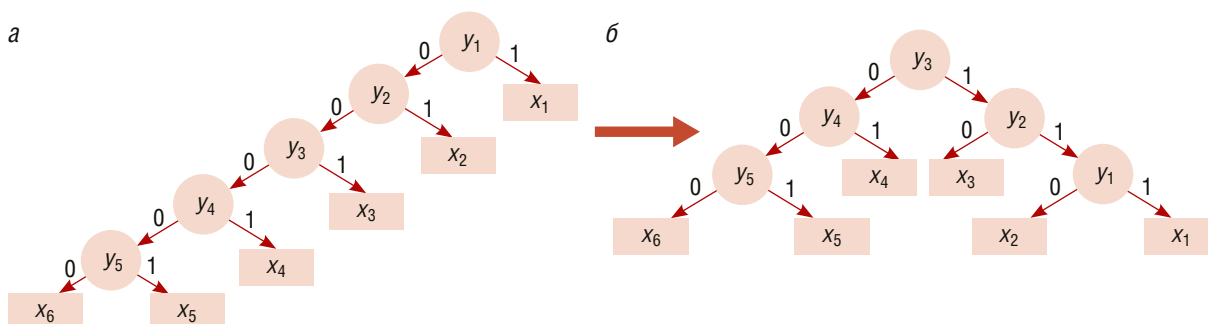


Рис. 1. Процесс поворота бинарного дерева идентификации отказа [3]

Как следует из рис. 1, производится смена корня, т.е. в качестве первой проверки взята проверка y_3 вместо проверки y_1 . Таким образом, число проверок для идентификации отказавшего элемента для самого наихудшего случая сократилось с пяти проверок до трех, т.е. эффективность алгоритма повысилась и стала равной $O(\lceil \log_2 n \rceil)$.

В ОАО «РЖД» действует стандарт (СТО РЖД 1.05.515.2-2009), который предусматривает разделение условий, влияющих на характеристики качества движения поездов, на немногочисленные важные и многочисленные несущественные. Для определения этого перечня можно использовать диаграмму Парето. Для этих целей в работе [7] предлагается новая метрика оценивания эффективности алгоритма идентификации отказавшего элемента в виде аналитического выражения:

$$C^R = \sum_{j=1}^n \left(\left[\sum_{i=1}^m C(Y_i) \right] \cdot P(X_j) \right), \quad (1)$$

где n — количество наиболее частых дефектов; m — количество проверок по алгоритму до обнаружения j -й неисправности; $C(Y_i)$ — стоимость проверки; $P(X_j)$ — вероятность появления j -й неисправности.

Метод оптимизации алгоритма идентификации неисправного элемента

Для синтеза проверяющих и диагностических тестов, который осуществляется на абстрактном этапе синтеза, необходимо иметь формальное описание объекта диагноза.

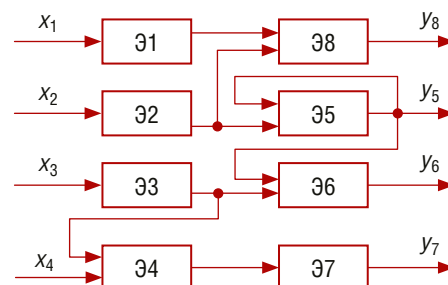


Рис. 2. Функциональная схема объекта диагноза

Формальное описание объекта диагноза, которое определяет его поведение как в исправном, так и в неисправных состояниях, называют математической моделью объекта диагноза [8].

Для решения этой задачи для непрерывного объекта диагноза может быть использована логическая математическая модель в виде таблицы функций неисправностей (ТФН). В ТФН входные и выходные сигналы в случае использования логической модели приводятся к виду «в норме» или «не в норме», т.е. реализуется так называемый допусковый контроль. При этом сигналу в «норме» соответствует логическая единица (1), а сигналу «не в норме» — логический ноль (0).

ТФН (табл. 1) составляется по функциональной схеме непрерывного (аналогового) объекта диагноза, который, как правило, представляется в виде его функциональной схемы. В рассматриваемом примере такая функциональная схема приведена на рис. 2. Затем определяется множество неисправностей, относительно которых строится и вычисляется ТФН. В данном примере построения ТФН в качестве множества неисправностей рассматриваются только однократные неисправности

Таблица 1

Таблица функций неисправностей

Проверка	Результат R_i проверки для системы, находящейся в состоянии S_i								
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
π_1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_2	1	1	0	1	1	1	1	1	1
π_3	1	1	1	0	1	1	1	1	1
π_4	1	1	1	0	0	1	1	1	1
π_5	1	1	0	1	1	0	1	1	1
π_6	1	1	0	0	1	0	0	1	1
π_7	1	1	1	0	0	1	1	0	1
π_8	1	0	0	1	1	1	1	1	0

(состояния) функциональных элементов. Вычисления выполнены в соответствии с методикой, изложенной в [2]. В табл. 1 буквой π_i обозначена i -я элементарная проверка, буквой S_i — i -е неисправное состояние (i -я неисправность) объекта диагноза.

На пересечении строки и графы проставляется результат проверки R_i^j . Для логической модели результат проверки определяется из множества результатов проверок $R_i^j \in \{0,1\}$.

Математическая модель объекта диагноза содержит всю необходимую информацию для синтеза проверяющих тестов (T_n) и диагностических тестов (T_d).

Каждая графа ТФН задает некоторую функцию, определяемую на множестве проверок π_i . Для вычисления проверяющих и диагностических тестов использовался аппарат булевых функций [2]. В статье не рассматривается процесс вычисления тестов, но приводятся основы теории, которые позволяют это выполнить. Представлены только конечные результаты вычисления проверяющих и диагностических тестов. Например, состояние S_0 (состояние исправного объекта диагноза) обозначим буквой F как функцию исправного объекта диагноза, а fi — функцию i -го состояния неисправного объекта. Для построения проверяющего теста вычисляют проверяющие функции в соответствии со следующим логическим выражением:

$$\varphi i = F \otimes fi. \quad (2)$$

Проверяющий тест вычисляют как логическое произведение проверяющих функций:

$$T_n = \varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_n. \quad (3)$$

Для определения диагностического теста вычисляются различающие функции $\varphi i, j$ в соответствии со следующим логическим выражением:

$$\varphi i, j = fi \otimes fj. \quad (4)$$

Первый вариант диагностического теста вычисляется как логическое произведение различающих функций. Этот тест используется в том случае, если заранее известно, что объект неисправен.

$$T_d = \varphi_{1,2} \varphi_{1,3} \dots \varphi_{n-1,n} \quad (5)$$

Второй вариант диагностического теста вычисляется как логическое произведение различающих функций и проверяющего теста и используется в том случае, если заранее не известно состояние объекта диагноза.

$$T_d^* = T_n \varphi_{12} \varphi_{13} \dots \varphi_{n-1,n} \quad (6)$$

Для построения проверяющих и диагностических тестов также может быть применен ряд методов, на-

пример метод, использующий таблицы покрытий, который приведен в [8].

Процесс построения минимальных проверяющего и диагностических тестов первого и второго варианта приводится без изложения вычислений, так как они не являются предметом этой статьи.

$$\begin{aligned} T_n &= \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \varphi_4 \cdot \varphi_5 \cdot \varphi_6 \cdot \varphi_7 \cdot \varphi_8 = \\ &= (\pi_1 \vee \pi_8)(\pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_8) \wedge \\ &\wedge (\pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_6 \vee \pi_7)(\pi_4 \vee \pi_7)(\pi_5 \vee \pi_6) \pi_6 \pi_7 \pi_8 = \\ &= \pi_6 \pi_7 \pi_8. \end{aligned} \quad (7)$$

Минимальный диагностический тест первого варианта T_d содержит пять проверок и равен:

$$T_d = \pi_1 \pi_4 \pi_5 \pi_6 \pi_8. \quad (8)$$

Минимальный диагностический тест T_d^* второго варианта содержит шесть проверок и равен:

$$T_d^* = \pi_1 \pi_4 \pi_5 \pi_6 \pi_7 \pi_8. \quad (9)$$

В зависимости от решаемой задачи диагноза, если заранее известно, что объект диагноза отказал, на основании теста T_d строится словарь неисправностей, который представляет собой часть ТФН, и далее вычисляется оптимизированный алгоритм. Если же заранее не известно состояние объекта, то используют тест T_d^* , и на основании его строится словарь неисправностей.

Изложение предлагаемого метода оптимизации алгоритма рассмотрим на примере словаря неисправностей теста T_d^* (табл. 2), когда заранее не известно состояние объекта диагноза. Для этого к словарю неисправностей добавляется строка со значениями вероятностей, которые могут быть получены как из статистики, так и расчетным путем, например, используя работу [9], если объект диагноза только проектируется. Также добавляются графы: стоимость проверки — C_i ; суммы вероятностей положительных и отрицательных исходов проверок, которые характеризует величину энтропии (неопределенности) i -й проверки, входящей в тест — $\sum p_i$; коэффициент эффективности — γ_i ; отношение отрицательных и положительных исходов проверок π_i ; коэффициент разветвления алгоритма — L_i (табл. 3).

Для выбора первой проверки определяется суммарное значение вероятностей положительных и отрицательных исходов проверок (энтропии). В качестве примера приведен алгоритм вычисления вероятностей первой проверки π_1 :

$$\begin{aligned} \sum p_1 &= [1 - p(S_1)] + p(S_2) + p(S_3) + p(S_4) + \\ &+ p(S_5) + p(S_6) + p(S_7) + p(S_8). \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sum p_1 &= 0,9 + 0,16 + 0,05 + 0,15 + \\ &+ 0,12 + 0,14 + 0,18 + 0,1 = 1,8. \end{aligned}$$

Таблица 2

Словарь поиска неисправности

Проверка	Результат R_i^j проверки для системы, находящейся в состоянии S_j							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_4	1	1	0	0	1	1	1	1
π_5	1	0	1	1	0	1	1	1
π_6	1	0	0	1	0	0	1	1
π_7	1	1	0	0	1	1	0	1
π_8	0	0	1	1	1	1	1	0
p_j	0,1	0,16	0,05	0,15	0,12	0,14	0,18	0,1

Таблица 3

Разбиение по положительным исходам таблицы 2 с использованием проверки π_6^1

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза								C_i	$\sum p_i$	γ_i	L_i
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8				
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1,8	0,9	0143
π_4	1	1	0	0	1	1	1	1	3	2,6	0,87	0,333
π_5	1	0	1	1	0	1	1	1	4	2,29	0,57	0,333
π_6	1	0	0	1	0	0	1	1	1	4,06	4,06	1
π_7	1	1	0	0	1	1	0	1	4	3,24	0,81	0,6
π_8	0	0	1	1	1	1	1	0	5	3,28	0,66	06
p_j	0,1	0,16	0,05	0,15	0,12	0,14	0,18	0,1	—	—	—	—

Значения суммарных значений вероятностей остальных проверок π_i приведены в табл. 3.

После определения суммарного значения вероятностей проверки π_i вычисляется коэффициент эффективности γ_i как отношение суммарного значения вероятностей проверки π_i к цене проверки C_i :

$$\gamma_i = \frac{\sum p_i}{C_i}. \quad (11)$$

Так, для первой проверки π_1 значение коэффициента эффективности γ_1 равно 0,9. Результаты расчета остальных коэффициентов эффективности приведены в табл. 3.

Далее для каждой проверки π_i вычисляется коэффициент ветвления алгоритма L_i , который равен отношению суммарного числа отрицательных исходов для

неисправных состояний к числу положительных исходов. Для проверки π_i значение этого коэффициента равно $L_i = 1/7$.

$$L_i = \frac{\sum_0 R_i^j}{\sum_1 R_i^j}, \quad (12)$$

где $\sum_0 R_i^j$ — сумма числа отрицательных исходов i -й проверки; $\sum_1 R_i^j$ — сумма числа положительных исходов i -й проверки.

Оптимальным является значение L_i , определяемое из диапазона

$$\begin{aligned} \max 1 \leq L_i < 0 \\ \min 1 \leq L_i < L_{i\max}. \end{aligned}$$

Выбор оптимального значения проверки π_i осуществляется по максимальному значению коэффициента γ_i и оптимальному значению L_i . Так, в качестве первой проверки при значении $\gamma_6 = 4,06$ и значения $L_6 = 1$ выбирается проверка π_6 . Данная проверка π_6 разделяет все множество состояний (неисправностей) на два подмножества: первое подмножество содержит состояния, которым соответствуют положительные исходы проверки, соответствующие бинарному значению, равному 1; второе подмножество соответствует отрицательным исходам, т.е. бинарному значению, равному 0. Далее последовательно рассматриваются оба подмножества отдельно.

Рассмотрим подмножество положительных исходов, которое приведено в табл. 4. Из таблицы убираются те проверки, у которых для всех состояний представлено бинарное значение, равное единице (1) или равное нулю (0).

Выбор проверки для очередного шага алгоритма осуществляется по идеальному значению коэффициента ветвления $L_7 = 1$, которое подразумевает разделение данного подмножества на две равные части, что косвенно предполагает уменьшение длины ветви дерева, и по максимальному значению цены проверки $\gamma_7 = 0,46$ для максимального значения коэффициента ветвления $L_7 = 1$.

На основании анализа результатов табл. 4 следует, что следующей проверкой должна быть проверка π_7 . Проверка π_7 разбивает множество неисправностей, представленных в табл. 4, на два подмножества, которые представлены в табл. 5 и 6. На следующем этапе из табл. 5 и 6 удаляются проверки, значения которых равны одним единицам или одним нулям.

Из табл. 5 следует, что единственной проверкой, которая делит подмножество (S_1, S_8), является проверка π_1 .

Из табл. 6 следует, что единственной проверкой, которая делит подмножество (S_4, S_7), является проверка π_4 .

Таблица 4

Разбиение по положительным исходам таблицы 3 с помощью проверки π_1^1

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза				C_i	$\sum_1 p_i$	γ_i	L_i
	S_1	S_4	S_7	S_8				
π_1	0	1	1	1	2	1,33	0,66	0,333
π_4	1	0	1	1	3	1,23	0,41	0,333
π_7	1	0	0	1	4	1,87	0,46	1
π_8	0	1	1	0	5	2,13	0,43	1
p_j	0,1	0,15	0,18	0,1	–	–	–	

Таблица 5

Разбиение по положительным исходам таблицы 4 с помощью проверки π_1^1

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза		C_i	$\sum_1 p_i$	γ_i	L_i
	S_1	S_8				
π_1	0	1	2	1	0,5	1
p_j	0,1	0,1	–	–	–	

Таблица 6

Разбиение по положительным исходам таблицы 4 с помощью проверки π_8^1

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза		C_i	$\sum_1 p_i$	γ_i	L_i
	S_4	S_7				
π_4	0	1	3	1,03	0,34	1
p_j	0,15	0,18	–	–	–	

Далее переходим ко второму подмножеству, образованному проверкой π_6^0 — (S_2, S_3, S_5, S_6) . Из табл. 7, которая является частью табл. 3, убираем строки, соответствующие проверкам π_6 (π_6^0), которые заполнены одними нулями или единицами.

На основе анализа табл. 7 следует, что следующей проверкой должна быть проверка π_5 , у которой $L_5 = 1$ и $\gamma_i = 0,48$ равно максимальному значению. Данная проверка разбивает это подмножество (S_2, S_3, S_5, S_6) еще на два подмножества (S_2, S_5) (S_3, S_6) , на основе которых строятся табл. 8 и 9.

Далее переходим к определению следующей проверки, для этого строим табл. 8 на основе табл. 7, из которой удаляем строку, соответствующую проверке π_5 , а также графы S_2 и S_5 . Вычисляем коэффициент эффективности γ_i , результаты расчетов заносим в табл. 8.

Как следует из анализа табл. 8, следующей проверкой должна быть проверка π_4 , так как она имеет максимальное значение коэффициента эффективности.

Далее на основе табл. 7 строится табл. 9 для определения проверки, которая разбивает множество (S_2, S_5) на конечные неисправности S_2 и S_5 .

Таблица 7

Разбиение таблицы 2 по отрицательным исходам с помощью проверки π_6^0

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза				C_i	$\sum_1 p_i$	γ_i	L_i
	S_2	S_3	S_5	S_6				
π_4	1	0	1	1	3	1,37	0,46	0,333
π_5	0	1	0	1	4	1,91	0,48	1
π_7	1	0	1	1	4	1,37	0,34	0,333
π_8	0	1	1	1	5	1,15	0,23	0,333
p_j	0,16	0,05	0,12	0,14	—	—	—	

Таблица 8

Разбиение таблицы 7 по положительным исходам с помощью проверки π_7^1

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза		C_i	$\sum_1 p_i$	γ_i	L_i
	S_3	S_6				
π_4	0	1	4	1,09	0,27	1
π_7	0	1	5	1,09	0,22	1
p_j	0,05	0,14	—	—	—	

Таблица 9

Разбиение таблицы 7 по отрицательным исходам с помощью проверки π_7^0

Проверка	Результат R_i^j проверки для объекта диагноза		C_i	$\sum_1 p_i$	γ_i	L_i
	S_2	S_5				
π_8	0	1	5	0,96	0,192	1
p_j	0,16	0,12	—	—	—	

И последней проверкой бинарного алгоритма будет проверка π_8 , которая разделяет состояния S_2 и S_5 , что следует из табл. 9.

На рис. 3 представлена графическая интерпретация вычисленного оптимизированного алгоритма идентификации неисправного функционального элемента.

Обозначения, принятые на рис. 3: $s_i \in S$ — i -е неисправное состояние объекта диагноза; π_i — i -я проверка (в скобках рядом с проверками проставлена цена проверки); p — суммарное значение вероятности наступления этих неисправностей.

Эффективность полученного с помощью предлагаемого метода оптимизации алгоритма может быть оценена стоимостью обхода бинарного дерева C , предложенного в работе [9], согласно выражению

$$C = \sum_{i=1}^n P(S_i) \cdot C(\pi_i), \quad (13)$$

где $P(S_i)$ — вероятность отказа функционального элемента; $C(\pi_i)$ — стоимость π_i проверки.

$$C_1 = 0,2 \cdot 2 + 0,53 \cdot 4 + 1 \cdot 1 + 0,47 \cdot 4 + 0,28 \cdot 5 = 6,8.$$

$$C_2 = 0,2 \cdot 2 + 0,53 \cdot 4 + 1 \cdot 1 + 0,47 \cdot 4 + 0,19 \cdot 3 = 5,97.$$

Наихудший случай стоимости обхода бинарного дерева $C_1 = 6,8$.

Достоинство данного алгоритма в том, что для обнаружения любого неисправного функционального элемента требуется только три проверки, т.е. сложность алгоритма, согласно [6], равна $O(\lceil \log_2 8 \rceil) = 3$.

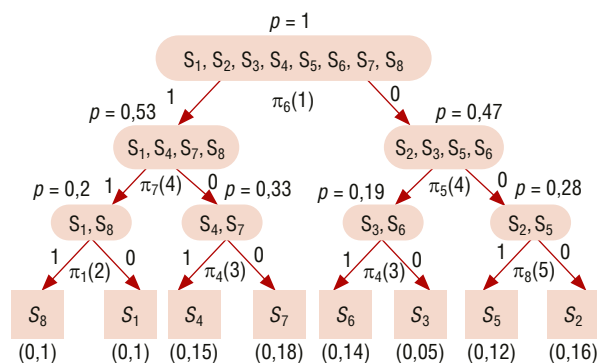


Рис. 3. Бинарное дерево поиска неисправного элемента

Заключение

В статье предложен способ идентификации отказов функциональных элементов, заданной функциональной схемой, состоящий из двух этапов. На первом этапе вычисляется минимальный диагностический тест, на основе которого строится словарь неисправностей. На втором этапе с использованием коэффициента разветвления алгоритма L_i и коэффициента эффективности γ_i , который учитывает вероятности отказов функциональных элементов и стоимости проверки, выбирается очередная проверка. Представлен алгоритм выбора проверок для построения оптимизированного (графа) дерева идентификации отказов с минимальной сложностью $O(\lceil \log_2 n \rceil)$ или со сложностью, приближенной к минимальной, при нечетном значении количества неисправностей. **ИТ**

Список литературы

1. Пархоменко П. П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики: (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства). М.: Энергоиздат, 1981. 320 с.
2. Дмитренко И. Е., Сапожников В. В., Дьяков Д. В. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: Транспорт, 1994. 263 с.
3. Ефанов Д. В. Построение оптимальных алгоритмов поиска неисправностей в технических объектах: учебное пособие / Д. В. Ефанов. СПб., 2014. 49 с.
4. Калявин В. П., Рыбаков Л. М. Надежность и диагностика элементов электроустановок: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Элмор, 2009. 346 с.
5. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / пер. с англ. М.: МЦНМО, 2002. 960 с.
6. Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке / пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 720 с.
7. Рожкин Б. В. Оптимизация алгоритмов поиска отказов // Транспорт Урала. 2017. № 2. С. 42–46. ISSN 1815-9400.
8. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Основы технической диагностики: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2004. 318 с.
9. Коваленко В. Н. Надежность устройств железнодорожной автоматики, телемеханики: учебное пособие. Екатеринбург: УрГУПС, 2013. 87 с.

References

1. Parkhomenko P. P., Soghomonyan E.S. Fundamentals of technical diagnostics: (Optimization of diagnostic algorithms, hardware). Moscow: Energoizdat, 1981. 320 p.
2. Dmitrenko I. E., Sapozhnikov V. V., Dyakov D. V. Measurements and diagnostics in railway automation, telemechanics and communication systems: textbook for universities of railway transport. M.: Transport, 1994. 263 p.
3. Efanov D. V. Construction of optimal algorithms for troubleshooting in technical objects: a textbook / D. V. Efanov. St. Petersburg, 2014. 49 p.
4. Kalyavin V. P., Rybakov L. M. Reliability and diagnostics of electrical installation elements: textbook. stipend. St. Petersburg: Elmore, 2009. 346 p.
5. Kormen T. Algorithms: construction and analysis / translated from English M.: ICNMO, 2002. 960 p.
6. Skiena S. Algorithms. Development guide / translated from English St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2011. 720 p.
7. Rozhkin B. V. Optimization of failure search algorithms // Transport of the Urals. 2017. No. 2. P. 42–46. ISSN 1815-9400.
8. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. Fundamentals of technical diagnostics: a textbook for universities of railway transport. M.: Route, 2004. 318 p.
9. Kovalenko V. N. Reliability of railway automation and telemechanics devices: a textbook. Yekaterinburg: USURT, 2013. 87 p.



**Владимир Сергеевич
Тарасян**
Vladimir S. Tarasyan



**Никита Дмитриевич
Митин**
Nikita D. Mitin

Аппаратный уровень системы управления роботизированной коробкой переключения передач автомобиля класса «Формула Студент»

Hardware level of the control system for the robotic gearbox of the Formula Student class car

Аннотация

В работе рассматривается система управления роботизированной коробкой переключения передач на примере автомобиля класса «Формула Студент», спроектированного и собранного в Уральском государственном университете путей управления. Описаны технические решения, принятые в процессе создания автомобиля.

Ключевые слова: роботизированная коробка переключения передач, «Формула Студент», система управления, аппаратный уровень, электронный блок управления.

Abstract

This paper considers the control system of a robotic gearbox using the example of a Formula Student class car, designed and assembled at the Ural State University of Control Paths. The technical solutions taken in the process of creating the car are described.

Keywords: robotic gearbox, Formula Student, control system, hardware level, electronic control unit.

Авторы Authors

Владимир Сергеевич Тарасян, канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Мехатроника», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Никита Дмитриевич Митин**, аспирант, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Vladimir S. Tarasyan, Candidate of physics and mathematics sciences, Associate Professor of the Chair "Mechatronic", Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: vtarasyan@gmail.com | **Nikita D. Mitin**, postgraduate student, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: werty859@gmail.com

Введение

Разработка роботизированной коробки переключения передач (РКПП) для гоночного автомобиля требует интеграции междисциплинарных знаний в области механики, электроники, программирования и систем автоматического управления.

РКПП является аналогом автоматической коробки переключения передач (АКПП), но построена на базе классической механической коробки переключения передач (МКПП) со сцеплением (иногда двумя) и механическим приводом передвижения вилок муфт передач. Практически любую МКПП можно автоматизировать и превратить в РКПП, заменив классические органы управления приводами, интеллектуально управляемыми электронным блоком управления (ЭБУ).

Аппаратный уровень системы управления является критически важным компонентом, обеспечивающим надежную и точную работу всех узлов трансмиссии в условиях высоких нагрузок. Технические требования к системе регламентируют построение архитектуры аппаратного и программного уровней в неразрывной взаимосвязи друг с другом.

В данной статье рассмотрены автоматизация классической секвентальной МКПП и принцип построения аппаратного уровня системы управления РКПП на примере КПП спортивного автомобиля класса «Формула Студент» [1]. Конкурс ставит перед участниками задачу спроектировать и построить гоночный автомобиль формульного типа с открытыми колесами (тип конструкции кузова «open-wheels»), а также предоставить техническую и коммерческую документацию на спроектированную машину [2].

1. Описание конструкции КПП

Секвентальная коробка передач — это тип трансмиссии, в котором переключение передач осуществляется последовательно (поочередно).

В таких КПП используется селектор, который водитель перемещает вперед или назад для переключения передач. Например, движение селектора вперед увеличивает передачу (включается следующая передача), а движение назад уменьшает передачу (включается предыдущая передача).

Селектор соединен с кулачковым механизмом (секвентальным валом), который управляет муфтами переключения. Вал имеет специальную форму канавок, которые при повороте перемещают муфту в нужное положение, соединяя шестерню с валом (рис. 1) [3].

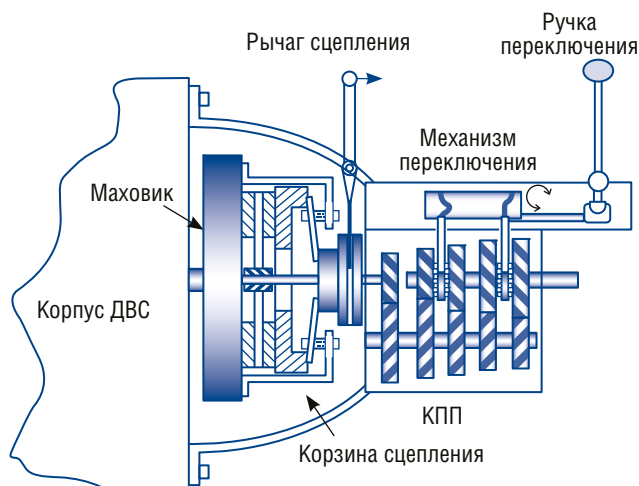


Рис. 1. Схематичное изображение конструкции механической трансмиссии секвентального типа переключения

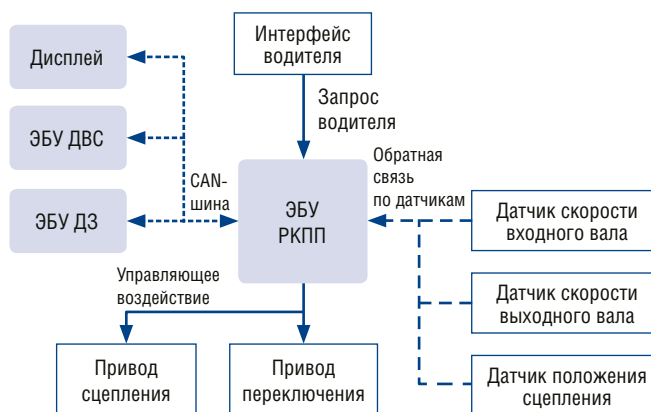


Рис. 2. Структурная схема аппаратного уровня управления

2. Архитектура системы управления

Для управления данным типом КПП предлагается схема, изображенная на рис. 2. В качестве исполнительных механизмов используется два привода: привод переключения селектора (шифтер) и привод сцепления. Для управления приводами был спроектирован электронный блок управления коробкой передач (ЭБУ РКПП) [4]. Этот агрегат принимает и обрабатывает сигналы от органов управления водителя, датчиков и других электронных блоков автомобиля и генерирует управляющее воздействие на приводы коробки передач, основываясь на текущей дорожной ситуации, запросе водителя, массе ТС и оцененной нагрузке на ДВС.

3. Пневматические приводы

В качестве приводов РКПП в реалиях автоспорта принято использовать пневматические приводы. Это решение обусловлено высокой удельной мощностью приводов данного

типа и регламентом соревнований, позволяющим применять сжатый воздух в системах автомобиля. Такая система позволяет использовать разомкнутую систему подключения, где источником давления является ресивер со сжатым воздухом, которого достаточно для ограниченного по времени спортивного заезда. В пневматических схемах ниже опускается блок подготовки воздуха, который снижает давление из ресивера до номинального.

Управление КПП с помощью пневмоприводов, в том числе и РКПП, широко распространено в грузовой и сельскохозяйственной технике [5].

3.1. Привод переключения

Для переключения селектора передач необходимо совершить разовое движение в сторону повышения или понижения передачи и вернуться в нейтральное положение. Для этого была разработана схема подключения (рис. 3), в которой пневмоцилиндр центрируется в нейтральной возвратными пружинами селектора.

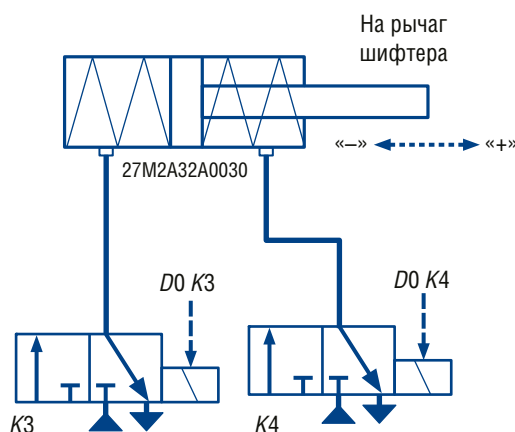


Рис. 3. Схематичное изображение устройства привода переключения

При активации распределителя K3 и деактивации K4 произойдет наполнение камеры 1 и одновременный сбор воздуха из камеры 2, что приведет к движению цилиндра в сторону повышения передачи «+». Для понижения передачи сигналы на распределители подаются обратно. При активации сразу двух распределителей или полной их деактивации произойдет возвращение цилиндра в нейтральное положение центрирующими пружинами.

3.2. Сцепление

Привод сцепления имеет одну рабочую камеру для движения сцепления в сторону размыкания, а обратное движение производится возвратной пружиной корзины сцепления и пружиной внутри цилиндра (рис. 4).

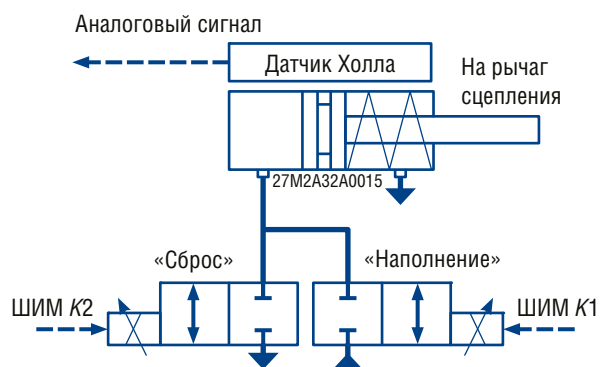


Рис. 4. Схема устройства привода сцепления

Для управления давлением в камере используются два распределителя: наполнение и сброс. Оба распределителя являются пропорциональными, т.е. расход наполнения и сброса можно точно контролировать с помощью ШИМ модуляции управляющего сигнала. Это необходимо для точной задачи положения сцепления и является ключевым параметром при контроле трогания автомобиля и разрыве мощности во время переключения передачи.

Для определения положения привода используется датчик линейного положения на основе сенсоров Холла. При этом используется цилиндр с магнитным поршнем.

4. Электронный блок управления

Аппаратная часть ЭБУ включает в себя микроконтроллер (МК) и аппаратные интерфейсы для подключения входных и выходных сигналов [4]. Структурная схема интерфейсов ЭБУ представлена на рис. 5.

В качестве основного вычислителя используется микроконтроллер семейства STM32F4. Данный МК обладает всей необходимой для проекта периферией и вычислительной мощностью.

4.1. Схемотехника

Главной особенностью электропроводки автомобиля является разделение импульсной, аналоговой и силовой цепей, поэтому при проектировании схемотехнических решений использовалась гальваническая развязка. Так, для управления пневматическими клапанами были сконструированы гальванически изолированные силовые транзисторные ключи (рис. 6).

В этом решении классический N -канальный выход был дополнен оптопарой. Использование оптопары обусловлено ее простотой и невысокой ценой в отличие от специальных микросхем гальванической развязки [6].

Для приема аналогового сигнала также был разработан усилитель с гальванической развязкой [7]. В этой

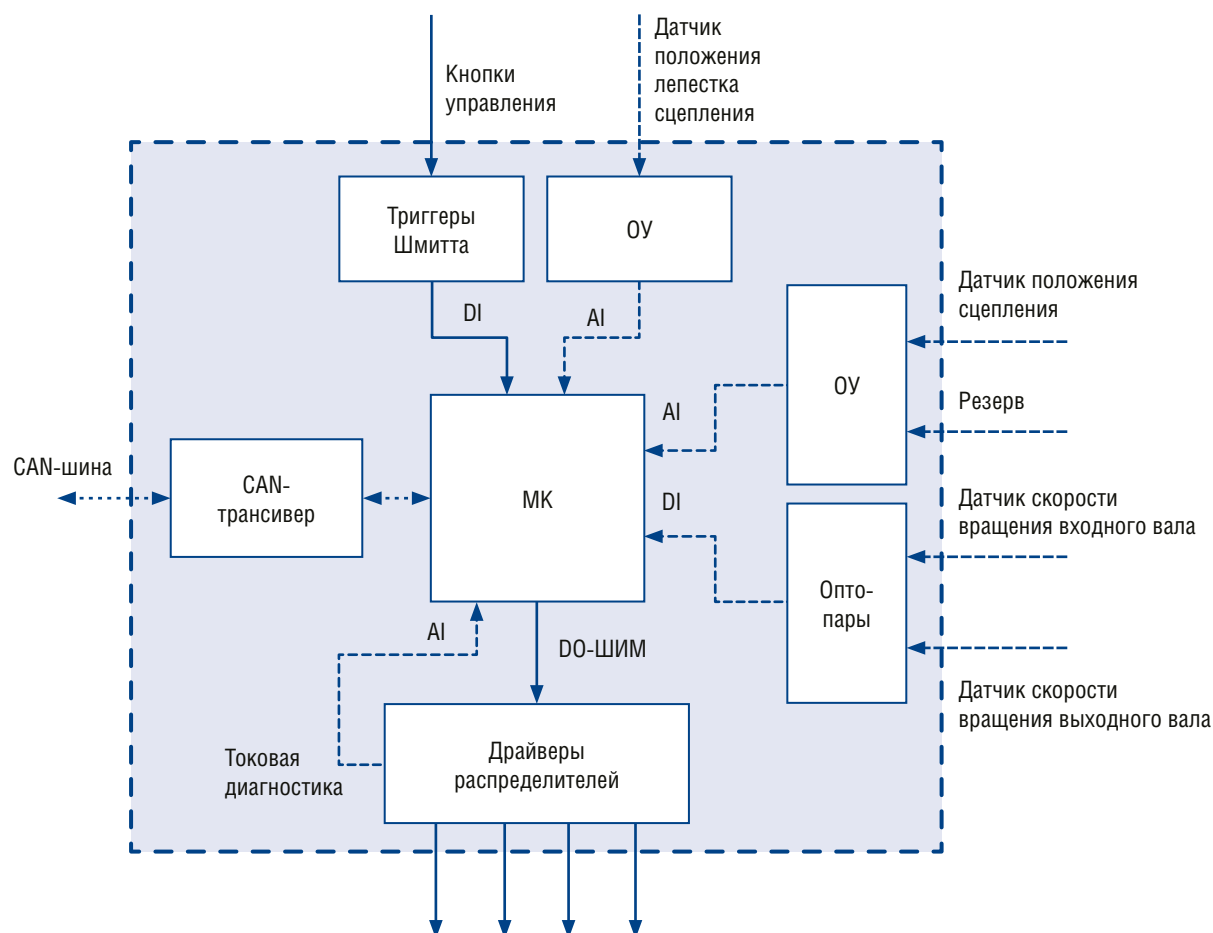


Рис. 5. Структурная схема аппаратных интерфейсов ЭБУ

схеме (рис. 7) операционный усилитель U4A в зависимости от входного напряжения задает определенный ток на светодиодах оптопар U3 и U2. Аналоговый сигнал передается через оптопару U3, а оптопара U2 включается в обратную связь операционного усилителя, что компенсирует нелинейность оптронов. В этом случае коэффициент усиления зависит от резисторов R12 и R6, а резистор R10 является токоограничивающим резистором для оптопар. Таким образом можно передавать аналоговый сигнал через гальваническую развязку с небольшими искажениями и сопоставлять различные уровни напряжения.

Коэффициент усиления аналогового сигнала по напряжению для разработанной схемы усилителя определяется формулой

$$k_a = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{I_{u3} \cdot R_{13}}{I_{u2} \cdot R_6},$$

где k_a — коэффициент усиления, U_{out} — выходное напряжение усилителя, U_{in} — входное напряжение усилителя, I_{u3} , I_{u2} — токи в усилителе, R_{13} , R_6 — сопро-

тивления соответствующих ветвей усилителя.

При одинаковом напряжении питания и последовательном соединении светодиодов ток через оптопары одинаков, поэтому получаем

$$k_a = \frac{R_{13}}{R_6}.$$

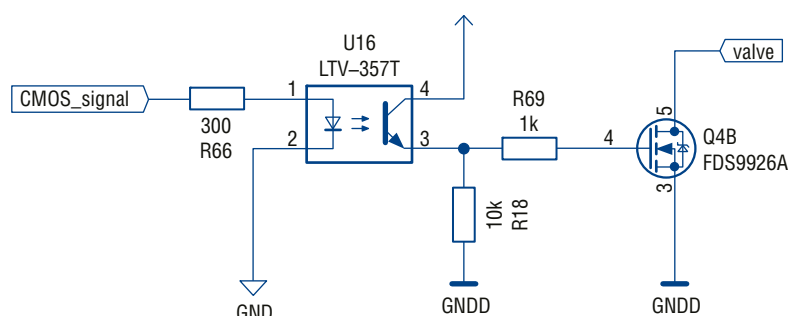


Рис. 6. Гальванически изолированный силовой транзисторный ключ

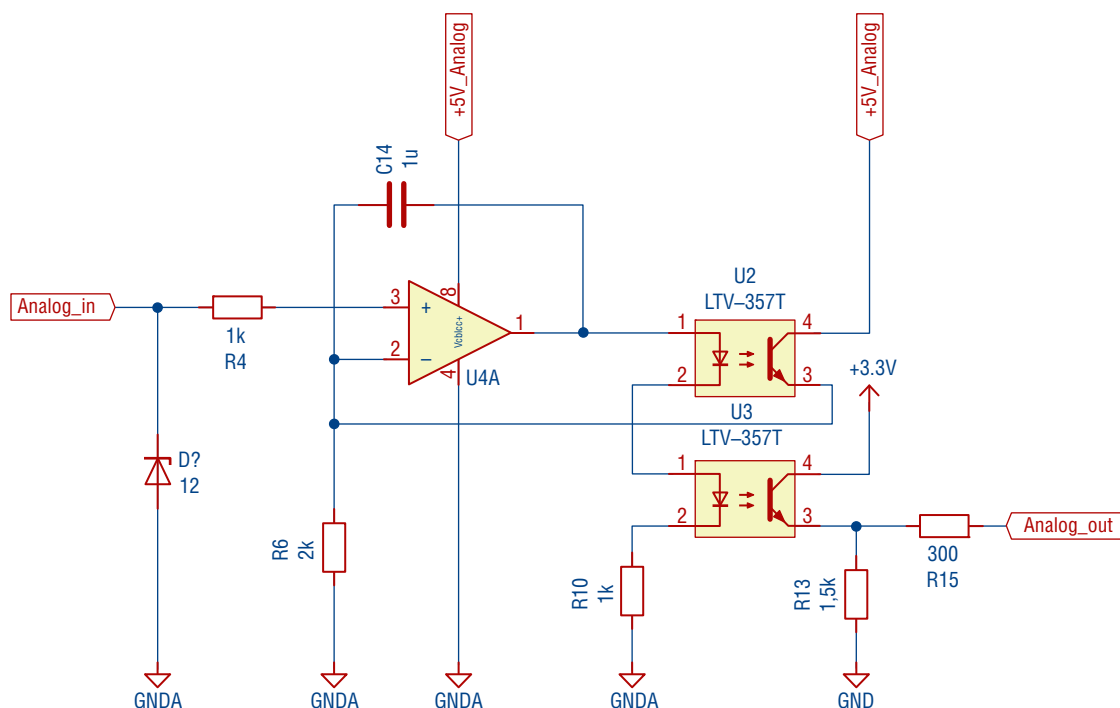


Рис. 7. Усилитель с гальванической развязкой

Физически органами управления для переключения передач являются подрулевые, т. е. расположенные под рулем, лепестки и кнопки, нажатие на которые может вызвать дребезг контакта. Для аппаратной обработки этого явления используется симбиоз RC-фильтра с триггером Шмитта с петлей гистерезиса на основе операционного усилителя с положительной обратной связью [6]. Этот метод помогает ускорить обработку сигналов и улучшить оптимизацию программного кода микроконтроллера.

Заключение

В статье показаны принципы разработки аппаратного уровня системы управления РКПП на примере автомобиля класса «Формула Студент», рассмотрены некоторые технические решения в схемотехнике. Пневматический тип приводов в автоматизации КПП распространен в автоспорте, а также в грузовой и сельскохозяйственной технике, что делает работу актуальной для развития отечественной автомобильной промышленности. **ИТ**

Список литературы

1. Роппельт А. А., Макаров В. В. Проектирование пневматической системы переключения передач гоночного автомобиля // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. 2019. С. 27–32.
2. Makarov V., Cherepov O., Buyaev D. The analyses of the polymer materials use with multidirectional friction properties in the suspension elements of land transport vehicles // Transport: logistics, construction, maintenance, management. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference on Transport: Logistics, Construction, Maintenance, Management. Portugal, 2023. С. 181–186.
3. Mashadi B. Vehicle powertrain systems. 2012. 560 p.
4. Автомобильная электрика и электроника Bosch. ООО «Издательство «За рулем», 2014. 616 с.
5. ZF. «EcoTronic mid». URL: https://www.zf.com/products/en/cv/products_76420.html#downloads_divider658792.
6. Чижма С. Н. Электроника и микросхемотехника. М., 2012. 359 с.
7. Гальваническая развязка аналогового сигнала. URL: <http://easyelectronics.ru/galvanicheskaya-razvyazka-analogovogo-signala.html>.

References

1. Roppelt A. A., Makarov V. V. Design of a pneumatic gearshift system for a racing car // Modern science: current issues, achievements and innovations. 2019. P. 27–32.
2. Makarov V., Cherepov O., Buyaev D. The analyses of the polymer materials use with multidirectional friction properties in the suspension elements of land transport vehicles // Transport: logistics, construction, maintenance, management. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference on Transport: Logistics, Construction, Maintenance, Management. Portugal, 2023. P. 181–186.
3. Mashadi B. Vehicle powertrain systems. 2012. 560 p.
4. Bosch automotive electrics and electronics. Za Rulem Publishing House LLC, 2014. 616 p.
5. ZF. «EcoTronic mid». URL: https://www.zf.com/products/en/cv/products_76420.html#downloads_divider658792.
6. Chizhma S. N. Electronics and microcircuitry. M., 2012. 359 p.
7. Galvanic isolation of the analog signal. URL: <http://easyelectronics.ru/galvanicheskaya-razvyazka-analogovogo-signala.html>.



Владимир Сергеевич
Тарасян
Vladimir S. Tarasyan



Александр Алексеевич
Фоминцев
Alexander A. Fomintsev

Моделирование тяговой системы трактора с коробкой передач без разрыва потока мощности

Modeling of a tractor traction system with a powershift gearbox

Аннотация

В настоящее время одним из основных подходов к разработке технических систем является модельно-ориентированное проектирование. В работе рассматривается построение компьютерной модели коробки переключения передач трактора. Приведена упрощенная математическая модель коробки передач и ее реализация на примере трактора К-700 «Кировец». Представленная модель использована для проектирования беспилотного транспортного средства сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: беспилотный трактор, коробка переключения передач, компьютерная модель, математическая модель, модельно-ориентированное проектирование.

Abstract

Currently, one of the main approaches for the development of technical systems is model-based design. This paper is considered the computer modeling of a tractor gearbox. A simplified mathematical model of the gearbox and its implementation using the K-700 Kirovets tractor as an example are presented. This model uses for design an unmanned agricultural vehicle.

Keywords: unmanned tractor, gearbox, computer model, mathematical model, model-based design.

Авторы Authors

Владимир Сергеевич Тарасян, канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Мехатроника», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: vtarasyan@gmail.com | Александр Алексеевич Фоминцев, аспирант, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: fomintsev.al.al@yandex.ru

Vladimir S. Tarasyan, Candidate of physics and mathematics sciences, Associate Professor of the Chair "Mechatronic" of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: vtarasyan@gmail.com | Alexander A. Fomintsev, postgraduate student of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg; e-mail: fomintsev.al.al@yandex.ru

Сельское хозяйство издревле является основным источником продовольствия для всего человечества. В связи с постоянным ростом населения в мире требуется все больше продовольствия, следовательно, актуальным становится вопрос интенсификации производственных процессов в агропромышленном секторе экономики, в частности в аграрном производстве. Одно из направлений оптимизации работ в сельском хозяйстве определяется совершенствованием тяговых колесных машин или поиском альтернативных систем, выполняющих ту же работу, но более эффективно.

Предлагаемая работа посвящена совершенствованию тяговых колесных машин, в частности тракторов. Поскольку трактор является основной аграрной единицей, то от эффективности его использования зависит, насколько быстро и качественно будут выполняться различные аграрные работы. Одним из решений задач оптимизации и интенсификации сельскохозяйственного производства может быть исключение человека из непосредственного производственного процесса управления тяговой системой трактора, в частности, автоматизация работы коробки переключения передач (КПП) и двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Автоматизация КПП и ДВС позволяет повысить эффективность работы тяговой системы, улучшая топливную эффективность при поддержании требуемой агротехнической скорости, а также минимизировать действия механизатора, тем самым освобождая его от лишних задач в процессе выполнения аграрных работ. Большинство зарубежных компаний, выпускающих трактора, снабжают свои машины автоматической системой управления коробкой передач и двигателя. В настоящее время в силу внешних политических ограничений приобретать зарубежные системы для автоматизации КПП и ДВС российских тракторов становится очень дорого, поэтому появляется спрос на создание отечественных аналогов системы автоматического управления.

Система автоматизации КПП и ДВС представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из актуаторов для управления механикой КПП, электронного блока управления (ЭБУ), программного обеспечения (ПО).

Популярным подходом к проектированию ПО для автотранспорта является метод модельно-ориентированного проектирования, где ПО разрабатывается и тестируется сначала на математической, компьютерной или имитационной модели объекта управления, после чего следует этап реальных испытаний на машине. В данной статье будет рассмотрено создание компьютерной модели.

Используя доступные источники о технических характеристиках отечественных тракторов, построим математическую модель КПП для трактора К-700 «Киро-

вец» [1]. Трактор выпускался с механической коробкой передач, где за переключение передач отвечают гидравлические фрикционные муфты и механические муфты. Конструкция КПП и ее кинематическая схема приведены на рис. 1.

Согласно кинематической схеме построим модель КПП в программной среде Matlab/Simulink, используя пакет физического моделирования Simscape. Моделирование кинематики КПП показано на рис. 2.

В КПП основными элементами управления механикой являются фрикционные и кулачковые муфты.

Кулачковые муфты реализуются встроенным блоком Dog Clutch [2] и не составляют особых проблем в моделировании. Пример муфты показан на рис. 3.

Фрикционная муфта является мультифизической системой, поскольку ее работа описывается уравнениями из различных разделов физики. В данном случае используются уравнения из механики и гидравлики, так как возникает задача передачи крутящего момента через пакет фрикционных дисков, сжимаемых поршнем в бустере, под действием гидравлической жидкости. Фрикционная муфта для КПП К-700 «Кировец» [3] показана на рис. 4.

Модель данной муфты должна преобразовывать давление P , подаваемое в бустер, во вращающийся момент силы M . Для этого необходимо использовать несколько формул. Основной будет формула момента трения для вращательных систем [4]

$$M = F_H \cdot R_{eff} \cdot \mu \cdot N, \quad (1)$$

где M — момент, передаваемый муфтой; F_H — сила нормальной реакции; R_{eff} — эффективный радиус; μ — коэффициент трения; N — количество поверхностей трения.

Согласно формуле (1), основным параметром для муфты является вращающий момент. Непосредственное управление вращающим моментом возможно только изменением силы нормальной реакции, так как остальные величины являются конструктивными параметрами и их изменение невозможно без внесения изменений в конструкцию системы. Силу нормальной реакции определим из формулы динамики поршня бустера

$$m \cdot a = P \cdot S - F_{np} - F_H + k \cdot \omega^2, \quad (2)$$

где m — масса поршня; a — ускорение поршня; P — давление в бустере; S — площадь поршня; F_{np} — сила сопротивления пружин; F_H — нормальная сила реакции поршня на фрикционные; ω — угловая скорость вращения гидравлической жидкости в бустере; k — коэффициент, содержащий геометрические параметры бустера и плотности гидравлической жидкости [5].

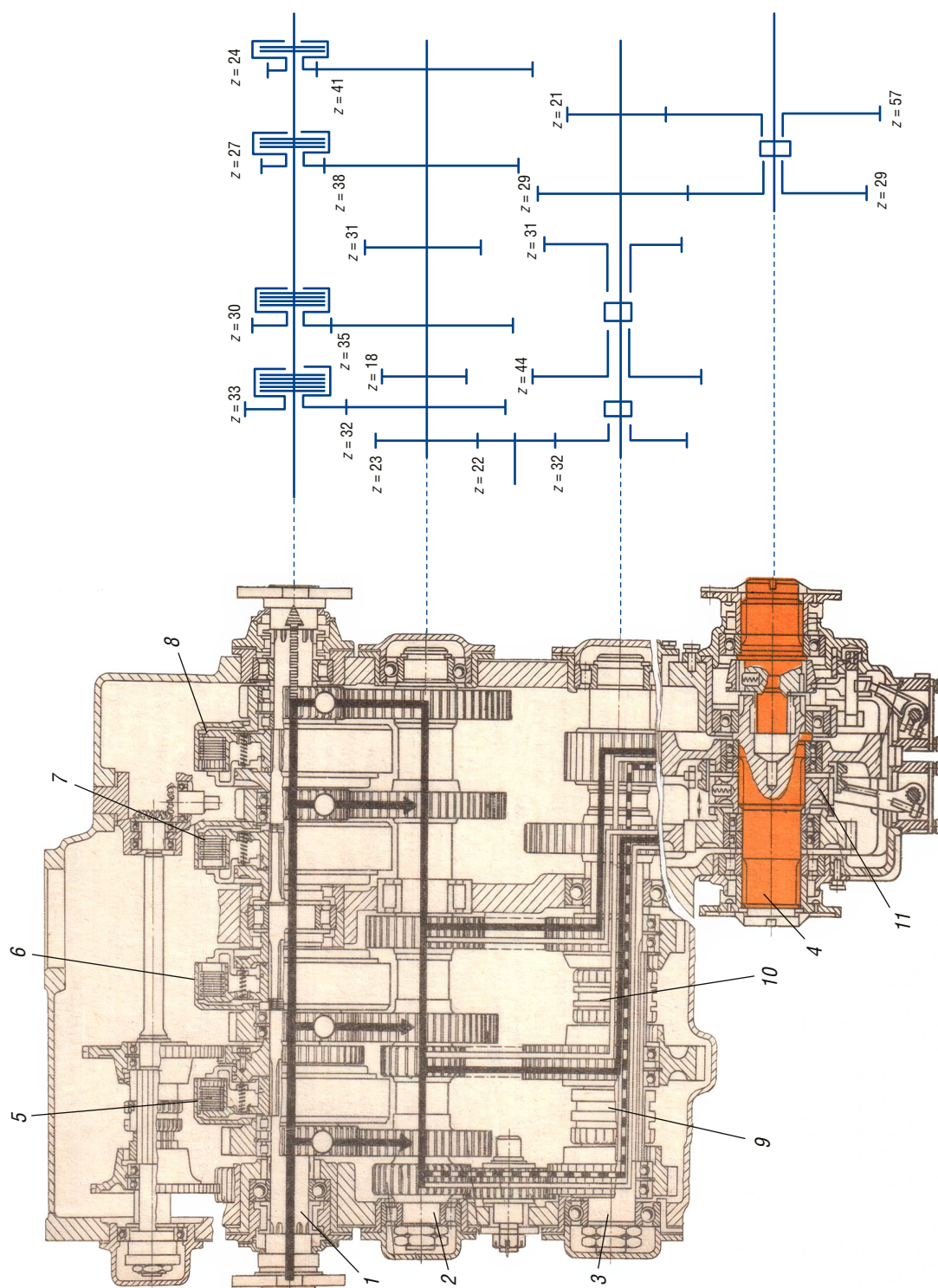


Рис. 1. Схема КПП К-700 «Кировец»:
1 — входной вал; 2 — промежуточный вал; 3 — грузовой вал; 4 — раздаточный вал; 5 — фрикционная муфта 4-й передачи; 6 — фрикционная муфта 3-й передачи;
7 — фрикционная муфта 2-й передачи; 8 — фрикционная муфта 1-й передачи; 9 — кулачковая муфта задней передачи; 10 — кулачковая муфта изменения режимов скоростей;
11 — кулачковая муфта пониженных и повышенных скоростей

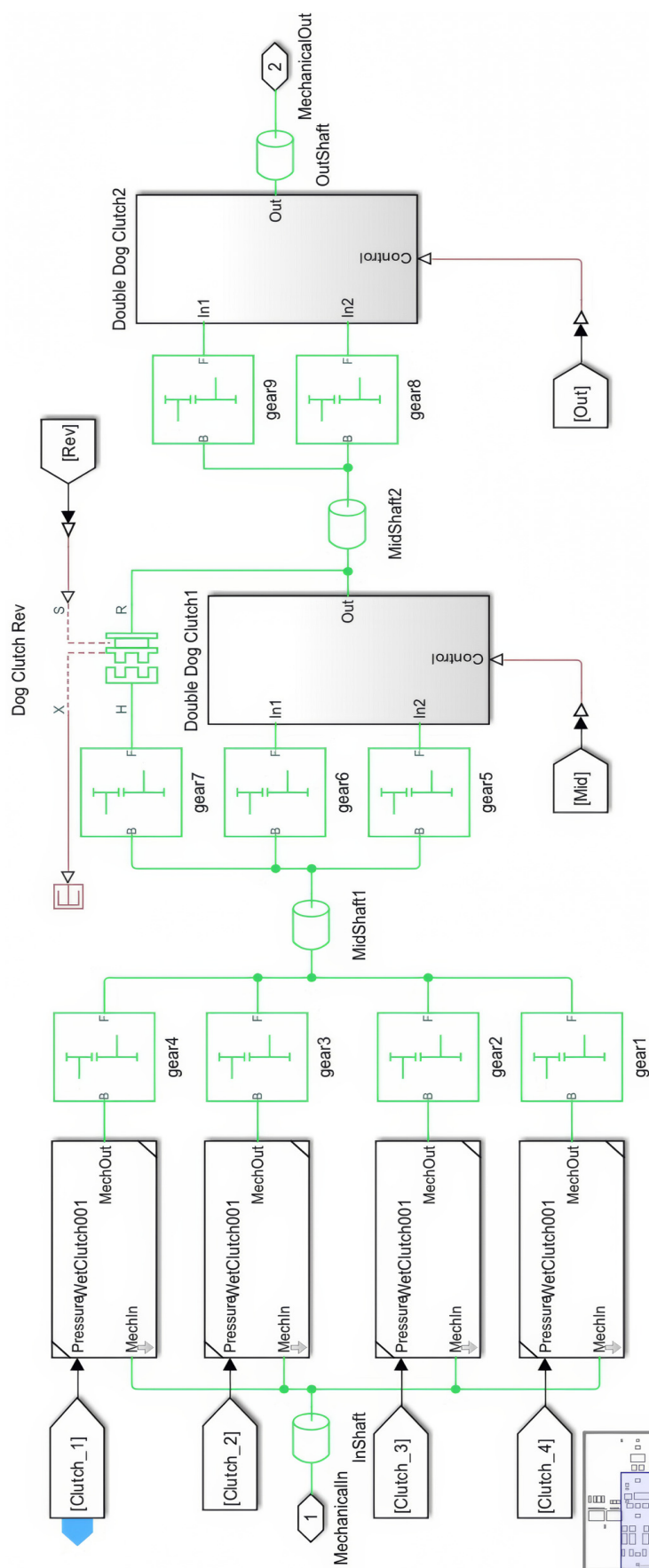


Рис. 2. Математическая модель кинематики в Simulink

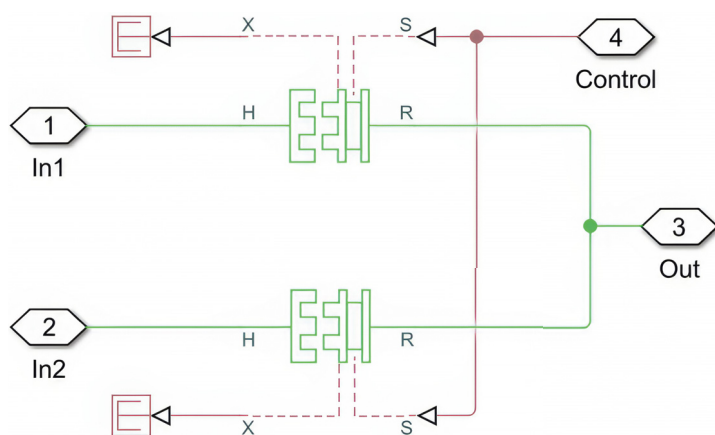


Рис. 3. Кулачковая муфта в Simulink

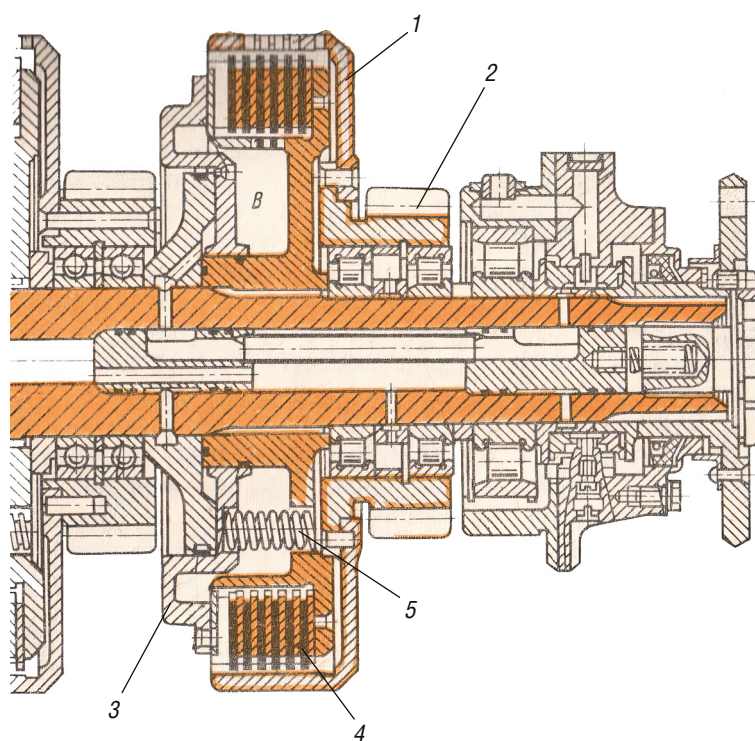


Рис. 4. Фрикционная муфта КПП К-700 «Кировец»: 1 — корпус бустера; 2 — подключаемая шестерня; 3 — поршень; 4 — фрикционные диски; 5 — возвратные пружины

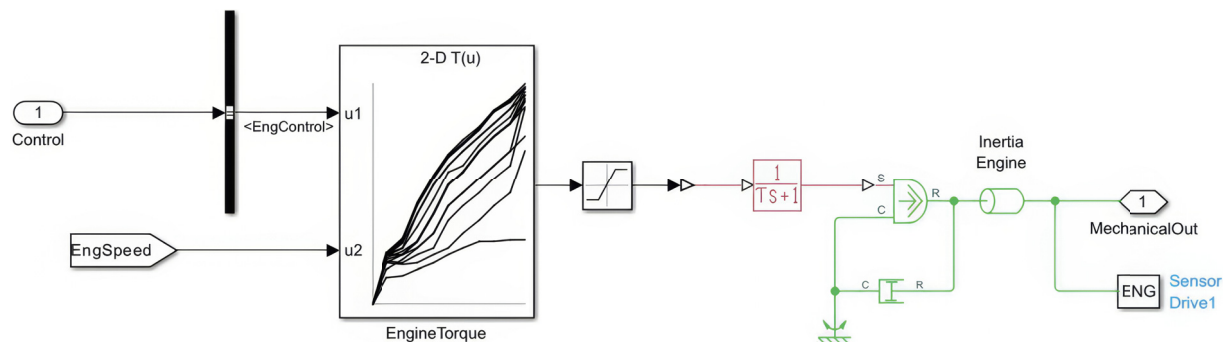


Рис. 6. Модель ДВС ЯМЗ-240НМ2

Объединив уравнения (1) и (2), а также учитывая, что ход поршня в бустере достаточно мал, можно пренебречь его массой и ускорением при расчете нормальной силы. Исходя из этого, получаем итоговое уравнение момента для фрикционной муфты:

$$M = (P \cdot S - F_{np} + k \cdot \omega^2) \cdot R_{eff} \cdot \mu \cdot N. \quad (3)$$

Построив модели муфт, необходимо разработать модели актуаторов, на которые будут подаваться управляющие сигналы с ЭБУ. Для управления фрикционными муфтами применим пропорциональные клапаны давления, а для управления кулачковыми муфтами — пневматические цилиндры на дискретных распределителях 5/3 с обратной связью по положению. Пропорциональный клапан и пневматический цилиндр можно смоделировать аperiodическими звеньями, это упростит моделирование в режиме реального времени (рис. 5).

После моделирования КПП требуется построить модель ДВС. За основу возьмем двигатель ЯМЗ-240НМ2 [6], применяемый на тракторе К-700 «Кировец». ДВС можно смоделировать как источник момента вращающей силы, с корректировкой момента по текущим оборотам и запросу мощности от педали газа. Реализация ДВС показана на рис. 6.

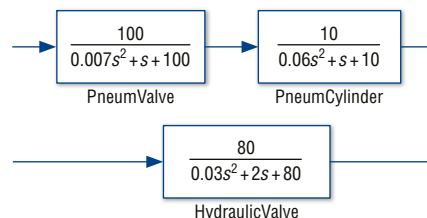


Рис. 5. Модели актуаторов

Результаты моделирования тяговой системы в процессе переключения передач представлены на рис. 7. По оси абсцисс указано время в секундах, по осям орди-

нат — параметры тяговой системы и трактора.

Построенная модель позволяет исследовать различные режимы работы транспортного средства, подби-

рая параметры оптимальных режимов его движения. Данная разработка является одним из этапов создания беспилотного автономного транспортного средства на примере трактора. **ИТ**

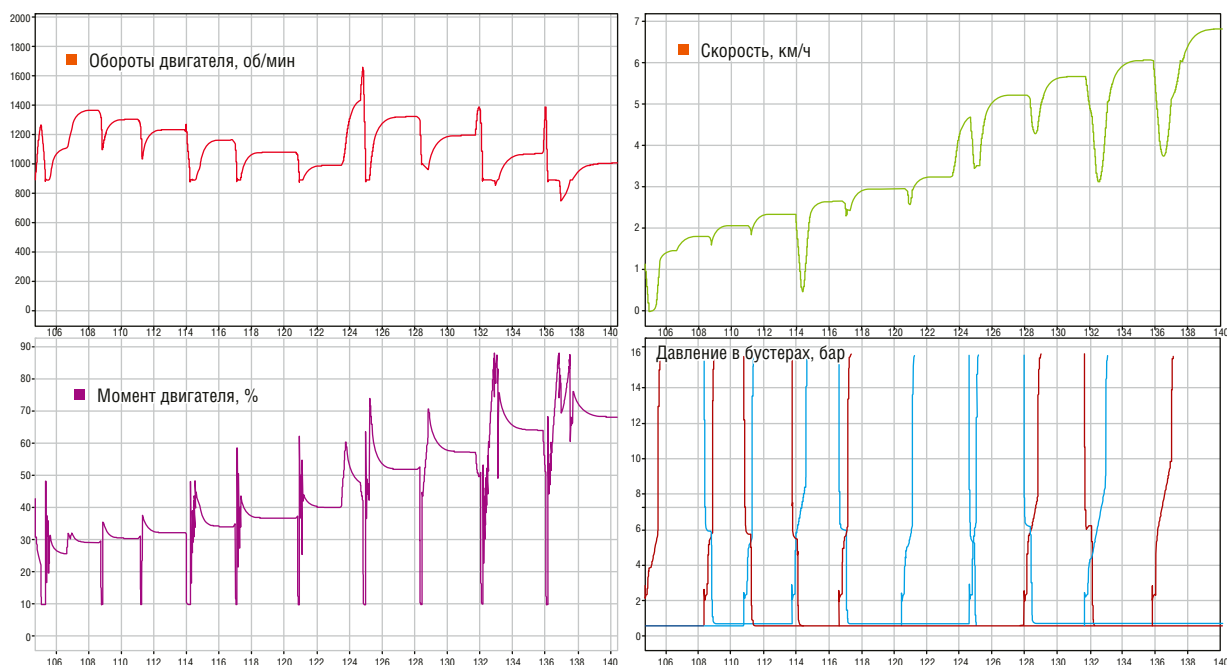


Рис. 7. Результаты моделирования

Список литературы

1. Коробка передач тракторов «Кировец» К-700, К-700А, К-701, К-702. URL: <https://xn----itbachmidudk6msa.xn--p1ai/korobka-peredach-traktorov-kirovec-k-700-k-700a-k-701-k-702.html>.
2. Dog Clutch. Physical Modeling. Simscape. URL: https://www.mathworks.com/help/sdl/ref/dogclutch.html?search-Highlight=DOG%20CLUTCH&s_tid=srchtitle_support_results_1_DOG%20CLUTCH.
3. Disc Friction Clutch. URL: <https://www.mathworks.com/help/sdl/ref/discfrictionclutch.html>.
4. Шапран А. А. Теория автоматического управления : конспект лекций. Екатеринбург : УрГУПС, 2014. 147 с.
5. Rotating Cylinder Force (IL). URL: <https://www.mathworks.com/help/hydro/ref/rotatingcylinderforceil.html>.
6. Двигатель ЯМЗ-240: технические характеристики. URL: <https://dostavkatk.ru/dvigatel-amz-240-tehniceskie-harakteristiki>.

References

1. Transmission of Kirovets tractors K-700, K-700A, K-701, K-702. URL: <https://xn----itbachmidudk6msa.xn--p1ai/korobka-peredach-traktorov-kirovec-k-700-k-700a-k-701-k-702.html>.
2. Dog Clutch. Physical Modeling. Simscape. URL: https://www.mathworks.com/help/sdl/ref/dogclutch.html?search-Highlight=DOG%20CLUTCH&s_tid=srchtitle_support_results_1_DOG%20CLUTCH.
3. Disc Friction Clutch. URL: <https://www.mathworks.com/help/sdl/ref/discfrictionclutch.html>.
4. Shapran A. A. Theory of automatic control : lecture notes. Yekaterinburg : USURT, 2014. 147 p.
5. Rotating Cylinder Force (IL). URL: <https://www.mathworks.com/help/hydro/ref/rotatingcylinderforceil.html>.
6. ЯМЗ-240 engine: technical specifications. URL: <https://dostavkatk.ru/dvigatel-amz-240-tehniceskie-harakteristiki>.

Уважаемые читатели и авторы журнала «Инновационный транспорт»!

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии, перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

Назначение платежа: «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС — это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67 или на сайте <http://www.usurt.ru/vypusknikam/assotsiatsiya-vypusknikov-urgups>

Извещение	<p>Получатель: <u>Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</u> КПП: <u>667001001</u> ИНН: <u>6670317893</u> ОКТМО: <u>65701000</u> Р/сч.: <u>40703810863010000192</u> в: <u>ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</u> БИК: <u>046577795</u> К/сч.: <u>30101810900000000795</u> Код бюджетной классификации (КБК): _____ Платеж: <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u> Платательщик: _____ Адрес плательщика: _____ ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____ Сумма: _____ руб. ____ коп. Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2024 г.</p>
Квитанция	<p>Получатель: <u>Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</u> КПП: <u>667001001</u> ИНН: <u>6670317893</u> ОКТМО: <u>65701000</u> Р/сч.: <u>40703810863010000192</u> в: <u>ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</u> БИК: <u>046577795</u> К/сч.: <u>30101810900000000795</u> Код бюджетной классификации (КБК): _____ Платеж: <u>Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</u> Платательщик: _____ Адрес плательщика: _____ ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____ Сумма: _____ руб. ____ коп. Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2024 г.</p>

Подписка на 2024 год.
Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 85022.
Периодичность — 4 номера в год.



ф. СП-1

АБОНЕМЕНТ

на

газету

журнал

85022

(индекс издания)

Инновационный транспорт

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2024 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на

газету

журнал

85022

(индекс издания)

Инновационный транспорт

(наименование издания)

Стои- мость	подписки	руб. ____ коп.	Количество комплектов:
	переадресовки	руб. ____ коп.	

на 2024 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

Технические требования и рекомендации к оформлению статей

1. Публикация состоит из следующих **обязательных элементов**:

- а) УДК;
- б) Ф. И. О. автора (авторов) (на русском и английском языках);
- в) название статьи (на русском и английском языках);
- г) аннотация (на русском и английском языках);
- д) ключевые слова (на русском и английском языках);
- е) текст статьи;
- ж) библиографический список;
- з) сведения об авторе (авторах): место работы (учебы), ученая степень, ученое звание, должность, почтовый адрес, телефон, e-mail (на русском и английском языках);
- и) портретное фото автора (авторов), представленное в электронном виде отдельным файлом, цветное, высокого качества, в форматах *.jpg (от 200 Кб), *.tif (от 1 Мб).

2. Материалы подготавливаются в редакторе MS Word.

3. Объем статьи не более 15 страниц.

4. Список литературы помещается в конце статьи после подзаголовка и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018, ГОСТ 7.0.5-2008. Ссылки на литературу в тексте статьи оформляются в квадратных скобках ([3], [3, 4], [3–7]).

5. Требования к разметке и форматированию текста.

Поля страницы – по 2 см с каждого края. Страницы должны быть без нумерации. Текст статьи: шрифт Times New Roman, кегль 14; межстрочный интервал

полуторный; выравнивание по ширине; отступ первой строки 1,25 см; расстановка переносов автоматическая. Простые формулы и сочетания символов набираются в текстовом режиме, сложные – при помощи редактора формул Microsoft Equation или MathType и располагаются по центру страницы. Написание букв: русские и греческие буквы (а, б, в, А, Б, В; ε, ω, Ω, Σ), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, V, XII; sin, lg, min и др.) пишутся только прямо; латинские буквы (*a, b, c, A, B, N* и пр.) – только курсивом.

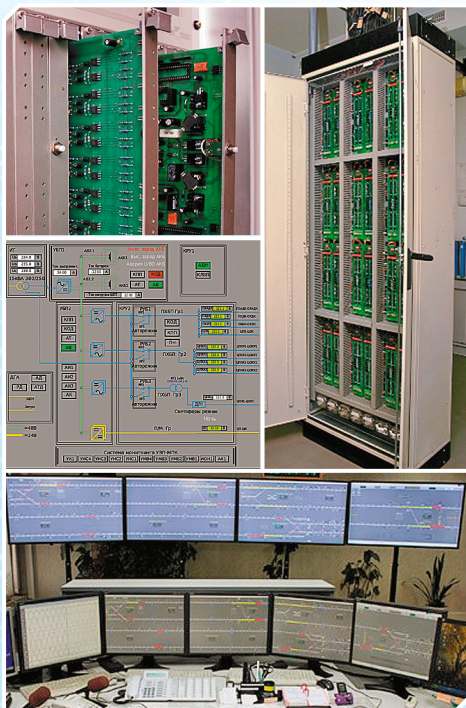
6. Рисунки и таблицы. Таблицы должны быть снабжены заголовками, а рисунки — подписями. Расположение заголовков: слово «Таблица» — в правый край таблицы; название таблицы располагается по центру над таблицей. В рисунках (диаграммах и графиках) слово «Рис.», номер и название рисунка располагаются по центру набора под рисунком. Расположение таблиц и рисунков — после ссылки на них. Условные обозначения в рисунках и таблицах, если они есть, должны быть расшифрованы в подписи или в тексте статьи.

Рисунки. Цветные и черно-белые (если нет цветных) иллюстрации принимаются отдельными файлами в форматах *.jpg (от 300 Кб), *.tif, *.bmp (от 2 Мб). Недопустимо использование изображений, взятых из Интернета, размером 5–100 Кб, а также отсканированных версий плохого качества.

Диаграммы, схемы и таблицы могут быть представлены в форматах MS Excel, MS Visio, MS Word (сгруппированные). Отдается предпочтение исходным файлам, которые допускают редактирование рисунка. Допускаются изображения, конвертированные в форматы *.cdr, *.cmx, *.eps, *.ai, *.wmf, *.cgm, *.dwg.

7. Материалы для очередного номера принимаются до 30-го числа первого месяца квартала.

**Подписной индекс издания
в общероссийском каталоге «Пресса России» — 85022.**



РАЗРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ КОМПЛЕКСА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

- ЭЦ-МПК, ЭЦ-МПК-У — релейно-процессорная централизация
- МПЦ-МПК — микропроцессорная централизация
- ДЦ-МПК — диспетчерская централизация
- УЭП-МПК — устройства электропитания
- СТД-МПК — система технической диагностики
- АСУ АРЛМ — автоматизированная система учёта и анализа работы линий метрополитена
- КАС ДУ — комплексная автоматизированная система диспетчерского управления



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, корпус Б, оф. В3-7
 Тел./факс: (343) 221-25-23
 E-mail: info@nilksa.ru. Веб-сайт: www.nilksa.ru



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

«СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ»

Основные направления работы

- Разработка проектов реконструкции и модернизации контактной сети железнодорожного транспорта.
- Проектирование внешнего электроснабжения до 1000 кВ включительно и внутреннего электроснабжения жилых, общественных и производственных зданий.
- Проведение электротехнической экспертизы оборудования.
- Расчет автоколебаний проводов контактной подвески и взаимодействия различных токоприемников с контактным проводом.
- Научно-исследовательские работы в области совершенствования системы токосъема железнодорожного транспорта.

Заведующий лабораторией: канд. техн. наук, доцент Ковалев Алексей Анатольевич.



Наш адрес: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, оф. В3-03.
 Тел./факс: (343) 221-25-27.

E-mail: saprks@mail.ru. Веб-сайт: www.sapr-ks.usurt.ru

