



ТРАНСПОРТ ШЁЛКОВОГО ПУТИ

№ 2 / 2022





Научный электронный журнал «Транспорт шелкового пути»

№ 2, 2022

Издается с 2019 года

Учредитель: Негосударственная Некоммерческая организация «Научно-исследовательский информатизационный центр»

Главный редактор электронного журнала Илесалиев Даурен Ихтиярович, д.т.н., доцент, профессор кафедры транспортно-грузовые системы Ташкентского государственного транспортного университета

Научный редактор Худайкулов Рашидбек Мансуржонович, PhD, доцент, заведующий кафедрой изыскания и проектирование дорог Ташкентского государственного транспортного университета

Адрес редакции и издателя: 100006, г. Ташкент, проспект Амира Темура, 4

Контактный телефон: (+998 71) 238-82-75; (+998 99) 806-41-99

Веб-сайт: <http://srt.aitm.uz/>

E-Mail: nno.niits@inbox.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 1321 от 23.10.2019 г.

DOI: 10.54197X

Подписано в печать 21.06.2022. Дата выхода в свет 25.06.2022

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Ибрагимов Умидулла Назриллаевич, к.т.н., с.н.с., Директор ННО "Научно-исследовательский информатизационный центр", Начальник Главного управления развития логистики и цифровизации АО «Узбекистон темир йуллари» (г. Ташкент, Узбекистан).

Сладковский Александр Валентинович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой логистики и транспортных технологий, координатор международного сотрудничества факультета транспорта и авиационных технологий Силезского технологического университета (г. Гливице, Польша).

Рахмангулов Александр Нельевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (г. Магнитогорск, Российская Федерация).

Шолтысек Яцек Антони, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой социальной логистики Экономического университета г. Катовице (г. Катовице, Польша).

Блажко Людмила Сергеевна, д.т.н., профессор, первый проректор, заведующий кафедрой железнодорожный путь Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Бекжанова Сауле Ертаевна, д.т.н., профессор кафедры организация перевозок и эксплуатация транспорта Академии логистики и транспорта (г. Алматы, Казахстан).

Коровяковский Евгений Константинович, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой логистика и коммерческая работа Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Борна Абрамович, PhD, профессор, заведующий кафедрой управление на железнодорожном транспорте Загребского университета (г. Загреб, Хорватия).

Славомир Я. Вроблевский, PhD, профессор, декан факультета международные образовательные программы Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Ларин Олег Николаевич, действительный член Российской академии транспорта, д.т.н., профессор кафедры цифровые технологии управления транспортными процессами Российского университета транспорта (г. Москва, Российская Федерация).



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Игамбердиев Хусан Закирович, академик Академии Наук Республики Узбекистан, д.т.н., профессор кафедры система обработки информации и управления Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан).

Адылходжаев Анвар Ишанович, д.т.н., профессор кафедры строительство зданий и промышленных сооружений Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Ибрагимов Назрилла Набиевич, д.т.н., профессор кафедры транспортно-грузовые системы Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Арипов Назиржон Мукарамович, д.т.н., профессор кафедры автоматика и телемеханика Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Саматов Гаффор Аллакулович, д.э.н., профессор кафедры транспортная логистика Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Мухитдинов Акмал Анварович, д.т.н., профессор кафедры инжиниринг транспортных средств Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Карриева Якутхан Каримовна, д.э.н., профессор кафедры управление, бизнес и логистика Ташкентского государственного экономического университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Керимов Камил Фикратович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой системное и прикладное программирование Ташкентского университета информационных технологий Мухаммада Ал-Хоразми (г. Ташкент, Узбекистан).

Рахимов Рустам Вячеславович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Камалов Акмал Сайдакбарович, к.э.н., заместитель председателя правления АО «Узбекистон темир йуллари» (г. Ташкент, Узбекистан).

Камалова Элвира Абдусатторовна, PhD, Старший преподаватель кафедры управление, бизнес и логистика Ташкентского государственного экономического университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Светашев Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры организация движение на транспорте Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Эргашев Зухритдин Зайдинович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой прикладная механика Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).

Сарвинова Наталья Сергеевна, к.э.н., доцент кафедры транспортная логистика Ташкентского государственного транспортного университета (г. Ташкент, Узбекистан).



Electronic Journal of Scientific «Silk Road Transport»

No 2, 2022

Published since 2019

Founders: NGO Research Informatization Center

Editor-in-chief **Ilesaliev Dauren Ikhtiyarovich**, DSc, Associate Professor, the Department “Transport and Cargo Systems” Tashkent state Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Scientific editor **Hudaykulov Rashidbek Mansurjonovich**, PhD., Associate Professor, Head of the "Survey and Design of Roads" Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

Address of the editorial office: 4 Amir Timur Str., Tashkent, 100006

Telephone: (+998 71) 238-82-75; (+998 99) 806-41-99

Web-site: <http://srt.aitm.uz/>

E-Mail: nno.niits@inbox.ru

Mass media registration certificate No 1321 dated October 23, 2019

DOI: 10.54197X

Released for printing on 21.06.2022. Date of issue 25.06.2022.

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Ibragimov Umidulla Nazrillaevich, PhD., Senior Researcher, Chairman of the NGO “Research Informatization Center” - the Founder of the Magazine, Head of the Main Department of Logistics Development and Digitalization of Uzbekistan Temir Yollari JSC (Tashkent, Uzbekistan).

Sladkowski Aleksander Valentinovich, DSc, Professor, Head of the Department of Logistics and Transport Technologies, Coordinator for International Relations at the Faculty of Transport and Aviation Technologies, Silesian University of Technology (Gliwice, Poland).

Alexander Nelevich Rakhmangulov, DSc, Professor, the Department of “Logistics and Management of Transport Systems” of the Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov (Magnitogorsk, Russia).

Jacek Antony Szoltysek, DSc, Professor, Department of “Social Logistics” of the University of Economics in Katowice (Katowice, Poland).

Blazhko Lyudmila Sergeevna, DSc, Professor, Head of the Department – Railway Track, The First Vice-Rector of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (St. Petersburg, Russia).

Bekzhanova Saule Ertaevna, DSc, Professor, the Department “Organization of transportation and operation of transport” Academy of Logistics and Transport (Almaty, Kazakhstan).

Korovyakovskiy Evgeny Konstantinovich, Ph.D., Associate Professor, Head of the “Logistics and Commerce” of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (St. Petersburg, Russia).

Borna Abramović, PhD, Professor, Head of Chair of Railway Transport Management of University of Zagreb (Zagreb, Croatia).

Slawomir J. Wroblewski, PhD, Associate Professor, Head of the Department “International Educational Program” Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan).

Oleg Nikolaevich Larin, DSc, Professor, Full Member of the Russian Academy of Transport, Professor of the Department of Logistic Transport Systems and Technologies, Russian transport university (Moscow, Russia).



EDITORIAL BOARD

Igamberdiev Khusan Zakirovich, academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, DSc, Professor, the Department “Department of Information Processing and Control Systems” Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan).

Adilkhodzhaev Anvar Ishanovich, DSc, Professor, the Department “Construction of Buildings and Industrial Structures” Tashkent state Transport University (Tashkent, Uzbekistan).

Ibragimov Nazrilla Nabievich, DSc, Professor, the Department “Transport and Cargo Systems” Tashkent state Transport University (Tashkent, Uzbekistan).

Aripov Nazirzhon Mukaramovich, DSc, Professor, the Department “Automation and Telemechanics” Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Samatov Gaffor Allakulovich, DSc, Professor, the Department “Transport Logistics”, Tashkent State transport university (Tashkent, Uzbekistan).

Mukhitdinov Akmal Anvarovich, DSc, Professor, the Department “Vehicle engineering” Tashkent State transport university (Tashkent, Uzbekistan).

Karrieva, Yakutkhan Karimovna, DSc, Professor, the Department “Management, Business and Logistics”, Tashkent State University of Economics (Tashkent, Uzbekistan).

Kerimov Kamil Fikratovich, DSc., Associate Professor, Head of the “System and Applied Programming” Department, Tashkent University of Information Technology named after Muhammad Al-Khorazmi (Tashkent, Uzbekistan).

Rahimov Rustam Vyacheslavovich, DSc., Associate Professor, Head of the “Wagons and wagon facilities” Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan).

Kamalov Akmal Saydakbarovich, PhD, Vice Chairman of the Board of Uzbekistan Temir Yollari JSC (Tashkent, Uzbekistan).

Kamalova Elvira Abdusattorovna, PhD, Senior Lecturer of the Department “Management, Business and Logistics”, Tashkent State University of Economics (Tashkent, Uzbekistan).

Svetashev Alexander Alexandrovich, PhD, Associate Professor, the Department “Organization of Transport Movement” Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan).

Ergashev Zukhriddin Zaydinovich, PhD, Associate Professor, Head of the “Applied Mechanics” Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan).

Sarvirova Natalia Sergeevna, PhD, Associate Professor, the Department “Transport Logistics” Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan).



СОДЕРЖАНИЕ

<i>Карпенко М.Ю., Петухов С.А., Курманова Л.С. (г. Самара, Российская Федерация)</i>	
Параметрическая диагностика дизелей тепловозов по данным бортовых систем регистрации режимов работы.....	7
<i>Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Бабаев Т.А., Ализаде Т.А. (г. Баку, Азербайджан)</i>	
Целесообразность учета фактора сейсмоактивности в системе безопасности железнодорожного транспорта	12
<i>Амиров С.Ф., Турдибеков К.Х., Рустамов Д.Ш. (г. Ташкент, Узбекистан)</i>	
Исследование основных характеристик индукционных датчиков больших токов для устройств систем электроснабжения электрического транспорта	16
<i>Бороненко Ю.П., Поляков Б.О., Крон И.Р. (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)</i>	
<i>Рахимов Р.В., Рузметов Я.О. (г. Ташкент, Узбекистан)</i>	
Определение энергоэффективности грузовых вагонов	22
<i>Джаббаров Ш.Б., Жумабеков Б.Ш. (г. Ташкент, Узбекистан)</i>	
Математический расчёт скорости на первой тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра	31
<i>Шимановский А.О., Кузнецова М.Г., Демьянчук О.В. (г. Гомель, Республика Беларусь)</i>	
Динамика взаимодействия вагонов с тормозными башмаками	38
<i>Илесалиев Д.И., Шихназаров Ж.А., Баймуратова Б.Б. (г. Ташкент, Узбекистан)</i>	
Исследования особенностей функционирования перевалочных насыпных терминалов	46
<i>Рахимжонов Б.Р., Ходжаева Н.А. (г. Ташкент, Узбекистан)</i>	
Реализация инвестиционных проектов по железнодорожному транспорту в условиях высокой конкуренции	50

CONTENTS

<i>Karpenko M.Yu., Petukhov S.A., Kurmanova L.S. (Samara, Russian Federation)</i>	
Parametric diagnostics of diesel locomotives based on data from on-board systems for recording operating modes.....	7
<i>Aliev T.A., Guluev G.A., Pashayev F.H., Babayev T.A., Alizada T.A. (Baku, Azerbaijan)</i>	
Advisability of taking into account the seismic activity factor in rail transport safety systems	12
<i>Amirov S.F., Turdibekov K.Kh., Rustamov D.Sh. (Tashkent, Uzbekistan)</i>	
Research of main characteristics of high currents induction sensors for the electric transport electric power supply systems devices.....	16
<i>Boronenko Yu.P., Polyakov B.O., Kron I.R. (St. Petersburg, Russian Federation)</i>	
<i>Rahimov R.V., Ruzmetov Ya.O. (Tashkent, Uzbekistan)</i>	
Freight cars energy efficiency determination.....	22
<i>Jabbarov Sh.B., Jhumabekov B.Sh. (Tashkent, Uzbekistan)</i>	
Mathematical calculation of speed at the first brake position of the hidden hill when exposed to a fair wind	31
<i>Shimanovsky A.O., Kuznetsova M.G., Demyanchuk O.V. (Gomel, Republic of Belarus)</i>	
Dynamics of interaction of railway cars and braking shoes	38
<i>Ilesaliev D.I., Shikhnazarov J.A., Baymuratova B.B. (Tashkent, Uzbekistan)</i>	
Studies of functioning features bulk transportation terminals	46
<i>Rakhimjonov B.R., Khodjayeva N.A. (Tashkent, Uzbekistan)</i>	
Implementation of investment projects of railway transport in the conditions of high competition	50

УДК (UDC) 621.436

**ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ ПО ДАННЫМ
БОРТОВЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ****PARAMETRIC DIAGNOSTICS OF DIESEL LOCOMOTIVES BASED ON DATA FROM
ON-BOARD SYSTEMS FOR RECORDING OPERATING MODES**

Карпенко М.Ю., Петухов С.А., Курманова Л.С.
Karpenko M.Yu., Petukhov S.A., Kurmanova L.S.

Самарский государственный университет путей сообщения (Самара, Российская Федерация)
Samara State Transport University (Samara, Russia)

Аннотация. Представлен сравнительный анализ эффективности автоматизированных систем регистрации параметров работы дизелей тепловозов. Выявлено, что у существующих систем параметрической диагностики дизелей тепловозов отсутствует возможность проведения процедуры индирования. Предложен вариант дооснащения аппаратно-программного комплекса датчиком давления газов для контроля давления сгорания в цилиндрах дизеля. Произведена оценка сравнительной эффективности прямого и косвенного индирования по данным системы мониторинга, а также с помощью компьютерного моделирования с использованием автоматизированной системы ENGINE.

Ключевые слова дизель, тепловоз, диагностика, режимы работы, индирование, системы диагностики, удельный расход топлива.

Дата принятия к публикации: 20.05.2022
Дата публикации: 15.06.2022

Сведения об авторах:

Карпенко М.Ю. – студент кафедры «Локомотивы», Самарский государственный университет путей сообщения, e-mail: lokosss1@mail.ru

Петухов С.А. – к.т.н., доцент кафедры «Локомотивы», Самарский государственный университет путей сообщения, e-mail: sakmara-cite@mail.ru

Курманова Л.С. – к.т.н., доцент кафедры «Локомотивы», Самарский государственный университет путей сообщения, e-mail: leyla_kurmanova@mail.ru

Abstract. A comparative analysis of the effectiveness of automated systems for recording the parameters of diesel locomotives is presented. It is revealed that the existing systems of parametric diagnostics of diesel locomotives do not have the possibility of carrying out the indexing procedure. A variant of retrofitting the hardware and software complex with a gas pressure sensor for monitoring the combustion pressure in diesel cylinders is proposed. The comparative effectiveness of direct and indirect indexing was evaluated according to the monitoring system data, as well as using computer modeling using the automated ENGINE system.

Keywords: diesel, diesel locomotive, diagnostics, operating modes, indexing, diagnostic systems, specific fuel consumption.

Date of acceptance for publication: 20.05.2022
Date of publication: 15.06.2022

Authors' information:

Karpenko M.Yu. – student of the department “Locomotives”, Samara State University of Railway Transport, e-mail: lokosss1@mail.ru

Petukhov S.A. – candidate of technical sciences, associate professor of the department “Locomotives”, Samara State University of Railway Transport, e-mail: sakmara-cite@mail.ru

Kurmanova L.S. – candidate of technical sciences, associate professor of the department “Locomotives”, Samara State University of Railway Transport, e-mail: leyla_kurmanova@mail.ru

Введение

В процессе эксплуатации агрегаты и сборочные единицы тепловозов подвергаются воздействию знакопеременных нагрузок, которые характеризуются повышением скоростей движения и среднесуточных пробега, а

также увеличением массы перевозимых грузов.

В связи с этим задачи по повышению качества дизелей тепловозов, уровня их технической готовности, производительности, надежности и экономичности являются масштабными и актуальными [1].

1. Параметрическая диагностика дизелей тепловозов

Во многих случаях дефекты агрегатов и сборочных единиц тепловозов выявляются в процессе испытаний на реостатной станции сервисных предприятий с применением средств стационарной диагностики, что является трудоемкой и экономически затратной, так как требует вывода тепловоза из эксплуатации. Более эффективное и менее затратное с точки зрения «цена/качество» обнаружение неисправностей, которые могут возникать в период эксплуатации, можно осуществить путем проведения модернизации автоматизированных систем регистрации параметров работы.

Автоматизированные системы регистрации параметров работы предназначены для регистрации, анализа параметров работы и учета дизельного топлива при эксплуатации тепловозов, а также для непрерывного контроля их технического состояния и передачи зарегистрированных данных с использованием беспроводного канала (рис. 1) [2-4].

Функциональные возможности автоматизированных систем регистрации параметров работы сводятся к контролю основных параметров работы отдельных сборочных единиц и агрегатов, а также оценке эксплуатационных параметров автономных локомотивов.

Значительный опыт по применению систем параметрической диагностики с целью мониторинга технического состояния автономных локомотивов имеется у американской компании *General Electric Transportation* (GE) [5].

На рисунке 1: АРМ – автоматизированное рабочее место; ДДГ – датчик давления газов в цилиндрах; ДДТ – датчик давления топлива; БИ – блок индикаторный; ДЧВ – датчик частоты вращения; РБ – распределительный блок; КБ – кросс блок; КТВГ – контроллер температуры выпускных газов; ББ – базовый блок; ДКМ – датчик контроллера машиниста; БП – блок питания; ДУТ1, ДУТ2 – датчики уровня топлива; ДДН – датчик давления надувочного воздуха; СИТ – система измерения топлива; ДН – датчик напряжения; ДТ – датчик тока; ДДМ – датчик давления

масла в цилиндрах; ДТВГ – датчики температуры выпускных газов.

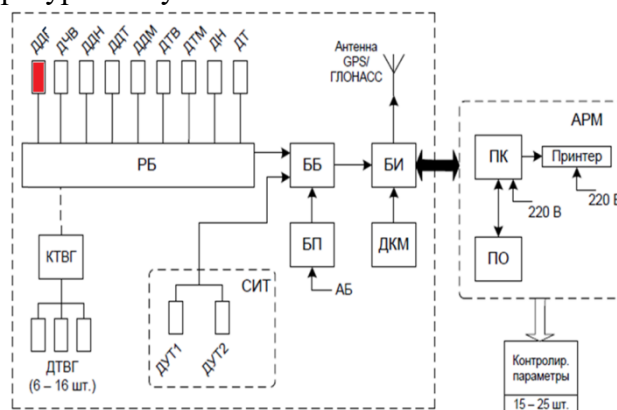


Рис. 1. Схема распространённых автоматизированных систем регистрации параметров работы дизелей тепловозов, дополненная размещением датчика давления газов в цилиндрах

В процессе эксплуатации тепловозов бортовая система диагностики *Bright Star* производит сбор и анализ данных о работе локомотивов на основе порядка 250 измеряемых параметров. Технический и экономический эффекты от применения данной бортовой системы диагностики достигаются с помощью комплексного подхода, который включает в себя контроль основных процессов,

Система мониторинга позволяет сократить вдвое повторные заходы на ремонт, обнаружить неисправности на ранней стадии их возникновения и сократить время непроизводительных простоев.

Подобные системы мониторинга создаются большинством зарубежных локомотивных компаний.

Несмотря на значительный опыт зарубежных исследований, на отечественном железнодорожном транспорте имеется большой научно-технический задел, позволяющий создавать автоматизированные системы регистрации параметров работы автономных локомотивов.

Так, например, АПК «БОРТ», разработанный ОАО «НИИТКД» г. Омск позволяет выявить несанкционированные сливы топлива, оценить состояние систем тепловоза как в режиме реального времени, так и при анализе накопленных данных, объективно нормировать расход топлива, отслеживать пробег

тепловоза, горячего простоя, заглушенного состояния, работы тягового генератора.

Регистратор параметров работы тепловоза «РПРТ», разработанный совместными усилиями сотрудников ЗАО «ОЦВ» и АО «(ВНИИЖТ)» позволяет осуществлять автоматизированный сбор, регистрацию и обработки информации о работе тепловоза, с целью контроля, учета и анализа расхода топлива тепловозом в эксплуатации.

Еще одна система регистрации параметров автономных локомотивов АСК-ВИС - аналог АПК «Борт», разработанная компанией ««СпецАвтоИнжиниринг»». Имеется положительный опыт использования диагностических данных при эксплуатации тепловозов 2ТЭ116 на полигоне Октябрьской железной дороги. АСК-ВИС осуществляет запись более 40 регистрируемых параметров с последующим их хранением около 30 суток. Также в функциональные возможности системы АСК-ВИС входит передача данных по радиоканалу *GPRS* на сервер единой системы мониторинга и самодиагностика модулей.

Проведя анализ имеющейся информации по применению автоматизированных систем регистрации параметров работы, можно сделать вывод, что ни одни из существующих современных диагностических комплексов, как стационарные, так и бортовые не позволяют анализировать рабочий цикл дизелей тепловозов путем проведения прямого или косвенного индицирования.

По характеру изменения индикаторных диаграмм и показателям рабочего цикла судят о состоянии давления сгорания в цилиндрах дизеля в зависимости от угла поворота коленчатого вала. Данный показатель является информативным с точки зрения протекания качества рабочих процессов и экономичности рабочего цикла [6].

Таким образом, модернизация существующих автоматизированных систем регистрации параметров работы транспортных энергетических установок возможна путем контроля давления сгорания газов в цилиндрах, например, с помощью датчика давления газов типа *PS-16* (рис. 2).

Датчик давления имеет диапазон измерения от 0 до 16 МПа, максимальную погрешность $\leq 1,5$ % и крепится на штатный индикаторный кран.

Проведенное индицирование с помощью системы мониторинга с применением датчика давления газов *PS-16* на среднеоборотном дизеле типа *K6S310DR* маневрового тепловоза ЧМЭЗ показало свою эффективность [7]. С помощью метода параметрической диагностики был установлен перерасход топлива относительно паспортного значения в среднем до 7 % и выше, который возникает даже при незначительной разрегулировки параметров работы топливной аппаратуры и газораспределительного механизма с последующим падением цилиндровой мощности.

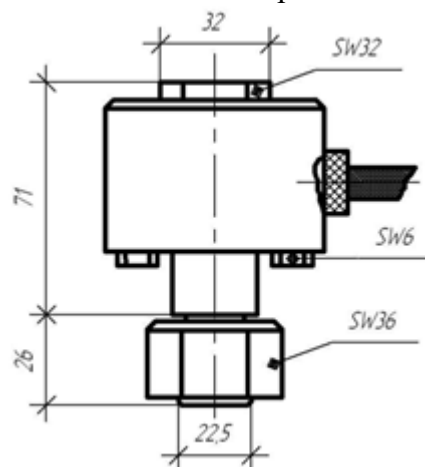


Рис. 2. Датчик давления газов типа *PS-16*

Также возможен косвенный метод получения индикаторных диаграмм и показателей рабочего цикла дизеля, который заключается в использовании математических моделей, в основе которых известные теоретические положения, которые в той или иной степени интегрированы в автоматизированные системы, как *DISEL*, *DIESEL RK*, *ENGINE* и др. [8]. Данный метод наиболее удобен и менее затратен.

Для сравнительной эффективности прямого и косвенного индицирования была произведена оценка рабочего цикла по результатам, полученными авторами с применением системы мониторинга *DEPAS* [7], а также с помощью компьютерного моделирования с использованием автоматизированной системы *ENGINE*.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ:							
Тактность $i=$	4	Число цилиндров $N=$	6	Объем КС $V=$	27200	ДП $D=$	31
Частота $\omega=$	550	Степень сжатия $\varepsilon=$	13	РКХП $\gamma=$	0.25		
ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНОГО ТОПЛИВА:							
Вид топлива		Агрегатное состояние			Теплотворность		
Дизельное топливо		жидкость			42830 Дж/г		
Состав топлива, массовых %		C	H	O	N	S	Pb
		86.3	13.3	0.04	0.05	0.3	0
							A W
							0.01 0
ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА:							
Начальное давление $P_0=$		Начальная температура $T_0=$		ТКС $T_{\text{и}}=$			
1.3		317		550			
КИБ $\alpha=$	2.1	ДРК $\Delta=$	50	МНВ $\varepsilon_{\text{и}}=$	24	ДВ $\Delta\tau=$	24
Модель горения: ☒ Газодинамическая ☐ Химкинетическая				Копировать форму в файл << Вернуться Рассчитать химгазодинамику >>			

Рис. 3. Окно программы *ENGINE* для ввода исходных данных (Технические характеристики и составляющие внешнего теплового баланса дизеля K6S310DR маневрового тепловоза ЧМЭЗ на режиме 50% от номинальной мощности) [9]

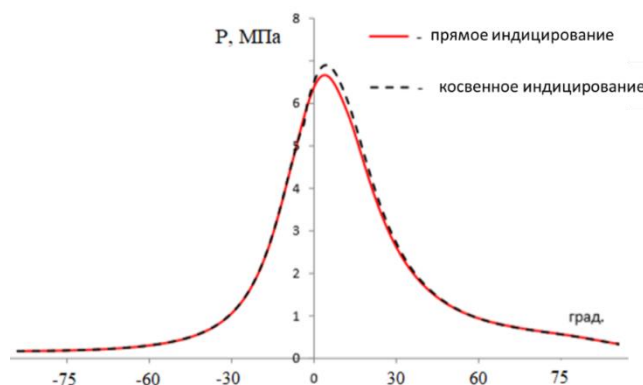


Рис. 4. Индикаторные диаграммы дизеля K6S310DR, полученные с помощью прямого и косвенного индицирования

На рисунке 3 приведено окно рабочей программы *ENGINE* с вводом основных технических характеристик исследуемого двигателя для расчётно-экспериментальной оценки параметров рабочего цикла.

Таким образом, графическое изображение экспериментальной и расчетной индикаторных диаграммы на рисунке 3, полученных путем прямого и косвенного индицирования свидетельствуют о том, что погрешность моделирования характеристик рабочего цикла составляет не более 3%. Кроме этого, на индикаторных диаграммах видно, что значения максимальных давлений сгорания, полученных расчетным и экспериментальным путем, отличаются всего лишь на 1-2 градуса угла поворота коленчатого вала дизеля.

Заключение

Таким образом, установка датчиков давления газов в цилиндрах дизеля тепловоза в составе автоматизированной системы регистрации параметров работы позволит повысить точность контроля и точность настройки ДГУ на 2-3 %, тем самым получить комплексную оценку технического состояния ДГУ и принять своевременные решения по профилактическим мерам обслуживания или ремонта.

Список литературы

1. Петухов С.А. Ресурсосбережение и энергоэффективность тепловозных двигателей: монография / С.А. Петухов,

В. Е. Лазарев, В.В. Асабин [и др.]. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2020. – 138 с.

2. Система измерительная для автоматизированного контроля параметров тепловоза (АСК-ВИС-2ВК). Руководство по эксплуатации РЭ 002-01-2009. ООО «ТехноВИС». 2009. 22 с.

3. Системы топливоизмерительные аппаратно-программного комплекса БОРТ. Приложение к свидетельству №65521. 2017. 10 с.

4. Регистратор параметров работы тепловоза (РПРТ). Руководство по эксплуатации КНГМ.421429.004 РЭ. 49 с.

5. Лакин И.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов: дис... канд. техн. наук. [Текст] – Москва, 2016. – 195 с.

6. Росляков А.Д. Методика проведения стендовых испытаний тепловозных дизелей на альтернативных видах топлива / А.Д. Росляков, Л. С. Курманова, С. А. Петухов // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 89-92.

7. Лобанов И.А. Повышение эксплуатационной эффективности тепловозных дизелей применением средств оперативной диагностики: дис... канд. техн. наук. [Текст] – Москва, 2017. – 209 с.

8. Булыгин Ю.И. Экспериментальное и компьютерное исследование рабочего процесса и токсичности тепловозных двигателей внутреннего сгорания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 145 с.

9. Нотик З.Х. Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ. Москва. Транспорт. 1996. – 444 с.

Настоящая работа рассмотрена в Первой Международной научно-технической конференции «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ: проблемы, решения, перспективы» (20–23 апреля 2022 г., Ташкент, Узбекистан).

УДК (UDC) 656.222

ADVISABILITY OF TAKING INTO ACCOUNT THE SEISMIC ACTIVITY FACTOR IN RAIL TRANSPORT SAFETY SYSTEMS

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ УЧЕТА ФАКТОРА СЕЙСМОАКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Aliiev T.A., Guluev G.A., Pashayev F.H., Babayev T.A., Alizada T.A.
Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Бабаев Т.А., Ализаде Т.А.

Institute of Control Systems of ANAS (Baku, Azerbaijan)
Институт Систем Управления НАНА (Баку, Азербайджан)

Аннотация. Рассматривается один из возможных вариантов создания в системе безопасности железнодорожного транспорта аппаратуры заблаговременного оповещения появления опасных сейсмических процессов. Показаны возможность получения и анализа сейсмоакустических сигналов и варианты построения системы сейсмоакустического помехоповещения начала подготовки землетрясения путем анализа помехи сейсмосигналов, получаемых от бытовых колодцев с водой при помощи гидрофонов. В перспективе путем интеграции станций сейсмоповещения соседних сейсмоактивных регионов можно повысить степень достоверности и надежность оповещения ожидаемого землетрясения. Благодаря этому системой оповещения будет представлена необходимая информация о сейсмической обстановке региона, который позволит своевременно принимать соответствующие меры.

Ключевые слова железнодорожный транспорт, системы безопасности, сейсмические процессы, сейсмоакустический сигнал, помеха, гидрофон, землетрясение, оповещения.

Abstract. One of the possible variants of creating in the rail transport safety system the equipment for advance warning of the emergence of dangerous seismic processes is considered. The possibility of obtaining and analyzing seismic-acoustic signals and options for building a system of seismic-acoustic noise warning of the beginning of earthquake preparation by analyzing the noise of seismic signals received from residential water wells with hydrophones are shown. In the future, by integrating seismic warning stations of neighboring seismic active regions, the degree of accuracy and reliability of earthquake warning can be increased. Thanks to this, the warning system will provide the necessary information about the seismic situation in the region, which will make it possible to take appropriate actions in a timely manner.

Keywords: rail transport, security systems, seismic processes, seismic-acoustic signal, noise, hydrophone, earthquake, warnings

Дата принятия к публикации: 20.05.2022
Дата публикации: 15.06.2022

Date of acceptance for publication: 20.05.2022
Date of publication: 15.06.2022

Сведения об авторах:

Алиев Т.А. – д.т.н., профессор, академик, Институт систем управления НАНА, e-mail: director@cyber.az;

Гулуев Г.А. – д.т.н., профессор, Институт систем управления НАНА, e-mail: scb_06@mail.ru

Пашаев Ф.Г. – д.т.н., профессор, Институт систем управления НАНА, e-mail: pasha.farhad@gmail.com;

Бабаев Т.А. – к.т.н., доцент, директор региональной академии инновационных технологий, e-mail: tbabayev@bk.ru;

Ализаде Т.А. – PhD, доцент, Институт систем управления НАНА, e-mail: tahiralizada@gmail.com

Authors' information:

Aliiev T.A. – doctor of technical sciences, professor, academician, Institute of Control Systems of ANAS, e-mail: director@cyber.az;

Guluev G.A. – doctor of technical sciences, professor, Institute of Control Systems of ANAS, e-mail: scb_06@mail.ru;

Pashayev F.H. – doctor of technical sciences, professor, Institute of Control Systems of ANAS, e-mail: pasha.farhad@gmail.com;

Babayev T.A. – candidate of technical sciences, doцент, Director of the Regional Innovative Technologies Academy, e-mail: tbabayev@bk.ru;

Alizada T.A. – candidate of technical sciences, doцент, Institute of Control Systems of ANAS, e-mail: tahiralizada@gmail.com

Introduction

An analysis of the literature [1-3] devoted to control technologies and control systems of railroads has shown the importance of taking into account the specifics of seismic processes in safety systems of this mode of transport in seismically active regions.

This is due to the fact that weak, 1-3-point earthquakes often occur in these regions, affecting the technical condition of the railroad tracks, bridges, tunnels and communications. As a rule, they do not result in great destruction. But each such earthquake is a potential factor contributing to the beginning of the latent period of changes in the facility's technical condition. In this regard, taking these specifics into account in rail transport safety systems in seismically active regions is of undoubted practical interest [1-3].

1. Problem statement

With the development of high-speed train traffic, the requirements for objects and devices of railroad infrastructure are becoming more stringent, both for the quality of determining the occupancy of the track and for the condition of the rail line, the track superstructure (ballast), on which the qualitative characteristics of performance, safety and uninterrupted operation of trains depend. To ensure the safety of the track, it is necessary to obtain sufficient information to monitor the technical condition of the track ballast, the subgrade, under the ballast and sloping areas of the roadbed during the movement of the rolling stock [4-8]. The prerequisite for the application of the vibration control method here is that a certain condition of embankments corresponds to a group of diagnostic signs of a dynamic process that occur during the movement of trains. The result of the dynamic process reflecting the beginning of changes in the technical condition of the railroad track during weak earthquakes affects the seismic-acoustic signal $g(i\Delta t)$, which consists of the useful vibration signal $X(i\Delta t)$ and the sum noise $\varepsilon(i\Delta t)$ of the vibration signal, i.e.,

$$g(i\Delta t) = X(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t).$$

The problem this paper aims to solve is creating tools and new intelligent technologies for obtaining information about the seismic status of the train route by analyzing the noise $\varepsilon(i\Delta t)$ of seismic-acoustic noisy signals $g(i\Delta t)$.

2. Main components of creating a railroad operation safety system in seismically active regions

The significant advantages of rail transport in comparison with other modes of transport offer great prospects. There are great achievements in this area at present. However, seismic activity in the large territories of some regions can create problems. The most important and vulnerable element of rail transport is the railroad track, the insufficient monitoring of the condition of which does not ensure the proper safety of the rolling stock [1-5]. In view of the above, as the railroad passes through seismically active regions, additional requirements for traffic safety appear. This particularly applies to the problems of controlling the onset of the emergency condition of wheels and rails, their vulnerability, derailment conditions.

In view of the above, the issues of ensuring the safety of railroad tracks, taking into account the characteristics of seismically active regions along the route of the train, are an extremely relevant problem. Our studies have shown that in order to ensure an adequate level of safety of operation of rail transport in seismically active regions, it is necessary to create [1, 2]:

- a system of intelligent analysis of the level of seismic activity and prompt notification of seismic hazard along the main line;
- a system to control malfunctions of railroad tracks, bridges, tunnels and communication hubs of the entire route;
- a system to control the beginning of malfunctions and the adequacy of the results of operation of the rolling stock diagnostic systems.

These subsystems will allow the driver and the traffic control service to receive additional information in advance and take appropriate measures to ensure traffic safety in general.

The first component includes the creation of a system of seismic-acoustic warning along the route, as well as the development of software

and equipment for transmitting, collecting, processing and analyzing seismic-acoustic information. Using a network of stations [2], this subsystem will allow calculating in real time the probability of occurrence of dangerous seismic processes in the territory of the railroad route by analyzing the noise of seismic-acoustic signals. The obtained information can be used to make appropriate decisions. In the considered version, solving the given problem first of all requires obtaining seismic-acoustic noise by means of hydrophones from water wells. This is due to seismic-acoustic noise being the primary immediate carrier of information on the incipient earthquake [1-3]. Here, the analysis of noise, i.e., seismic-acoustic noise, as a carrier of useful diagnostic information is of particular significance. Experimental research has demonstrated that in the analysis of the noise $\varepsilon(i\Delta t)$ of the seismic-acoustic signal $g(i\Delta t)$, clear identification of the time of the beginning of earthquake preparation by means of traditional technologies is impossible. At the same time, using the robust technologies for noise analysis of the obtained estimates of the noise variance D_ε and the cross-correlation function $R_{X\varepsilon}(\Delta t)$ between the useful signal and the noise, allows detecting the beginning of earthquake preparation, i.e.,

$$D_\varepsilon \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\begin{array}{c} g^2(i\Delta t) + \\ +g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - \\ -2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) \end{array} \right],$$
$$\approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\begin{array}{c} \text{sgng}(i\Delta t)g(i\Delta t) - \\ -2\text{sgng}(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) + \\ +\text{sgng}(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) \end{array} \right]$$

where $g(i\Delta t)$ is the centered noisy seismic-acoustic signal, $R_{X\varepsilon}(\mu\Delta t)$ is the cross-correlation function between the useful signal $X(i\Delta t)$ and the noise $\varepsilon(i\Delta t)$; $\mu\Delta t$ is the time shift between the samples of the useful signal $X((i+\mu)\Delta t)$ and the noise $\varepsilon(i\Delta t)$; $g((i+\mu)\Delta t)$ is the $(i+\mu)$ -th sample of the centered noisy signal; N is the number of samples.

The results of experimental analysis of seismic-acoustic information obtained with acoustic

sensors installed at the wellhead have shown that during earthquake preparation the propagation of seismic-acoustic noise in the deep strata of the earth is significantly ahead of the widely used standard seismic equipment. It has been experimentally established that monitoring of the beginning of time using the technology described above is carried out sufficiently reliably by seismic warning stations. At that, with the increase of earthquake intensity, the reliability of warning results improves and the degree of reliability of the results of identification of possible locations of the focus area of the expected earthquake increases.

Conclusion

Based on the results of the analysis of the earthquake preparation process, it can be assumed that the time of advance registration of the onset of earthquake preparation by analyzing the noise of the seismic-acoustic signal compared with standard seismic instrumentation is due to two factors.

First, seismic-acoustic waves emerging at the onset of earthquake preparation reach the earth's surface much earlier than seismic waves. They propagate horizontally as noise at the speed of sound and reach the earth's surface, where they are picked up by a hydrophone. At the same time, low-frequency seismic waves from seismic processes are felt at the earth's surface after a certain time interval, when an earthquake is already in progress. Therefore, they are registered by seismometers of standard ground equipment much later.

Second, due to the use of technologies for analyzing seismic-acoustic noise, it is only when there is a correlation between a useful signal and a noise that the beginning of earthquake preparation is detected at the beginning of its inception.

Thanks to these two factors, by analyzing seismic-acoustic noise, the beginning of earthquake preparation is indicated much earlier than by standard ground-based seismic stations.

References

1. T. Aliev, “Noise Control of the Beginning and Development Dynamics of Accidents”, Springer, 2019, pp. 201.
2. T. Aliev, A. Abbasov, E. Aliev, and G. Guliev, “Digital technology and systems for generating and analyzing information from deep strata of the Earth for the purpose of interference monitoring of the technical state of major structures”, *Automatic Control and Computer Sciences*, Vol. 41, 2007, pp. 59-67.
3. T. Aliev, A. Alizade, G. Etirmishli et al, “Intelligent seismoacoustic system for monitoring the beginning of anomalous seismic process. *Seismic Instruments*”, 47(1):15-23. doi:10.3103/S0747923911010026.
4. J. Bendat, A. Piersol, “Random data: analysis and measurement procedures”, 4th edn. Hoboken: Wiley, 2010, Available at: www.doi.org/10.1002/9781118032428.ch11.
5. H. Zafarani, A. Noorzad, A. Ansari et al, “Stochastic modeling of Iranian earthquakes and estimation of ground motion for future earthquakes in Greater Tehran”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 200929(4):722-741. doi: 10.1016/j.soildyn.2008.08.002.
6. V. Sokolov, C. Loh, and K. Wen, “Evaluation of hard rock spectral models for the Taiwan region on the basis of the 1999 Chi–Chi earthquake data”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2003, 23(8):715-735. doi:10.1016/S0267-7261(03)00075-7.
7. J. Stankiewicz, D. Bindi, A. Oth et al, “Designing efficient earthquake early warning systems: case study of Almaty, Kazakhstan”, *Journal of Seismology*, 2013, 17(4):1125-1137. doi:10.1007/s10950-013-9381-4.
8. P. Rydelek, and J. Pujol, “Real-time seismic warning with a two-station subarray”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2004, 94(4):1546-1550. doi:10.1785/012003197.

Настоящая работа рассмотрена в Первой Международной научно-технической конференции «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ: проблемы, решения, перспективы» (20–23 апреля 2022 г., Ташкент, Узбекистан).

УДК (UDC) 621.314.22

RESEARCH OF MAIN CHARACTERISTICS OF HIGH CURRENTS INDUCTION SENSORS FOR THE ELECTRIC TRANSPORT ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS DEVICES**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ БОЛЬШИХ ТОКОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

Amirov S.F., Turdibekov K.Kh., Rustamov D.Sh.
Амиров С.Ф., Турдибеков К.Х., Рустамов Д.Ш.

Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)
Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация. Работа посвящена разработке индукционных датчиков больших токов, которые обеспечивают высокую чувствительность, точность и надежность характеристик так необходимых для систем контроля и управления при обеспечении электроэнергией альтернативных и бесперебойных сетей высокого напряжения высокоскоростных поездных составов. В статье описаны результаты исследования магнитных цепей разработанных индукционных датчиков больших токов для устройств систем электроснабжения электрического транспорта, получены аналитические выражения магнитного потока в ферромагнитных соединительных элементах и магнитного напряжения, а также основные характеристики индукционных датчиков.

Ключевые слова Индукционные датчики, магнитная цепь, ферромагнитные элементы, магнитное напряжение, магнитный поток, статические характеристики.

Abstract. The work is devoted to the development of high current induction sensors, which provide high sensitivity, accuracy and reliability of the characteristics so necessary for monitoring and control systems while providing electricity to alternative and uninterrupted high voltage networks of high-speed trains. The article describes the results of a study of the magnetic circuits of the developed high current induction sensors for devices of electric transport power supply systems, obtained analytical expressions for the magnetic flux in ferromagnetic connecting elements and magnetic voltage, as well as the main characteristics of high induction currents.

Keywords: Induction sensors, magnetic circuit, ferromagnetic elements, magnetic voltage, magnetic flux, static characteristics.

Дата принятия к публикации: 20.05.2022
Дата публикации: 15.06.2022

Date of acceptance for publication: 20.05.2022
Date of publication: 15.06.2022

Сведения об авторах:

Амиров С.Ф. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение», Ташкентский государственный транспортный университет, e-mail: sulton.amirov@bk.ru

Турдибеков К.Х. – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение», Ташкентский государственный транспортный университет, e-mail: etkmturdibekov@yandex.ru

Рустамов Д.Ш. – PhD, доцент кафедры «Электроснабжение», Ташкентский государственный транспортный университет, e-mail: rustamov_d1976@mail.ru

Authors' information:

Amirov S.F. – doctor of technical sciences, professor, head of the department “Electricity supply”, Tashkent State Transport University, e-mail: sulton.amirov@bk.ru

Turdibekov K.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor of the department “Electricity supply”, Tashkent State Transport University, e-mail: etkmturdibekov@yandex.ru

Rustamov D.Sh. – PhD, associate professor of the department “Electricity supply”, Tashkent State Transport University, e-mail: rustamov_d1976@mail.ru

Introduction

Nowadays, research work is being intensively carried out for creating and developing control sensors in electric power supply systems in the world leading countries. Therefore, great importance is given to the research of the main characteristics of induction sensors of high currents (ISHC), which are characterized by high sensitivity, accuracy and reliability. For determining the static characteristics, it is necessary to research and develop their electromagnetic circuit of the developed induction sensors of high currents, which is a circuit with distributed electrical and magnetic parameters [1]. Such parameters include the linear values of the C-shaped ferromagnetic concentric rings magnetic resistance, magnetic capacitances of the gap between these rings and the longitudinal ampere turns per unit of the magnetic circuit angle, linear values of the connecting ferromagnetic elements magnetic resistance, the magnetic capacitances of the gap between these connecting elements and the longitudinal ampere turns of the modulation winding, per unit the lengths of these connecting elements.

In induction sensors with distributed parameters, in particular, in the developed ISHC, the main factors are the change in magnetic voltage and magnetic flux along the magnetic circuit length.

The modulation magnetic circuits of the developed ISHC [2] consist of two C-shaped parallel sections with cutouts (in the rod pair form) along the profile, interconnected by two ferromagnetic connecting elements made with rectangular cutouts (in the rod pair form) and modulating windings arranged evenly on each rod pair of C-shaped sections and the connecting element (fig. 1).

Each section of C-shaped magnetic conductors with corresponding modulating windings and connecting element with modulating windings is a separate magnetic circuit, practically magnetically disconnected from each other. In all three magneto modulation circuits, the conditions for creating a magnetic field are almost the same: a modulating magnetic field is created by magnetizing windings uniformly distributed along parallel rods.

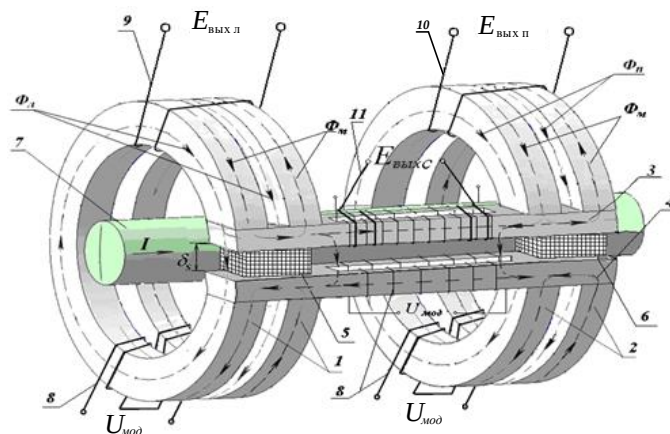


Fig. 1. Design diagram of the developed device for converting current into voltage with advanced functionality

1 and 2 – C – shaped parallel sections of the magnetic conductor with cutouts, 3 and 4 – ferromagnetic connecting elements, 5 and 6 – wedges, 7 – current-conducting bus, 8 – modulating windings, 9, 10, 11 – three measuring (output) windings.

In the C-shaped sections of the magnetic circuit, the magnetic flux of the converted current I_x is determined on the basis of Ohm's law as:

$$Q_{\mu x}^c = \frac{F_x}{\sum Z_{\mu}} = \frac{I_x w_x}{Z_{\mu 0} + Z_{\mu \delta}}, \quad (1)$$

where $Z_{\mu 0} = \frac{2\pi r_{cp} \alpha_m}{\mu \mu_0 (r_H - r_B) h_1 360^\circ}$, $Z_{\mu \delta} = \frac{\delta_p}{\mu_0 b_n X_M}$ – magnetic resistances respectively of the C-shaped magnetic conductor and the air gap in the magnetic flux path $Q_{\mu x}^c$.

Considering that $\mu \gg 1$ and consequently, $Z_{\mu ct} \ll Z_{\mu \delta}$, then the equation (1) in the first approximation can be rewritten as follows:

$$Q_{\mu x}^c \approx \frac{F_x}{Z_{\mu \delta}}. \quad (2)$$

Magnetic induction in one section of the C-shaped magnetic conductors is as follows:

$$B_{ct}^c = \frac{Q_{\mu x}^c}{2b_2 h_2}. \quad (3)$$

The magnitude of the magnetic field strength of the converted current in the C-shaped magnetic circuit is determined as follows:

$$H_x^c = \frac{B_{ct}^c}{\mu_0}. \quad (4)$$

The main characteristics of primary measuring transducers – sensors, including ISHC, are static characteristics. The static characteristic of

the sensor is the dependence between the output and input values at their steady-state values [3, p.23]. For ISHC, the input value is a direct or alternating current I_x , and the output value is the EMF induced in the measuring winding.

1. Static characteristic

The average value of the output EMF is determined taking into account the equation

$$\left. \begin{aligned} \left(1 - \frac{\gamma_1 Z_{\mu T1}}{2Z_{\mu n1}}\right) A_1 + \left(1 + \frac{\gamma_1 Z_{\mu T1}}{2Z_{\mu n1}}\right) A_2 = \\ = -\frac{f_m Z_{\mu T1}}{2Z_{\mu n1}} \\ \left(1 + \frac{\gamma_1 Z_{\mu T1}}{2Z_{\mu n1}}\right) e^{\gamma_1 \alpha_m} A_1 + \left(1 - \frac{\gamma_1 Z_{\mu T1}}{2Z_{\mu n1}}\right) e^{-\gamma_1 \alpha_m} A_2 = \\ = \frac{f_m Z_{\mu T1}}{2Z_{\mu n1}} \end{aligned} \right\}$$

is defined by the following expression [4, p.38; 105, p.41].

$$\begin{aligned} E_{cp} &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} e_m dt = -\frac{2w_u S k_1}{\pi} \times \\ &\times \int_0^{\pi/2} \left[\frac{H'_{mm} \omega \cos \omega t}{1 + (H'_x + H'_{mm} \sin \omega t)^2} - \right. \\ &\left. - \frac{H'_{mm} \omega \cos \omega t}{1 + (H'_x - H'_{mm} \sin \omega t)^2} \right] dt \\ &= -\frac{2w_u S k_1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{d(H'_x + H'_{mm} \sin \omega t)}{1 + (H'_x + H'_{mm} \sin \omega t)^2} - \\ &- \frac{2w_u S k_1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{d(H'_x - H'_{mm} \sin \omega t)}{1 + (H'_x - H'_{mm} \sin \omega t)^2} = \\ &= \frac{2w_u S k_1}{\pi} [2 \operatorname{Arctg} H'_x - \\ &- \operatorname{Arctg}(H'_x - H'_{mm}) - \operatorname{Arctg}(H'_x + H'_{mm})] \end{aligned} \quad (4)$$

In order to simplify the analysis of the expression (4), we express it through relative units. For this, enter the following symbol:

$$E_0 = \frac{2w_u S k_1}{\pi}. \quad (5)$$

Taking into account (5), expression (4) takes the following form [6, p.150]:

$$\begin{aligned} E_{cp}^* = \frac{E_{cp}}{E_0} &= 2 \operatorname{Arctg} H'_x \\ &- \operatorname{Arctg}(H'_x - H'_{mm}) - \\ &- \operatorname{Arctg}(H'_x + H'_{mm}) \\ &= f(H'_x, H'_{mm}). \end{aligned} \quad (6)$$

Expression (6) is the equation of the static characteristic of the developed ISHC.

Analysis of the expression (6) shows that each value of modulation current I_m , and therefore H'_{mm} corresponds to a certain maximum value of output EMF in function $E_{max}^* = f(H'_x)$ at $H'_{mm} = \text{const}$. At the same time, by changing the current values in the modulation windings, it's possible to obtain a family of static characteristics of the ISHC.

For determining the E_{max}^* values, we need to research the conversion function (6) to maximum, i.e.

$$\begin{aligned} \frac{dE_{cp}^*}{dH'_x} &= \frac{2}{1 + H_x'^2} - \frac{1}{1 + (H'_x - H'_{mm})^2} - \\ &- \frac{1}{1 + (H'_x + H'_{mm})^2} = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Here we find:

$$H'_{xmax} = \pm \frac{\sqrt{3} \sqrt{H_{mm}'^2 + 1}}{3} \quad (8)$$

Substituting (8) into (6) we have

$$\begin{aligned} E_{cp,max}^* &= 2 \operatorname{Arctg} \left(\pm \frac{\sqrt{3} \sqrt{H_{mm}'^2 + 1}}{3} \right)'_x \\ &- \operatorname{Arctg} \left(\pm \frac{\sqrt{3} \sqrt{H_{mm}'^2 + 1}}{3} - \right. \\ &\left. - H'_{mm} \right) - \operatorname{Arctg} \left(\pm \frac{\sqrt{3} \sqrt{H_{mm}'^2 + 1}}{3} \right. \\ &\left. + H'_{mm} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

It should be noted that the function $E_{max} = f(H'_x, H'_{mm})$ carries full information about the converted current, since H'_x is functionally related to the converted current I_x [7, p. 206].

Substituting the H_x and H_{mm} values according to the equations:

$$\begin{aligned} H_x^n &= \frac{1}{0,5X_m} Z_{\mu n3} \int_0^{0,5X_m} Q_\mu dx = \\ &= \frac{2f_x \operatorname{ch}(0,5\beta_3)}{\Delta_5} [\operatorname{ch}(0,5\beta_3) - 1] \quad H_x^n = \\ &= \frac{1}{0,5X_m} Z_{\mu n3} \int_0^{X_m} Q_\mu dx = \frac{2f_x \operatorname{ch}(0,5\beta_3)}{\Delta_5} [1 - \\ &\operatorname{ch}(0,5\beta_3)] \quad H_m(x_1) = \\ &= \frac{1}{0,5X_m} Z_{\mu n2} \int_0^{0,5X_m} Q_\mu(x_1) dx_1 = f_{m2} [1 - \end{aligned}$$

$$-\frac{k_{T2}}{\Delta_3} sh(0,5X_M) \Big] H_M(x_2) =$$

$$\frac{1}{0,5X_M} Z_{\mu n2} \int_0^{0,5X_M} Q_\mu(x_2) dx_2 = f_{M2} \left[1 - \right.$$

$$\left. -\frac{k_{T2}}{\Delta_3} sh(0,5X_M) \right]$$
 expression (6) it is possible to construct the static characteristics family of the developed ISHC, which work in the mode of a magnetomodulating DC sensor at various values of H'_{mm} . Figure 2 shows a family of these static characteristics constructed for one section of the C-shaped magnetic cores [7, p.206; 144].

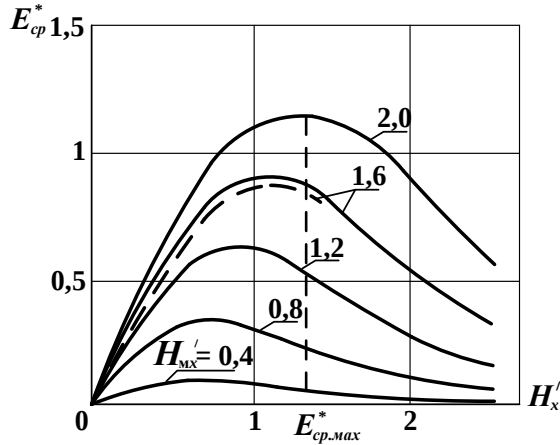


Fig. 2. A family of static characteristics of the developed ISHC at different values of H'_{mm} : solid – theoretical; dotted – experimental

The analysis of the obtained static characteristics of the ISHC indicates that with modulation current I_M increasing, and consequently H'_{mm} , the maximum value of E^* on the static characteristic increases and shifts on the graph towards an increase in the absolute value of H'_x . At the same time, each value of H'_{mm} corresponds to a certain value H'_{xmax} , at which E^*_{cp} has the maximum value. The discrepancy between theoretical and experimental results is 8-13%.

2. Sensitivity of ISHC

One of the main characteristics of ISHC is its sensitivity. The average and current sensitivity differ. If divide the expression of the static characteristic (6) to H'_x , we get the equation of average sensitivity [8, p.157], i.e.:

$$S_{cp} = \frac{E^*}{H'_x} = \frac{1}{H'_x} \left[\frac{2Arctg H'_x - Arctg(H'_x - H'_{mm}) - Arctg(H'_x + H'_{mm})}{Arctg(H'_x + H'_{mm})} \right] \quad (10)$$

If we take the derivative of the output EMF E^* and ISHC by the input value H'_x , then we will have the equation of the current sensitivity [9, p.146], i.e.:

$$S_\tau = \frac{dE^*}{dH'_x} = \frac{2}{1 + H'^2_x} - \frac{1}{1 + (H'_x - H'_{mm})^2} - \frac{1}{1 + (H'_x + H'_{mm})^2} \quad (11)$$

Figures 3 and 4 show the curves of the average and current sensitivity of the analyzed ISHC at different H'_{mm} values, based on the obtained expressions (10) and (11).

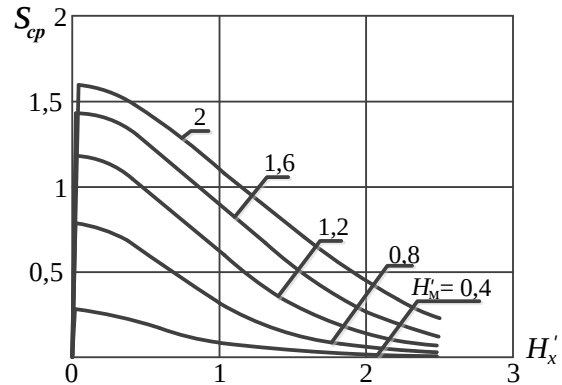


Fig. 3 Curves of the average sensitivity of the ISHC at different values of H'_{mm}

Analysis of these curves shows that at certain values of H'_{mm} , and fixed values of H'_x , the average and current sensitivity have maxima.

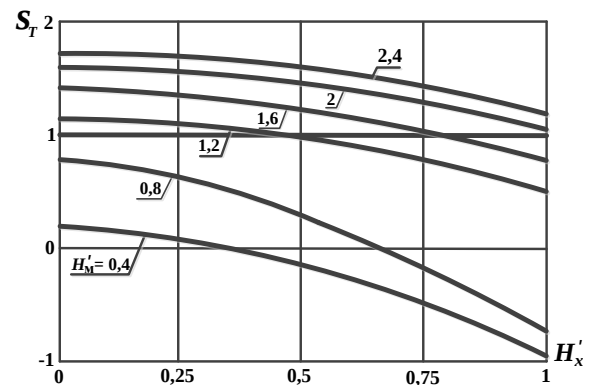


Fig. 3 Curves of the current sensitivity of the ISHC at different values of H'_{mm}

3. The degree of nonlinearity of the ISHC static characteristic

According to [10, p.27], the degree of nonlinearity of the considered section of the static characteristic of the measuring transducer is un-

derstood as the ratio of the maximum deviation of the ordinate of the characteristics from the line approximating it in this section to the entire range of the ordinate change in the same section (Fig. 5). The magnitude of the degree of nonlinearity will depend on the method of approximation of the considered section of the static characteristic.

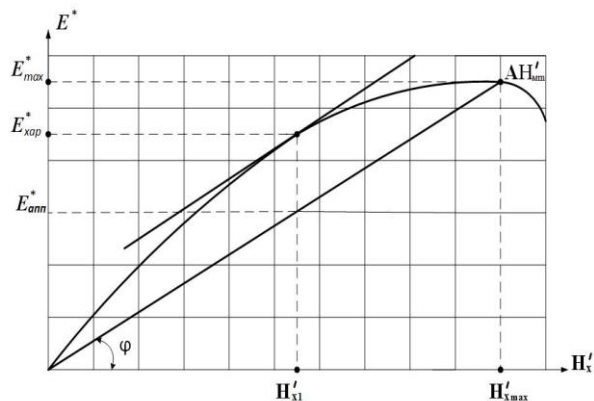


Fig. 5. To determine the degree of nonlinearity of the static characteristics of the developed ISHC

Three analytical methods for determining the degree of the static characteristic nonlinearity have become the most widespread [10, pp.27-28]. In this article, we use the method that is the most accurate for functions which are symmetric with respect to the origin of the coordinate, which are the static characteristics of the studied ISHC. According to this method, the degree of nonlinearity is determined from the following expression (Fig. 3)

$$\varepsilon, \% = \frac{E_{xap}^*(H'_{x1} \dots) - k * H'_{x1}}{2E_{max}^*(H'_{max})} 100 \quad (12)$$

where $E_{xap}^*(H'_{x1})$ – the value of the output EMF at the point of the static characteristic, where the deviation along the ordinates of the static characteristic and the line approximating it has the maximum value; $E_{max}^*(H'_{x1})$ – the maximum value of the output EMF ISHC corresponding to the maximum value of H'_{xmax} ; $E_{ann}^*(H'_{x1}) = kH'_{x1}$ – is the equation of the approximating direct static characteristic of the ISHC;

$$k = \frac{E_{ann}^*(H'_{x1})}{H'_{x1}} = \frac{E_{xap}^*(H'_{xmax})}{H'_{xmax}} \quad \text{-coefficient,}$$

which characterize inclination angle of approximating line.

Values $E_{max}^*(H'_{max})$ and $E_{ann}^*(H'_{x1})$ are respectively equal:

$$E_{max}^*(H'_{x1}) = 2Arctg(H'_{xmax}) - Arctg(H'_{xmax} - H'_{mm}) - Arctg(H'_{xmax} + H'_{mm}),$$

$$E_{ann}^*(H'_{x1}) = H'_{x1} \frac{E_{xap}^*(H'_{xmax})}{H'_{xmax}} = \frac{H'_{x1}}{H'_{xmax}} [2ArctgH'_{xmax} - Arctg(H'_{xmax} - H'_{mm}) - Arctg(H'_{xmax} + H'_{mm})], \quad (14)$$

$$E_{xap}^*(H'_{x1}) = 2ArctgH'_{x1} - Arctg(H'_{x1} - H'_{mm}) - Arctg(H'_{x1} + H'_{mm}). \quad (15)$$

Substituting (13)–(15) into (12), we obtain the following expression of the degree of nonlinearity of the static characteristic of the ISHC [11]:

$$\varepsilon, \% = \left\{ \frac{2ArctgH'_{x1} - Arctg(H'_{x1} - H'_{mm}) - Arctg(H'_{x1} + H'_{mm})}{[2ArctgH'_{xmax} - Arctg(H'_{xmax} - H'_{mm}) - Arctg(H'_{xmax} + H'_{mm})]} - \frac{H'_{x1}}{2H'_{xmax}} \right\} \cdot 100. \quad (16)$$

The coordinate H'_{x1} , at which the deviation along the ordinate of the static characteristic from the line approximating it has the maximum value, can be determined graphically by drawing a tangent curve of the static characteristic parallel to the approximating line OA. After substituting the values H'_{x1} , H'_{xmax} , and H'_{mm} , into equation (16), the value $\varepsilon, \%$ can be obtained. For example, for a static characteristic with $H'_{x1} = 0,7$, $H'_{xmax} = 1,3$ and $H'_{mm} = 1,6$, the degree of nonlinearity will be equal to $\varepsilon, \% = 2.45\%$, which is acceptable for the studied induction sensors of high currents.

By researching the static characteristics of the developed induction sensors of high currents, it is shown that with an increase in the amplitude of the intensity of the magnetic field of modulation (H_{mm}) the maximum value of the output EMF (E^*) on the static characteristic increases and shifts on the graph towards an increase in the absolute value of the magnetic field strength (H_x) of the converted current, and each value of H_{mm} corresponds to a certain

value of H_{xmax} , at which E^* has the maximum value.

References

1. Amirov S.F., Safarov A.M., Rustamov D.S. Electromagnetic current sensor for control systems of traction power supply devices// Chemical technology. Control and management. – Tashkent, 2014 – No. 2. – pp. 26-31.
2. Patent of the Republic of Uzbekistan No. 04217. Device for current conversion / Amirov S.F., Safarov A.M., Turdybekov K.H., Rustamov D.Sh., Khushbakov B.H. // Official Bulletin, 2010. - No.8.
3. Atamalyan E.G. Devices and methods for measuring electrical quantities: Study guide. – Moscow: Bustard, 2005. – 415 p.
4. Amirov S.F., Ataullaev N.O., Rustamov D.S. Static characteristics of magnetomodulation current sensors// Chemical technology. Control and management.– Tashkent, 2011 – No. 5. – pp. 36-41.
5. Safarov A.M., Rustamov D.Sh. Analysis of static characteristics of electromagnetic DC converters by parametric block diagram method //Resource-saving technologies in railway transport: Proceedings of the Rep. scientific and technical conferences with the participation of foreign scientists. – Tashkent, 2007. – pp. 40-42.
6. Safarov A.M., Rustamov D.S. On the calculation of the static characteristics of an electromagnetic DC converter // Resource-saving technologies in railway transport: Proceedings of the Rep. scientific and technical conferences with the participation of foreign scientists. – Tashkent, 2010 – pp. 149-151.
7. Safarov A.M., Amirov S.F., Khushbokov B.H. Current converters for secondary electric power systems // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Current state and prospects of energy development". – Tashkent, Tashstu, 2006. – pp. 206-208.
8. Safarov A.M., Rustamov D.S. Tasks of increasing the sensitivity of an electromagnetic current converter // In the scientific seminar of young scientists "Problems of innovative technologies in railway transport". – Tashkent, 2011 – pp. 156-157.
9. Safarov A.M., Rustamov D.S. Some features of constant current converters for traction motor control systems// Resource-saving technologies in railway transport: Proceedings of the Rep. scientific and technical conferences with the participation of foreign scientists. – Tashkent, 2011. – pp. 145-147.
10. Zaripov M.F. Converters with distributed parameters for automation and information and measuring equipment. – Moscow: Energiya, 1969.– 176 p.
11. Rustamov D.S. Ways to improve the technical characteristics of electromagnetic current converters // Resource-saving technologies in railway transport: Proceedings of the Rep. scientific and technical conferences with the participation of foreign scientists. –Tashkent, 2009, pp. 100-102

Настоящая работа рассмотрена в Первой Международной научно-технической конференции «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ: проблемы, решения, перспективы» (20–23 апреля 2022 г., Ташкент, Узбекистан).

УДК (UDC) 629.463

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

FREIGHT CARS ENERGY EFFICIENCY DETERMINATION

Бороненко Ю.П.¹, Поляков Б.О.², Крон И.Р.¹, Рахимов Р.В.³, Рузметов Я.О.³.
Boronenko Yu.P.¹, Polyakov B.O.², Kron I.R.¹, Rahimov R.V.³, Ruzmetov Ya.O.³.

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

²АО «НВЦ «Вагоны» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

³Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (St. Petersburg, Russian Federation)

²JSC “SIC “Vagony” (St. Petersburg, Russian Federation)

³Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Аннотация. Показывается необходимость определения энергоэффективности грузовых вагонов. Для определения аэродинамической составляющей основного сопротивления движению применяются расчёты на основе цифровых моделей. Для определения механической составляющей основного сопротивления движению применяется метод, основанный на измерениях уменьшения скорости вагона при выбеге после расцепления с локомотивом. Предлагается ввести паспорта энергоэффективности вагонов на основе формул зависимости удельного сопротивления движению от скорости движения для каждой модели вагона.

Ключевые слова Энергоэффективность, основное сопротивление движению, сбрасывание, ходовые испытания, аэродинамика, Flow Simulation, Fluent, цифровая модель.

Дата принятия к публикации:

Дата публикации:

16.05.2022

15.06.2000

Сведения об авторах:

Бороненко Ю.П. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, e-mail: boron49@yandex.ru

Поляков Б.О. – инженер-испытатель, АО «НВЦ «Вагоны», e-mail: boris.nvc@yandex.ru

Крон И.Р. – аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, e-mail: mechenu@yandex.ru

Рахимов Р.В. – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство», Ташкентский государственный транспортный университет, e-mail: rakhimovrv@yandex.ru

Рузметов Я.О. – к.т.н., доцент, декан факультета электротехники и вычислительной техники, Ташкентский государственный транспортный университет, e-mail: yadgor.ruzmetov@yandex.ru

Abstract. The necessity of freight cars energy efficiency determination is shown. In order to determine the aerodynamic component of the main train resistance to motion calculations based on digital models are applied. In order to determine the mechanical component of the main train resistance to motion the method based on measuring the freight car speed decreasing during coasting after uncoupling from the locomotive is applied. Introducing of the energy efficiency passports based on the specific train resistance to motion to the speed of motion function for every railway car type is proposed.

Keywords: energy efficiency, main resistance to motion, dropping, dynamic tests, Aerodynamics, Flow Simulation, Fluent, digital model

Date of acceptance for publication:

16.05.2022

Date of publication:

15.06.2022

Authors' information:

Boronenko Yu.P. – doctor of technical sciences, professor, head of the department “Wagons and wagon facilities”, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, e-mail: boron49@yandex.ru

Polyakov B.O. – testing-engineer, JSC “SIC “Vagony”, e-mail: boris.nvc@yandex.ru

Kron I.R. – postgraduate student of the department “Wagons and wagon facilities”, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, e-mail: mechenu@yandex.ru

Rahimov R.V. – doctor of technical sciences, docent, head of the department “Wagons and wagon facilities”, Tashkent State Transport University, e-mail: rakhimovrv@yandex.ru

Ruzmetov Ya.O. – candidate of technical sciences, docent, dean of the faculty of electrical and computer engineering, Tashkent State Transport University, e-mail: yadgor.ruzmetov@yandex.ru

Введение

Вопросы снижения затрат на энергоресурсы и уменьшение выбросов парниковых газов на транспорте приобретают особую актуальность в связи с начавшимся глобальным переходом к низкоуглеродному развитию. Устанавливаются нормативы на выбросы парниковых газов для тепловозов, создаются тягово-энергетические паспорта для локомотивов, ведутся работы по повышению энергоэффективности тяговых средств железнодорожного транспорта.

Технический регламент о безопасности железнодорожного подвижного состава ТР ТС-001 [1] предусматривает проверку подвижного состава на соответствие требованиям энергетической эффективности (статья 4, пункт 5ш). Для вагонов такая проверка не проводится, считается, что требования энергетической эффективности выполняются при соблюдении общих технических условий, изложенных в поддерживающих стандартах. Однако в этих стандартах на грузовые вагоны нет даже упоминаний об энергетической эффективности или их сопротивлении движению.

В то же время, именно на передвижение вагонов тратится основное количество топлива и электроэнергии. С точки зрения механики, расход энергии на тягу поездов, в первую очередь, зависит от их сопротивления движению. Это сопротивление является суммой сопротивлений вагонов, находящихся в составе поезда. В свою очередь, сопротивление движению каждого конкретного вагона зависит от его конструкции и технического состояния и степени загрузки. В настоящее время, при расчетах сопротивления движению учитывается только масса вагона или нагрузка от оси на рельсы.

На железнодорожном транспорте колеи 1520 мм принята следующая классификация сопротивления движению поезда: сопротивление при трогании с места, основное сопротивление, дополнительное сопротивление [2].

В расход топливно-энергетических ресурсов максимальный вклад вносит основное сопротивление движению. П.Н. Астаховым в

работе [3] были выделены шесть компонент основного сопротивления движению:

- от трения в буксовых подшипниках;
- от трения качения колес по рельсам;
- от трения скольжения колеса по рельсу;
- от рассеивания энергии в пути;
- от воздушной среды;
- от рассеивания энергии в окружающую среду.

Формула основного удельного сопротивления движению в «Правилах тяговых расчетов для поездной работы» (ПТР) [2] представляется в виде трехчленной квадратичной параболы зависимости от скорости движения v и нагрузки на ось q_0

$$W = \frac{a + bv + cv^2}{q_0} \quad (1)$$

Эмпирические коэффициенты a , b и c определялись укрупненно только для трех типов вагонов: полувагонов, цистерн и рефрижераторов на базе экспериментальных исследований, проведенных ВНИИЖТ в середине прошлого века [3].

На железных дорогах колеи 1435 мм принято разделять основное сопротивление движению поезда на 3 категории [4]:

- механическое сопротивление, которое характеризуется диссипацией энергии в составе, пути и в области контакта колесо-рельс;
- аэродинамическое сопротивление;
- инерционное сопротивление.

Общий вид формулы сопротивления движению имеет аналогичный вид [5–9]

$$R = A + BV + CV^2, \quad (2)$$

где R – полная сила сопротивления; A – механическое сопротивление, зависящее от массы вагона и количества осей; B – коэффициент, преимущественно зависящий от взаимодействия в зоне колесо-рельс; C – коэффициент, зависящий от аэродинамического сопротивления; V – скорость движения, км/ч.

Параметры A , B и C могут быть выражены следующими функциями [8]:

$$A = \lambda \cdot M \cdot \sqrt{\frac{10}{m}}; \quad (3)$$

$$B = 0,01 M; \quad (4)$$

$$C = k_1 \cdot S + k_2 \cdot p \cdot l, \quad (5)$$

где M – полная масса поезда, т; m – масса на ось, т; λ – параметр, зависящий от типа подвижного состава; k_1 – коэффициент, зависящий от формы передней или хвостовой части поезда; S – фронтальная площадь поперечного сечения, м²; k_2 – параметр, зависящий от поверхности pl ; p , l – геометрические параметры, м.

На американских железных дорогах для оценки сопротивления движению используется модифицированная формула Дэвиса [9]

$$R = K_a \left[\frac{2,943 + \frac{89,2}{m_a} + 1,741k_{ad}V^2}{+0.0306V + \frac{m_a n}{m_a n}} \right], \text{Н/т} \quad (6)$$

где K_a – коэффициент, зависящий от типа подвижного состава; m – нагрузка на ось, т; k_{ad} – коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от типа вагона; n – число осей в поезде; V – скорость поезда, км/ч.

Во Франции формулы сопротивления движению для стандартного вагона и грузового экспресса соответственно имеют следующий вид двухчленной параболы:

$$R = 9,81 \left(1,25 + \frac{V^2}{6300} \right), \text{Н/т}; \quad (7)$$

$$R = 9,81(1,5 + V^2/(2000 \dots 2400)), \text{Н/т} \quad (8)$$

На железных дорогах Германии для определения удельного сопротивления движению грузовых поездов применяют формулу Штраля [9], имеющую вид

$$R = \left[25 + k \cdot \left(\frac{V + \Delta V}{10} \right)^2 \right], \text{Н/т} \quad (9)$$

где k – коэффициент, принимаемый 0,05 для смешанных грузовых поездов и 0,025 – для блочных; V – скорость поезда, км/ч; ΔV – скорость ветра (обычно принимается 15 км/ч).

Для определения аэродинамической компоненты основного сопротивления движению поезда в Европейском союзе существует стандарт [10], согласно которого поезд представляется в виде однородного длинного тела, а аэродинамическое давление считается по формуле:

$$F = C \cdot v^2, \quad (10)$$

где C – коэффициент, определяющий аэродинамическую составляющую полного со-

противления подвижного состава; v – скорость движения.

Коэффициент C определяется следующим образом:

$$C = \frac{1}{2} \rho S (C_{dp} + \frac{\lambda}{d} l), \quad (11)$$

где ρ – плотность воздуха; S – площадь поперечного сечения вагона; принятое значение для расчёта 11 м²; C_{dp} – коэффициент сопротивления давлению; для параллелепипеда на колёсах со скошенным углом значение равняется 0,801; d – гидравлический диаметр поезда; λ – коэффициент трения; принятое для расчётов значение 0,032; l – длина состава.

Подводя итог краткому сравнению методов определения основного сопротивления движению, можно констатировать, что все расчетные формулы учитывают нагрузку на ось, количество осей в поезде и скорость движения. Некоторые формулы учитывают особенности подвижного состава введением коэффициентов аэродинамического сопротивления, зависящих от типа вагона. При таком подходе получается, что повысить энергоэффективность вагона можно только увеличением нагрузки на ось и уменьшением тары вагона.

С другой стороны, в работах [11–14] показано влияние рассеивания энергии в рессорном подвешивании на сопротивление движению грузовых вагонов. В работе [15] так же показано влияние расположения осей колесных пар на сопротивление движению. Результаты проведенных испытаний АО «ВНИИЖТ» [16] показали, что основное удельное сопротивление полувагонов на тележках 18-9863 с осевой нагрузкой 27 тс на 16–23% ниже, чем у полувагонов на тележках 18-100 с осевой нагрузкой 23,5 тс. Учитывая, что расход энергии на транспортировку прямо пропорционален удельному сопротивлению, можно сделать вывод, что энергозатраты на перемещение вагонов с новыми тележками сокращается так же на 16–23%. Для сравнения можно привести пример, что для уменьшения удельного расхода электроэнергии электровозами на 5–10% потребовался переход на асинхронный тяговый привод, применение интеллек-

туальных систем управления и рекуперативного торможения во всем диапазоне скоростей.

Таким образом, совершенствование конструкций вагонов может внести в энергосбережение не меньший вклад, чем совершенствование тяговых средств железнодорожного транспорта.

Для развития этого направления в энергосбережении необходимо, чтобы железные дороги учитывали технические особенности вагонов при проведении тяговых расчетов и назначении тарифов. Для этого необходимо в перечень технико-экономических характеристик вагонов ввести показатель их энергоэффективности – формулу для определения их основного удельного сопротивления движению.

Попытки построения таких формул предпринимались неоднократно аналитически и с помощью математических моделей [17, 18]. Однако к успеху они не привели. Точность расчетов, особенно механической части сопротивления движению, оказывалась недостаточной из-за большого разброса исходных данных. Поэтому в настоящее время, формулы определения основного удельного сопротивления движению являются эмпирическими и определяются в экспериментах.

2. Существующий метод определения основного удельного сопротивления движению

В настоящее время на железных дорогах России основное сопротивление движению определяется с помощью динамометрического метода, в соответствии с Методикой [19]. Данный метод ходовых испытаний предполагает равномерное движение поезда, состоящего из локомотива, вагона-лаборатории и состава из не менее 65 исследуемых вагонов. Движение осуществляется при различных интервалах скоростей, а также при порожних и полностью загруженных вагонах. В ходе испытаний определяется продольное усилие, возникающее в зоне сцепления вагона-лаборатории и состава из исследуемых вагонов, измеряемое тензомет-

рической автосцепкой. При испытаниях проводятся не менее двух опытных поездок.

Считают, что основное удельное сопротивление движению w_0'' в пределах каждого интервала скорости является величиной постоянной и может быть рассчитано по выражению:

$$w_0'' = f_{д\text{ ср}} - w_i - w_r - a(1 + \gamma), \quad (12)$$

где $f_{д\text{ ср}} = F_{д\text{ ср}}/Q$ – средняя на выбранном отрезке пути величина удельной динамометрической силы тяги, приходящейся на состав массы Q , Н/т; w_i – сопротивление движению от уклона, Н/т, определяемое по формуле $w_i = i \cdot g$, где i – уклон, ‰, g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²). Численное значение w_i входит в это уравнение со знаком «минус» на подъемах и со знаком «плюс» на спусках; w_r – сопротивление движению от кривых, Н/т, определяемое по формуле $w_r = 6870 / R$, где R – радиус кривой, м; γ – коэффициент, равный отношению масс вращающихся частей вагона ко всей массе вагона; a – ускорение поезда, м/с².

Затем, полученное по интервалам скоростей основное удельное сопротивление движению оцениваемых вагонов представляют в виде полинома:

$$w_0''^{\text{оц}} = a^{\text{оц}} + b^{\text{оц}}V + c^{\text{оц}}V^2, \quad (13)$$

где $a^{\text{оц}}$, $b^{\text{оц}}$, $c^{\text{оц}}$ – соответственно коэффициенты аппроксимирующей зависимости усредненных по интервалам скоростей значений основного удельного сопротивления движению для оцениваемых вагонов; V – скорость движения поезда, км/ч.

Данная зависимость, в дальнейшем, используется при тяговых расчетах и оценки экономической эффективности данной модели вагона для владельца инфраструктуры.

Недостатком этого способа является высокая стоимость проведения испытаний из-за необходимости исключить из коммерческой эксплуатации 65 вагонов, арендовать груз для загрузки вагонов, провести поездки, загрузку и выгрузку вагонов. Поэтому в последнее десятилетие основное сопротивление движению было определено только для нескольких моделей вагонов, в то время как в эксплуатацию поступило свыше 100 новых моделей. Сравнение результатов испытаний

этих вагонов с расчетом по эмпирическим формулам показывают низкую точность формул Правил тяговых расчетов при их применении к вагонам, построенным в XXI веке. На скорости 60 км/ч формулы Правил тяговых расчетов завышают сопротивление движению для вагонов на современных тележках с осевой нагрузкой 23,5 тс на 30–40%, а на тележках с осевой нагрузкой 25 тс – более чем на 60% (рис. 1, 2). Поэтому, на наш взгляд, следует отказаться от формул, определяющих основное сопротивление вагонов в среднем, и перейти к определению сопротивления движению каждой модели вагона с созданием паспорта его энергоэффективности. Для создания энергосберегающих паспортов на каждую модель вагона, вводимого в эксплуатацию, необходимо снизить стоимость определения основного сопротивления движению.

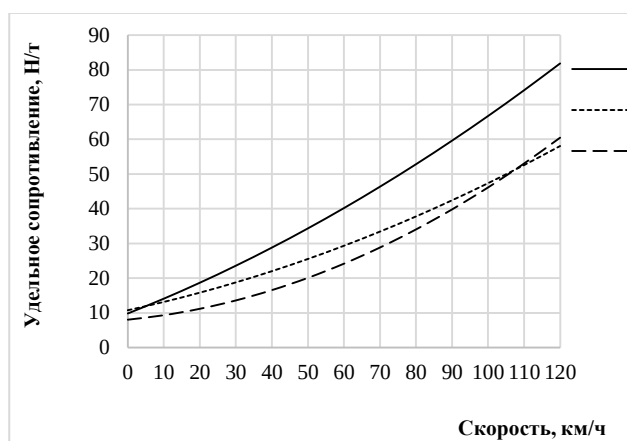


Рис. 1. Зависимости основного удельного сопротивления движению порожних вагонов

На рисунке: 1 – расчёты согласно ПТР для полувагона модели 12-132 (тара 24 т) и для полувагона модели 12-9548-01 (тара 24 т); 2 – данные эксперимента для полувагона модели 12-132 (тара 24 т); 3 – данные эксперимента для полувагона модели 12-9548-01 (тара 24 т).

На рисунке 2: 1 – расчёты согласно ПТР для полувагона модели 12-132 (23,5 т/ось);

2 – расчёты согласно ПТР для полувагона модели 12-9548-01 (25 т/ось);

3 – данные эксперимента для полувагона модели 12-132 (23,5 т/ось);

4 – данные эксперимента для полувагона модели 12-9548-01 (25 т/ось)

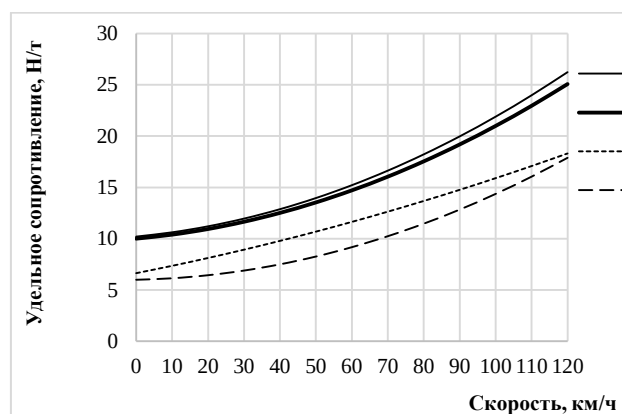


Рис. 2. Зависимости основного удельного сопротивления движению гружёных вагонов

3. Определение сопротивления методом сбрасывания

В данной работе предлагается новый расчётно-экспериментальный метод, в котором механическая часть сопротивления движению, связанная с движением вагонов по рельсовому пути, определяется экспериментально, а воздушное сопротивление определяется расчётами на цифровых моделях вагонов.

Идея предлагаемого метода определения основного сопротивления вагона базируется на модернизации известного метода скатывания. Это позволяет существенно снизить затраты на определение основного сопротивления вагонов.

Метод скатывания заключается в том, что испытываемый подвижной состав сначала скатывают по заранее выбранному прямому участку пути под действием кинетической энергии, накопленной при разгоне. Опыты повторяются несколько раз, сообщая испытываемой единице подвижного состава различные начальные скорости, чтобы охватить весь скоростной диапазон.

Достоинством данного метода является существенно низкая стоимость проведения испытаний: испытывается одна единица подвижного состава, а не весь поезд. Недостаток – отсутствие возможности распространения результата на величины сопротивления вагонов в составе поезда из-за наличия дополнительного лобового и хвостового сопротивления. Поэтому он обычно применялся

для определения основного сопротивления движению самоходного подвижного состава.

Уравнение движения при испытаниях методом сбрасывания одиночного четырёхосного вагона по прямому участку пути под влиянием кинетической энергии, накопленной при разгоне с учетом уклона пути, имеет вид:

$$\left(m + \frac{4J}{r^2}\right) \frac{dV}{dt} = -mg \frac{dz}{dx} + W_{k_0} \quad (14)$$

где m – масса вагона брутто, кг; $4J$ – момент инерции колёсных пар вагона, кг·м²; r – радиус колеса, м; W_{k_0} – основное сопротивление одиночного вагона, Н; V – скорость движения вагона, м/с; $\frac{dz}{dx}$ – уклон пути; g – ускорение свободного падения.

Тогда изменение скорости равно:

$$\frac{dV}{dt} = - \left(\frac{mg}{m + \frac{4J}{r^2}} \right) \frac{dz}{dx} + \frac{1}{m + \frac{4J}{r^2}} W_{k_0} \quad (15)$$

Обозначив через $W_{k_0} = \frac{W_{k_0}}{m}$ – коэффициент инертности вращающихся масс, уравнение приводится к традиционному виду

$$\frac{dV}{dt} = - \frac{g}{1 + \gamma} \frac{dz}{dx} + \frac{1}{m(1 + \gamma)} W_{k_0} \quad (16)$$

Обозначив $W_{k_0} = \frac{W_{k_0}}{m}$ – удельное сопротивление, получаем выражение для определения удельного сопротивления движению одиночного вагона при скатывании

$$w_{k_0} = \frac{W_{k_0}}{m} = \left(\frac{dV}{dt} + \frac{g}{1 + \gamma} \frac{dz}{dx} \right) (1 + \gamma) \quad (17)$$

или

$$w_{k_0} = g \frac{dz}{dx} + (1 + \gamma) \frac{dV}{dt} \quad (18)$$

Величина $i = \frac{dz}{dx}$ представляет уклон участка и является известной величиной и определяется заранее нивелировкой пути. При спуске величина i положительна, а при подъеме – отрицательна. Таким образом, зная скорость движения вагона при скатывании и уклоны пути, можно определить основное удельное сопротивление, проводя дифференцирование скорости движения вагона V и учитывая уклон пути. Эти измерения предлагается проводить, используя навигационный приемник GPS-Глонасс, который позволяет вести непрерывную реги-

страцию скорости движения и положения с высокой точностью.

Для проведения тяговых расчётов необходимо знать не основное сопротивление одиночного вагона, а его основное сопротивление в составе поезда. Полное сопротивление представляет собой сумму механического и аэродинамического сопротивления.

$$w_{k_0} = w_{\text{мех}_0} + w_{\text{аэр}_0} \quad (19)$$

Отдельное определение компонент механического сопротивления представляет собой сложную задачу. В то же время для определения аэродинамического сопротивления существуют апробированные методики расчётного определения на цифровых моделях [14, 15]. Пример результатов по расчётной модели указан на рисунке 3.

Проведя расчет аэродинамического сопротивления на цифровых моделях одиночного вагона, можно определить механическое сопротивление одиночного вагона

$$w_{\text{мех}_0} = w_{k_0} - w_{\text{аэр}_0} \quad (20)$$

Далее, учитывая, что механическое сопротивление одиночного вагона равно механическому сопротивлению вагона в составе, проводя вычисления аэродинамического сопротивления этого же вагона $w_{\text{аэр}_0}$ в составе поезда, можно получить полное сопротивление вагона в составе поезда

$$w_k = w_{k_0} - w_{\text{аэр}_0} + w_{\text{аэр}_n} \quad (21)$$

Таким образом, расчётно-экспериментальный метод определения основного удельного сопротивления вагона проводится по следующему алгоритму:

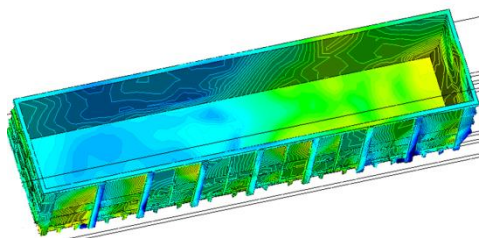
1) вычисляется аэродинамическое сопротивление одиночного вагона на цифровой модели $w_{\text{аэр}_n}$ в диапазоне скоростей 10 – 120 км/ч в виде полинома

$$w_{\text{аэр}_0} = B_0 V + C_0 V^2; \quad (22)$$

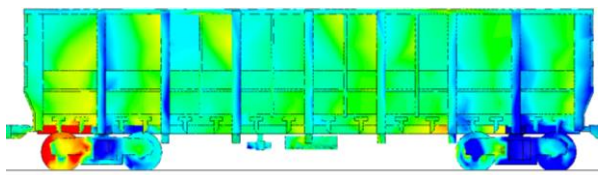
2) вычисляется аэродинамическое сопротивление этого же вагона в составе поезда $w_{\text{аэр}_n}$ в диапазоне скоростей 10 – 120 км/ч в виде полинома

$$w_{\text{аэр}_n} = B_n V + C_n V^2; \quad (23)$$

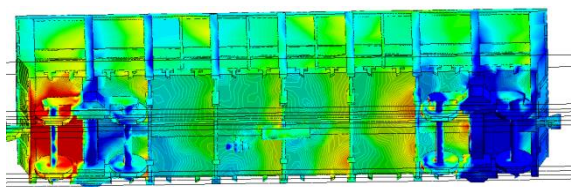
а)



б)



в)



Направление движения



80 67 54 41 28 15 3 -10 -23 -36 -49



Давление, Па

Рис. 3. Результаты расчётов давлений на элементы полувагона на цифровых моделях:

3) проводится экспериментальное определение основного сопротивления одиночного вагона методом скатывания и обработкой результатов измерения скорости и пройденного пути в диапазоне скоростей 10–120 км/ч с шагом 10 км/ч.

$$w_{k_0} = g \frac{dz}{dx} + (1 + \gamma) \frac{dV}{dt} \quad (24)$$

Зависимость представляется в виде полинома

$$w_{k_0} = A_{k_0} + B_{k_0} V + C_{k_0} V^2 \quad (25)$$

Коэффициенты A_{k_0} , B_{k_0} , C_{k_0} – определяются методом наименьших квадратов.

4) определяется механическое сопротивление одиночного вагона в диапазоне скоростей 10 – 120 км/ч;

$$w_{\text{мех}_0} = w_{k_0} - w_{\text{аэр}_0}; \quad (26)$$

5) определяется основное сопротивление вагона в составе поезда в диапазоне скоростей 10 – 120 км/ч;

$$w_k = w_{\text{мех}_0} + w_{\text{аэр}_n}; \quad (27)$$

6) зависимость представляется в виде полинома

$$w_k = A_{k_0} + (B_{k_0} - B_0 + B_{\text{п}}) V + (C_{k_0} - C_0 + C_{\text{п}}) V^2 \quad (28)$$

Для проведения эксперимента (рисунок 4) используется испытываемый вагон, вагон-лаборатория, локомотив. На испытываемом вагоне размещается навигационный приёмник и устройство дистанционного включения тормоза. Подвижной состав во время эксперимента находится на прямолинейном участке пути [20].

Предложенный метод позволяет почти на порядок сократить стоимость определения основного сопротивления движению. Расходы можно еще сократить, если данные испытания проводить одновременно с тормозными бросковыми испытаниями вагонов. В этом случае необходимо предусмотреть задержку срабатывания тормоза на время снижения скорости вагона на 10 км/ч.

Выводы

Проведен анализ существующих методов определения основного сопротивления движению вагонов. Показано:

- в большинстве случаев сопротивление движению вагонов определяется экспериментально динамометрическим способом;
- зависимость сопротивления движению аппроксимируется квадратичной параболой, зависящей от скорости движения и осевой нагрузки;
- данные по сопротивлению движению экспериментально получены только для некоторых моделей вагонов, но их результаты распространяются на остальные вагоны без учета особенностей конструкции ходовых частей и кузова;
- разность в сопротивлении движению вагонов одного типа в зависимости от конструкции ходовых частей и кузова может достигать 60%;

– повышение энергоэффективности вагонов за счет уменьшения сопротивления движению может внести не меньший вклад в сокращение затрат железных дорог на тягу поездов, чем повышение энергоэффективности локомотивов.

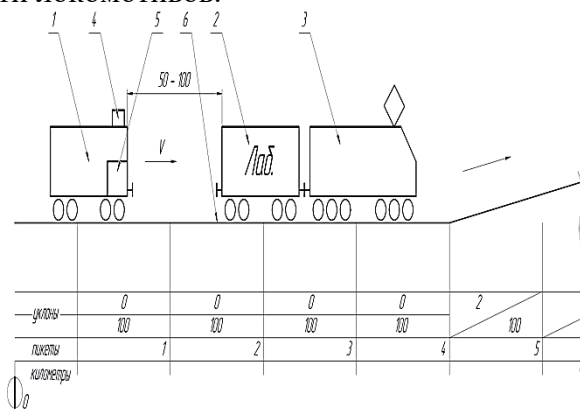


Рис. 4. Схема проведения эксперимента

На рисунке 4: 1 – испытываемый вагон; 2 – вагон-лаборатория; 3 – локомотив; 4 – навигационный приёмник; 5 – устройство включения тормоза; 6 – прямолинейный участок пути

Предложен расчетно-экспериментальный способ определения основного сопротивления движению, позволяющий существенно снизить стоимость испытаний, включающий определение механической компоненты сопротивления движению экспериментально методом скатывания, аэродинамической компоненты – расчетом на цифровых моделях.

Рекомендовано, учитывая мировую тенденцию экономии расхода энергоресурсов, ввести в технико-экономические параметры каждой модели вагона характеристику его энергоэффективности – формулу зависимости основного удельного сопротивления от скорости в груженом и порожнем состоянии. Данную зависимость предлагается определять при постановке на производство и сертификации при одновременном проведении тормозных испытаний вагонов.

Список литературы

1. Технический регламент ТС «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (ТР ТС 001/2011).

2. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Электронный ресурс]: утв. расп. ОАО «РЖД» № 867р от 12.05.2016. URL.: <ftp://09272071.com/docs/ПТП-2016.pdf>

3. Астахов П.Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава Труды ВНИИЖТ. вып. 311. – М.: Транспорт, 1966. – 176 с.

4. Lukaszewicz P. Energy Consumption and running time for trains Modelling of running resistance and driver behaviour based on full scale testing: doctoral thesis / Piotr Lukaszewicz. – Stockholm, 2001. – 163 p.

5. W.J. Davis Jr., "Tractive resistance of electric locomotives and cars," General Electric Review, vol. 29, pp. 685-708, 1926.

6. Harding W. On the resistances to railway trains at different velocities, Exerpt Minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, 1846.

7. Schmidt E.C., 1910. Freight Train Resistance. Its Relation to Car Weight. Vol. 43 of Engineering Experiment Station Illinois University, Urbana, Illinois.

8. Profillidis, V. A. Railway Management and Engineering: Fourth edition / Vassilios A. Profillidis – 2016. – 384 p

9. Iwnicki S., Spiryagin M., Cole C., Mcsweeney T. Handbook of railway vehicle dynamics // Taylor & Francis Group. – 2020. – 893 p.

10. CEN EN 14067-1 Railway applications - Aerodynamics - Part 1: Symbols and units. – European committee for standardization. – 2003.

11. Грачева Л.О., Худяков А.А. Влияние рассеивания энергии в рессорном подвешивании тележек на сопротивление движению грузовых вагонов // Вестник ВНИИЖТ. – №3. – 1979. – С.37-39.

12. Комарова А.Н., Бороненко Ю.П. Сравнительная оценка сопротивления движению грузовых вагонов на тележках различных типов // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 3 (52). – С. 69-72.

13. Комарова А.Н., Бороненко Ю.П. Влияние типов и параметров гасителей колебаний вагона на сопротивление движению // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2014. № 2 (39). – С. 35-41.

14. Boronenko Y.P., Komarova A.N., Romen Y.S. Energy efficiency of freight wagons and influence of their oscillations on rolling resistance. // В сборнике: The Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks - Proceedings of the 24th Symposium of the International Association for Vehicle System Dynamics, IAVSD 2015 24th. 2016. ISBN: 978-2-7461-2401-1. – С. 1491-1498.
15. Захаров А.Н. Оценка сопротивления движению грузовых вагонов в зависимости от положения осей колесных пар в тележках и состояния пути / А.Н. Захаров, Ю.С. Ромен, В.О. Певзнер // Вестник ВНИИЖТ. – №2. – 1996. – С. 33-36.
16. Соколов А.М., Орлова А.М. Осевая нагрузка 27 тс – новая веха развития вагоностроения / А.М. Соколов, А.М. Орлова // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – №3 (47). – С. 5–7.
17. Mathematical modeling of aerodynamic processes in railway tunnels on high-speed railways / A. Ledyayev, V. Kavkazskiy, Y. Vatulin, et al // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 157. doi: 10.1051/e3sconf/202015706017.
18. Poliakov B., Boronenko I. Determination of Aerodynamic Drag of a Train Consisting of Gondola Cars // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020. pp 491–496. doi: 10.1007/978-3-030-38077-9_58.
19. Методика оценки экономической эффективности эксплуатации грузовых инновационных вагонов на железнодорожной инфраструктуре российских железных дорог. Электронный ресурс regulation.dov.ru, ID 02/08/08-16/00052734. Утверждена Приказом Минтранс РФ №457 от 23.10.2017 г.
20. Крон И.Р. Расчетно-экспериментальный метод определения основного сопротивления движению подвижного состава с применением цифровых моделей / И.Р. Крон, Б.О. Поляков // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 4 (95). – С. 50-53.

Настоящая работа рассмотрена в Первой Международной научно-технической конференции «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ: проблемы, решения, перспективы» (20–23 апреля 2022 г., Ташкент, Узбекистан).

УДК (UDC) 656.21.001

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СКОРОСТИ НА ПЕРВОЙ ТОРМОЗНОЙ ПОЗИЦИИ
СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОПУТНОГО ВЕТРА****MATHEMATICAL CALCULATION OF SPEED AT THE FIRST BRAKE POSITION OF
THE HIDDEN HILL WHEN EXPOSED TO A FAIR WIND**

Джаббаров Ш.Б., Жумабеков Б.Ш.
Jabbarov Sh.B., Jhumabekov B.Sh.

Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)
Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

Аннотация. В статье на основе ранее полученных математических моделей вычислено время движения вагона при выходе из участка первой тормозной позиции горки при воздействии попутного ветра малой величины. По известной величине времени движения вагона выполнен расчёт скорости вагона при его движении с ускорением или замедлением на рассматриваемом участке горки. Построены графические зависимости скорости вагона с ускорением и его пройденного пути при вариации времени движения.

Ключевые слова сортировочная горка, вагон, попутный ветер, время и скорость вагона; движение вагона с ускорением при входе на участок первой горочной тормозной позиции.

Abstract. In article on the basis of the previously obtained mathematical models calculated the movement of the car when exiting the first portion of the brake position slides under the influence of a tailwind the small size. For a known value of time of movement of the carriage the calculation speed of the car when it moves with acceleration or deceleration of the area of the slides. Built graphics-based speed of the car with acceleration and distance traveled with the time variation of the movement.

Keywords: marshaling hump, car, fair wind, time and speed of the car, a car with acceleration at the entrance to the section of the first hump brake position.

Дата принятия к публикации: 05.04.2022
Дата публикации: 20.06.2022

Date of acceptance for publication: 05.04.2022
Date of publication: 20.06.2022

Сведения об авторах:

Джаббаров Ш.Б. – PhD., и.о. доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: shuhratassistant@gmail.com

Жумабеков Б.Ш. – ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: rektorat@tstu.uz

Authors' information:

Jabbarov Sh.B., - PhD., Acting Associate Professor of the Department "Wagons and Carriage Facilities", Tashkent State Transport University, e-mail: shuhratassistant@gmail.com

Jhumabekov B.Sh. – assistant of the Department "Wagons and Carriage Facilities", Tashkent State Transport University, e-mail: rektorat@tstu.uz

1. Актуальность проблемы

Как известно, опираясь на основополагающие положения и принципы теоретической механики [1] разработан новый подход к расчёту и проектированию сортировочных горок при воздействии попутного ветра малой величины [2-4], поскольку ранее известные теоретические выкладки по исследованию динамики скатывания вагона (см., например, [5, 6]) оказались научно не состо-

тельными [7]. На основе [2-4] разработаны новые методики, и конкретные примеры расчётов времени и скорости вагона при движении по профилю сортировочной горки [8-10].

Вместе с тем, до сих пор нет примеров расчёта времени и скорости вагонов при выходе из участка первой тормозной позиции (в дальнейшем – 1ТП) горки (т. е. из участка горки после затормаживания) при воздействии попутного ветра малой величины.

Используя ранее разработанные методики расчёта скорости вагона на участке 1ТП горки [10], выполнить расчёты по определению времени и скорости вагонов при выходе из этого участка при воздействии попутного ветра малой величины.

Формулировка задачи

Требуется привести пример расчёта времени и скорости вагона при выходе из участка 1ТП горки (т. е. после затормаживания) при воздействии попутного ветра по новой методике [10] при вычисленной величине длины рассматриваемого l_{lmo} участка $x_{lmo}(t_m)$. Иначе, следует найти время t_{mno} , в течение которого происходит движение вагона с заданной начальной скоростью v_{lmo} до конца рассматриваемого участка горки, а по величине времени t_{mno} – скорость вагона $v_{lmo}(t_m)$. Такой подход позволит решить задачу безопасного движения вагона до расчётной точки горки.

2. Общий подход к решению задачи определения времени и скорости вагона при выходе из участка 1ТП горки при воздействии попутного ветра

Общий подход к решению задачи при движении вагона у выхода из участка 1ТП горки (после затормаживания) при воздействии попутного ветра аналогичен [10] и не требуют дополнительных пояснений. Вместе с тем, отличием данного подхода является следующее.

1. По величинам принятой длины всего участка 1ТП горки l_{lmo} , длины колёсной базы вагона l_{kb} и вычисленной длины заторможенного участка 1ТП горки l_{zam} , определяют длину участка 1ТП горки после затормаживания l_{lmo} .

2. При движении одиночного вагона (или отцепа) на участке 1ТП горки после затормаживания будем считать, что вагон испытывает воздействие в основном внешних сил в виде силы аэродинамического сопротивления попутного ветра малой величины, как вдоль F_{rex} , так и поперёк $F_{rey} = F_{reb}$ вагона, а также силы трения качения колёс о поверхности катания рельсовых нитей $F_\tau = F_{mp.k}$ и

силы трения скольжения гребней колёс о боковую поверхность рельсовой нити $F_{mp.b}$.

3. При формировании расчётной модели движения вагона на участке 1ТП горки после затормаживания принято предположение, что происходит качение колесных пар вагона относительно поверхности катания рельсовых нитей $F_{mp.k}$ и скольжение гребней колёс о боковую поверхность рельсовой нити $F_{mp.b}$, т. е. $F_{mp.x} = F_\tau = F_{mp.k} + F_{mp.b}$.

Методику расчёта времени и потребной скорости вагона при выходе из участка 1ТП сортировочной горки при воздействии попутного ветра, как частный случай методики [10], представим в следующем виде:

1. При проектировании сортировочной горки длину участка 1ТП сортировочной горки после затормаживания l_{lmo} вычисляют по формуле:

$$l_{lmo} = l_{lmo} - l_{kb} - l_{zam}, \Phi \quad (1)$$

где l_{lmo} – принятая длина всего участка 1ТП горки (обычно принимают 29 м); l_{kb} – длины колёсной базы вагона (обычно 10,5 м); l_{zam} – вычисленная длина заторможенного участка 1ТП горки (например, $l_{zam} = 5,432$ м).

2. За значения скорости попутного ветра принимают рекомендованные малые величины (обычно скорость попутного ветра $2 \div 4$ м/с) [8 – 10].

3. Рассчитывают силу воздействия попутного ветра на торцевую поверхность вагона (следовало бы учитывать и на боковую поверхность) при малой по величине скорости ветра (например, $2 \div 4$ м/с) в виде, кН (см. (4) [10]):

$$F_{rvx} = 0,5A_t, F_{rvb} = 0,5A_b, \quad (2)$$

где 0,5 – удельное давление на 1 м^2 площади, кН/м²; A_t и A_b – площади торцевых и боковых поверхностей вагона с грузом, м²: $A_t = 2B \times 2H$ и $A_b = 2H \times 2L$ (где $2B$, $2L$ и $2H$ – ширина, длина и высота наветренных поверхностей вагона с грузом, м).

4. Вычисляют силу трения качения $F_{mp.k}$, как касательную составляющую реакции связи (рельсовых нитей) F_τ , которая, согласно закону Кулона, равна

$$F_{tp.x} = F_{tp.k} = F_\tau = f_0 G, \quad (3)$$

где f_0 – некоторый условный (или приведённый) коэффициент трения скольжения, учитывающий количество колёс в тележках, трение качения (по кольцам подшипника и колесо по рельсу) (обычно принимают $f_0 = 0,0001$) [8-10].

5. При учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона вычисляют силу трения скольжения гребней колёс о боковые поверхности рельсовой нити, кН.

$$F_{\text{трб}} = f_{\text{ск0}} F_{\text{гвб}}, \quad (4)$$

где $f_{\text{ск0}}$ – коэффициент трения скольжения гребней колёс о боковые поверхности рельсовой нити (обычно принимают 0,25).

6. Находят силы сопротивления движению вагона от среды $F_{\text{ср}}$ в виде:

$$F_{\text{ср}} = k_{\text{ср}} G, \quad (5)$$

где $k_{\text{ср}}$ – коэффициент, учитывающий долю силы тяжести G при учёте сопротивления среды (обычно в пределах $0,0003 \div 0,0005$ при скорости попутного ветра от 2 до 4 м/с).

7. Вычисляют все силы, действующие на вагон (отцеп) при воздействии попутного ветра малой величины, кН:

– «сдвигающие» силы $F_{\text{сд.х}}$:

$$F_{\text{сд.х}} = F_{\text{гвх}} \quad (6)$$

из-за воздействия только попутного ветра на участке 1ТП горки после затормаживания;

– «удерживающие» силы $F_{\text{уд.х}}$ (т. е. силы сопротивления движению вагона в виде силы трения скольжения на участке 1ТП горки и сопротивление при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона:

$$F_{\text{уд.х}} = F_{\text{тр.х}} + F_{\text{ср.х}}; \quad (7)$$

$$F_{\text{уд0.х}} = F_{\text{тр.х}} + F_{\text{ср.х}} + F_{\text{трб.х}}. \quad (7a)$$

Как видно, в данном случае «сдвигающая» сила $F_{\text{сд.х}}$, равная воздействию попутного ветра $F_{\text{гв.х}}$ малой величины является «движущей» силой, способствующей движению вагона с заданной начальной скоростью входа $v_{01\text{тп}}$ на рассматриваемый участок 1ТП горки (например, $v_{01\text{тп}} = 5,9$ м/с), преодолевая силы трения $F_{\text{тр.х}}$ и $F_{\text{трб.х}}$, сопротивления от среды $F_{\text{ср.х}}$ [5, 6].

8. По величинам «сдвигающей» $F_{\text{сд.х}}$ и «удерживающей» $F_{\text{уд.х}}$ сил вычисляют силу $F_{01\text{тп}}$, способствующую движению вагона на рассматриваемом участке 1ТП горки, кН:

$$F_{1\text{тп}} = F_{\text{сд.х}} - F_{\text{уд.х}}; \quad (8)$$

$$F_{01\text{тп}} = F_{\text{сд.х}} - F_{\text{уд0.х}}. \quad (8a)$$

При этом вполне возможно, что $F_{01\text{тп}} < 0$, т. е. движение вагона может быть и замедленным при учёте воздействия силы бокового ветра $F_{\text{гвб}}$.

9. По значению силы $F_{1\text{тп}}$ (или $F_{01\text{тп}}$) и массы вагона M с учётом инерции вращающихся частей (колёсных пар) находят ускорение вагона $a_{1\text{тп}}$ при движении на рассматриваемом участке горки с ускорением или же с замедлением при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона, м/с²:

$$a_{1\text{тп}} = \frac{F_{1\text{тп}}}{M}; \quad (9)$$

$$a_{01\text{тп}} = \frac{|F_{01\text{тп}}|}{M}. \quad (9a)$$

10. Вычисляют время $t_{1\text{тп}}$ в с, в течение которого происходит прямолинейное равноускоренное или равнозамедленное движение вагона на участке 1ТП горки длиной $l_{1\text{тп}}$, м:

$$t_{1\text{тп}} = \frac{-v_{01\text{тп}} + \sqrt{v_{01\text{тп}}^2 + 2a_{1\text{тп}} l_{1\text{тп}}}}{a_{1\text{тп}}}; \quad (10)$$

$$t_{01\text{тп}} = \frac{v_{01\text{тп}} - \sqrt{v_{01\text{тп}}^2 - 2a_{01\text{тп}} l_{1\text{тп}}}}{a_{01\text{тп}}}, \quad (10a)$$

где $v_{01\text{тп}}$ – начальная скорость вагона (скорость вагона в конце участка 1ТП горки при затормаживании, например, 5,9 м/с), м/с.

11. Определяют скорость вагона при выходе из участка 1ТП горки $v_{1\text{тп}}$ по классической формуле элементарной физики, м/с:

$$v_e(t_{1\text{тп}}) = v_{01\text{тп}} \pm a_{1\text{тп}} t_{1\text{тп}} \quad (11)$$

Отметим, что можно построить графическую зависимость $v_{1\text{тп}}(t_{1\text{тп}})$ скорости от времени движения вагона $t_{1\text{тп}}$.

12. При необходимости можно найти путь вагона в любой момент времени t его движения на рассматриваемом участке 1ТП горки $x_{1\text{тп}}(t)$ по классической формуле элементарной физики, м:

$$v_e(t_{1\text{тп}}) = v_{01\text{тп}} \pm a_{1\text{тп}} t_{1\text{тп}} \quad (12)$$

Для примера примем следующие исходные данные: $v_{01} = 5,905$ – начальная скорость вагона (скорость вагона в конце участка 1ТП горки при затормаживании), м/с; $l_{1\text{тп}} = 13,068$ – длина участка 1ТП горки после затормаживания м; $M = 9,256 \cdot 10^4$ – масса

вагона с грузом с учётом массы колёсных пар, кг; $G = 908$ – сила тяжести вагона с грузом с учётом массы вращающихся деталей, кН; $F_{сд} = 3,192$ – «сдвигающая» сила, $F_{уд} = 1,18$ – «удерживающая» сила (при учёте бокового ветра $F_{уд0} = 4,6$ кН) и $F_{1mn} = 2,012$ – сила, при воздействии которой вагон входит на участок 1ТП горки (т. е. разность «сдвигающей» и «удерживающей» сил), кН (при учёте бокового ветра, $F_{01mn} = -1,408$ кН, от воздействия которого происходит равнозамедленное движение вагона).

Ниже приведён макет-документ, полученный в программе MathCAD [15].

1. Согласно п.1 методики по (1) вычисляют длину участка 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} .

$$l_{1tpз} := 29 \quad l_{1кб} := 10.5 \quad l_{1зат} := 5.432 \\ l_{1то} := l_{1tpз} - l_{1кб} - l_{1зат}$$

$l_{1то} = 13.068$ – вычисленная по (1) длина участка 1ТП горки, м.

2. Согласно п.3 методики находят силы аэродинамического сопротивления вагона (см. (2)).

$A_t = 6.384 \quad A_b = 27.36$ – площади торцевых и боковых наветренных поверхностей вагона, m^2 ;

$$F_{вт} := 0.5 \cdot A_t \quad F_{рбх} := F_{вт} \quad F_{вт} = 3.$$

$F_{вб} := 0.5 \cdot A_b \quad F_{вб} = 13.68$ – силы аэродинамического сопротивления вагона, кН.

3. Согласно п.4 методики рассчитывают силу трения качения (см. (3)).

$f_0 = 1.036 \times 10^{-4}$ – условный коэффициент скольжения, учитывающий трение качения подшипников в буксовых узлах, кН.

$F_{трк} := f_0 \cdot G \quad F_{трк} = 0.094$ – сила трения качения, кН.

4. Согласно п.5 методики рассчитывают силу трения скольжения с учётом воздействия бокового ветра (см. (4)).

$f_{ск0} = 0.25$ – коэффициент трения скольжения гребней колёс о боковые поверхности рельсовой нити,

$F_{трб} := f_{ск0} \cdot F_{вб} \quad F_{трб} = 3.42$ – сила трения скольжения при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона кН.

5. Согласно п.6 методики рассчитывают силы сопротивления среды (см. (5)).

$k_{сп} := 0.0003$ – коэффициент, учитывающий долю силы тяжести вагона при учёте сопротивления среды.

$F_c := k_{сп} \cdot G \quad F_c = 0.272$ – сила сопротивления от воздушной среды, кН.

5. Согласно п.7 методики вычисляют «сдвигающую» силу (см. (6)).

$F_{сд} := F_{рбх} \quad F_{сд} = 3.192$ – «сдвигающая» сила, кН.

6. Согласно п.7 методики вычисляют «удерживающую» силу (см. (7) и (7а)).

$F_{уд} := F_{трк} + F_c \quad F_{уд} = 1.18$ – «удерживающая» сила при учёте силы сопротивления среды, кН;

$$F_{уд0} := F_{трк} + F_c + F_{трб}$$

$F_{уд0} = 4.6$ – «удерживающая» сила при учёте бокового ветра, кН.

7. Согласно п.8 методики находят значение силы, при воздействии которой происходит движение вагона на длине 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} с ускорением или замедлением (см. (8) и (8а)).

$F_{01то} := F_{сд} - F_{уд} \quad F_{01то} = 2.012$ – разность «сдвигающей» и «удерживающей» сил, как сил, из-за воздействия которых происходит движения вагона с ускорением на рассматриваемом участке горки, кН;

$$F_{01то0} := F_{сд} - F_{уд0}$$

$F_{01то0} = -1.408$ – разность «сдвигающей» и «удерживающей» сил при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона, как сил, из-за воздействия которых происходит движения вагона с замедлением на рассматриваемом участке горки, кН.

8. Согласно п.9 методики рассчитывают ускорение вагона, при котором происходит ускоренное движение вагона на длине 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} (см. (9) и (9а)).

$M = 9.256 \times 10^4$ – масса вагона с учётом массы вращающихся деталей (колёсных пар), кг;

$$a_{1to} := \frac{F_{01to} \cdot 10^3}{M} \quad a_{1to} = 0.022$$

ускорение вагона, при котором происходит ускоренное движение на длине 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} , м/с²;

$$a_{01to} := \frac{|F_{01to0}| \cdot 10^3}{M}$$

$a_{01to} = 0.015$ – ускорение вагона, при котором происходит замедленное движение на рассматриваемом участке горки при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона, м/с².

9. Согласно п.10 методики вычисляют время, в течение которого вагон движется на длине 1ТП после затормаживания l_{1mn} (см. (10) и (10a)).

$l_{1to} = 13.068$ – вычисленная длина участка 1ТП горки после затормаживания м; $v_{01t} = 5.905$ $a_{1to} = 0.022$ $l_{1to} = 13.068$

$$t_{1to2} := \frac{-v_{01t} + \sqrt{v_{01t}^2 + a_{1to} \cdot 2 \cdot l_{1to}}}{a_{1to}}$$

$t_{1to2} = 2.204$ $t_{1to} := t_{1to2}$
 $t_{1to} = 2.204$ – время, в течение которого происходит ускоренное движение вагона на длине 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} , с.

$v_{01t} = 5.905$ $a_{01to} = 0.015$ $l_{1to} = 13.068$

$$t_{01to2} := \frac{v_{01t} - \sqrt{v_{01t}^2 - a_{01to} \cdot 2 \cdot l_{1to}}}{a_{01to}}$$

$t_{01to2} = 2.219$ – время, в течение которого происходит замедленное движение вагона на участке 1ТП горки после затормаживания при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона, м/с².

Сравнительный анализ вычислений времени, в течение которого вагон движется на длине 1ТП горки после затормаживания с ускорением ($t_{1mn} = 1,372$ с) или с замедлением ($t_{1mn} = 1,376$ с) показал, что воздействием ветра с боковой стороны вагона при его

движении на этом участке практически можно пренебречь.

10. Согласно п. 11, можно вычислить скорость скатывания вагона в конце участка входа на 1ТП горки v_{mn} по классической формуле элементарной физики (11).

$$v_{01t} = 5.905 \quad a_{1to} = 0.022$$

$$vel_{to}(t) := v_{01t} + a_{1to} \cdot t$$

$$vel_{to}(0) = 5.905$$

$vel_{to}(2.229) = 5.953$ – скорость выхода вагона из участка 1ТП горки после затормаживания, м/с (или 21,3 км/ч) (при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона 5,875 м/с или 21,1 км/ч).

Таким образом, для заданных исходных данных $v_{01mn} = 5,9$ м/с, $l_{mno} = 13,07$ м, $a_{mn} = 0,022$ м/с², $t_{1mn} = 2,204$ с: $v(t_{1mn}) = 5,953$ м/с (или 21,3 км/ч), а при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона $t_{1mn} = 2,219$ с, а скорость вагона 5,875 м/с (или 21,1 км/ч).

11. Согласно п. 12 в качестве проверочного примера можно найти пройденный путь вагона $x_2(t)$ на длине участка 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} (см. (12)).

$$x_{1to}(t) := v_{01t} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_{1to} \cdot t^2$$

$$x_{1to}(0) = 0 \quad x_{1to}(2.229) = 13.216$$

пройденный путь вагона на рассматриваемом участке горки после затормаживания, м.

12. Используя (10) и (11), для примера покажем графическую зависимость скорости и пройденного расстояния вагона при движении по длине участка 1ТП горки после затормаживания l_{1mno} (рис. 1 и 2).

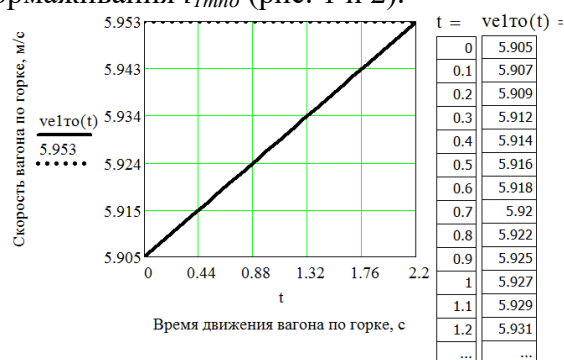


Рис. 1. Графическая зависимость скорости вагона на длине 1ТП горки после затормаживания при вариации времени движения

$t := 0, 0.1 \dots 2.204$ – изменение времени движения вагона t на длине 1ТП горки после затормаживания l_{lmo} , с.

$velto(t) := v01t + a1to \cdot t$ – переносная скорость вагона $v(t)$ в любой момент времени t на длине 1ТП горки после затормаживания l_{lmo} , м/с.

$$x1to(t) := v01t \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a1to \cdot t^2$$

– пройденное расстояние $x(t)$ в любой момент времени t на длине 1ТП горки после затормаживания, м.



Рис. 2. Графическая зависимость пройденного расстояния при движении вагона на длине 1ТП горки после затормаживания от времени

Как видно, графические зависимости $v(t)$ и $x(t)$ носят линейный характер в соответствии с (11) и (12).

Анализ графических зависимостей $v(t)$ и $x(t)$ показывает, что в течение времени $t = 2,204$ с (см. рис. 1) вагон пройдет расстояние $l_{lmo} = 13,07$ м. При этом его скорость (см. рис. 1) достигнет 5,95 м/с ($\approx 21,3$ км/ч), а при учёте бокового ветра – время движения вагона увеличится до $t_{lmo} = 2,219$ с (т. е. на величину 0,005 с, что несущественно), а скорость вагона уменьшится до величины 5,875 м/с (или 21,3 км/ч).

Анализ графических зависимостей $v(t)$ и $x(t)$ также показывает, что в течение времени

$t = 2,2$ с скорость вагона (см. рис. 2) увеличивается незначительно с 5,905 м/с (скорость входа на участок 1ТП горки после затормаживания) до 5,953 м/с, а при учёте воздействия ветра с боковой стороны вагона – также остается практически неизменной (уменьшается с 5,905 до 5,875 м/с), при этом вагон проходит расстояние 1307 м.

Сравнительный анализ вычислений времени, в течение которого вагон движется на длине 1ТП горки после затормаживания с ускорением ($t_{lmo} = 2,204$ с) или с замедлением ($t_{lmo} = 2,219$ с) показал, что воздействием ветра с боковой стороны вагона в расчетах можно пренебречь.

Выводы

Ранее разработанная новая методика расчёта времени и скорости движения вагона по всей длине участка 1ТП сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины [11] позволили выполнить расчёты по определению конкретных значений времени и скорости движения вагона при входе из участка 1ТП горки после затормаживания.

2. Результаты расчётов по определению кинематических параметров вагона по новой методике позволили по известной величине длины 1ТП горки после затормаживания l_{lmo} определить время t_{lmo} , в течение которого вагон на данном участке горки движется равноускорено. По величине t_{lmo} найдена скорость вагона в конце рассматриваемого участка $v_{lmo}(t_{lmo})$.

3. Расчётами установлено, что воздействием ветра с боковой стороны вагона на его движение можно пренебречь.

Результаты исследований будут использованы при расчёте времени движения и скорости на промежуточной зоне сортировочной горки.

Список литературы

1. Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / А.И. Лурье, Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1983. – 640 с. – С. 26–27.
2. Туранов, Х.Т. Математическая модель времени скатывания вагона на первом скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. 2015, № 6 (240). – С. 17–23.
3. Туранов, Х.Т. Аналитическое определение времени скатывания вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Наука и техника транспорта. 2015, № 2. – С. 73–81.
4. Туранов, Х.Т. Определение времени и скорости скатывания вагона перед первой тормозной позицией сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Транспорт: наука, техника, управление. 2015, №7. – С. 25–30.
5. Образцов В.Н. Станции и узлы. ч. II / В.Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 492 с.
6. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В.И. Апатцев и др.; под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 855 с.
7. Туранов, Х.Т. Некоторые проблемы теоретической предпосылки динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2015, № 3 (237). С. 29–36.
8. Туранов, Х.Т. Пример расчёта времени и скорости скатывания вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины по новой методике / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Наука и техника транспорта. 2015, № 3. – С. 73–79.
9. Designing the height of the first profile of the marshalling hump Turanov K., Gordienko A., Saidivaliev S., Djabborov S.B сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. С. 03038.612
10. Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind Turanov K., Gordienko A., Saidivaliev S., Djabborov S. В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. С. 03041.413
11. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть IV) Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 1. С. 16-20.814
12. О скольжении колёсных пар вагона на тормозных позициях сортировочных горок Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б., Саидивалиев Ш.У. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 5. С. 16-21.715
13. О вычислении профильной высоты головного участка сортировочной горки Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Саидивалиев Ш.У., Джаббаров Ш.Б. Бюллетень транспортной информации. 2019. № 12 (294). С. 15-20.016
14. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть v) Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б. Бюллетень транспортной информации. 2019. № 3 (285). С. 22-27.71715. Кирьянов, Д.В. *Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0* / Д.В. Кирьянов // СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.

УДК (UDC) 004.94:62-599

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВАГОНОВ С ТОРМОЗНЫМИ БАШМАКАМИ**DYNAMICS OF INTERACTION OF RAILWAY CARS AND BRAKING SHOES**

Шимановский А.О., Кузнецова М.Г., Демьянчук О.В.
Shimanovsky A.O., Kuznetsova M.G., Demyanchuk O.V.

Белорусский государственный университет транспорта (Гомель, Республика Беларусь)
Belarusian State University of Transport (Gomel, Republic of Belarus)

Аннотация. В среде программного комплекса MSC.ADAMS разработана компьютерная модель железнодорожного состава на пути, расположенном под уклоном к горизонту. Предполагалось, что удержание вагонов от самопроизвольного движения осуществляется с помощью тормозных башмаков. Рассмотрено влияние порывистого ветра на перемещения вагонов. Показано, что действие ветра может приводить к значительным амплитудам колебаний вагонов, которые могут стать причиной скольжения тормозных башмаков.

Ключевые слова железнодорожный состав, уход вагонов, тормозные башмаки, ветровая нагрузка, компьютерное моделирование.

Дата принятия к публикации: 10.05.2000
Дата публикации: 15.06.2022

Сведения об авторах:

Шимановский А.О. – д.т.н., профессор, ведущий кафедрой «Техническая физика и теоретическая механика», Белорусский государственный университет транспорта, e-mail: tm.belsut@gmail.com

Кузнецова М.Г. – к.т.н., доцент кафедры «Техническая физика и теоретическая механика», Белорусский государственный университет транспорта, e-mail: marina-kuzn@mail.ru

Демьянчук О.В. – студентка факультета «Управление процессами перевозок», Белорусский государственный университет транспорта, e-mail: olgademyanchuk.98@mail.ru

Abstract. A computer model was developed in the MSC ADAMS software for the train on the rail track inclined at an angle to the horizon. It was supposed that the railway cars were held on the rails by the braking shoes in order to prevent their self-motion. There was considered the influence of gusty wind on the cars' displacement. It is demonstrated that the wind action can lead to significant oscillations of cars and can become a reason of the braking shoes slipping.

Keywords: rail stock, cars derailment, braking shoes, wind load, computer simulation.

Date of acceptance for publication: 10.05.2022
Date of publication: 15.06.2022

Authors' information:

Shimanovsky A.O. – doctor of technical sciences, professor, head of the department “Technical physics and theoretical mechanics”, Belarusian State University of Transport, e-mail: tm.belsut@gmail.com

Kuznetsova M.G. – candidate of technical sciences, associate professor of the department “Technical physics and theoretical mechanics”, Belarusian State University of Transport, e-mail: marina-kuzn@mail.ru

Demyanchuk O.V. – student of the faculty “Management of transportation processes”, Belarusian State University of Transport, e-mail: olgademyanchuk.98@mail.ru

Введение

В настоящее время для закрепления от самопроизвольного и несанкционированного движения на станционных путях составов поездов, вагонов и специального подвижного состава используются главным образом тормозные башмаки. Определение необходимого их количества в настоящее время осуществляется на основе норм [1], которые были разработаны много лет назад. Однако, как показывает практика, в некоторых случаях

возможна укладка большего количества тормозных башмаков, чем требуется, что приводит к увеличению продолжительности закрепления составов. С другой стороны, при сильном ветре возможны проблемы, связанные с закреплением порожних вагонов. Существующие возможности по обработке информации о закрепляемых вагонах и profile станционных путей позволяют использовать усовершенствованные методики расчета необходимого числа башмаков [2]. Однако их создание требует проведения анализа дина-

мических процессов, связанных с взаимодействием вагонов с тормозными башмаками.

В работе [3] рассматривается проблема закрепления подвижного состава на станционных путях от самопроизвольного движения, а также анализируются причины самопроизвольного ухода вагонов со станций. Авторы работы делают вывод о том, что значимой причиной ухода вагонов является продольный профиль станционных путей.

В статьях [4, 5] приведен обзор технических средств, разработанных и используемых для закрепления подвижного состава на путях железнодорожных станций в странах СНГ, Европы и Северной Америки. В работах [6, 7] предложена система, позволяющая отслеживать положение тормозных башмаков в реальном времени и фиксировать возможное смещение закрепляемых вагонов.

В статье [8] на основании анализа результатов проведенной серии испытаний по закреплению железнодорожного подвижного состава тормозными башмаками установлена необходимость пересмотра существующих норм. В качестве одного из возможных способов решения проблемы закрепления подвижного состава на путях станции предложено применение механизированных устройств закрепления.

Авторами работы [9] выполнен анализ методик расчета требуемого количества тормозных башмаков для закрепления подвижного состава на станционных путях, которые были приняты на железных дорогах СССР и Украины. Было доказано, что учет массы грузовых поездов позволяет уменьшить нормы закрепления при условии обеспечения безопасности движения. На основе результатов расчетов предложена усовершенствованная методика определения количества тормозных башмаков.

В работах [10–13] рассмотрены особенности эксплуатации и повреждения тормозных железнодорожных башмаков, применяемых в Российской Федерации. Наряду с анализом результатов испытаний железнодорожных горочных башмаков повышенной прочности и облегченной конструкции авторами предложены некоторые подходы к рас-

четам сил, возникающих при работе стояночного башмака по удержанию состава.

С целью уточнения норм закрепления авторами работы [14] рассмотрена целесообразность проверки возможности ухода незакрепленного подвижного состава под действием силы тяжести и воздействия ветровой нагрузки, выполнен расчет крутизны уклона продольного профиля станционного пути, при которой возможен самопроизвольный уход незакрепленного подвижного состава. Предложенная расчетная схема дает возможность также определить силу, с которой будут действовать на установленный в конце участка пути тормозной упор удерживаемые вагоны.

Авторами работ [15, 16] рассмотрено развитие методики расчета норм закрепления подвижного состава, которая позволяет снизить влияние случайных факторов и решить проблему отсутствия вариантов расчета закрепления составов поездов, состоящих из разнородного подвижного состава, на частных случаях продольных профилей станционных путей. Методика позволяет производить расчет норм закрепления на основе сил, действующих на подвижной состав, снизить потребное количество тормозных башмаков, необходимых для закрепления подвижного состава, производить расчет количества тормозных башмаков в зависимости от выбора вариантов их укладки под определенные вагоны.

В статье [17] представлены результаты исследований взаимодействия горочного башмака и вагона. Также приведены статистические характеристики осевых усилий, действующих на башмак при размещении вагона как на площадке, так и на уклоне до 30 ‰. Анализ проведенных исследований показал, что взаимодействие вагона и башмака характеризуется сложным колебательным процессом, который содержит низкочастотные и высокочастотные составляющие амплитуд осевых усилий, действующих на башмак.

В работе [18] приведены результаты компьютерного моделирования в инженерном программном комплексе MSC.ADAMS динамического взаимодействия одиночной ко-

лесной пары с установленными на рельсах тормозными башмаками. При этом учитывались различные свойства поверхности рельса, моделирующие благоприятные и неблагоприятные для торможения условия контакта между колесом, тормозным башмаком и рельсом.

Существует значительное число публикаций, посвященных динамике подвижного состава при его движении по перегонам [19, 20]. Однако вопросы, связанные с динамикой расположенных на станционных путях вагонов при малых скоростях, которые могут появиться, например, вследствие действия порывистого ветра, ранее не рассматривались. Целью представленной работы является анализ влияния условий окружающей среды на смещения вагонов, закрепленных на станционных путях.

2. Математическая и компьютерная модель системы

Железнодорожный путь на станции состоит из отдельных участков, которые имеют разные значения уклона продольного профиля. При установке состава поезда в пределах определенных участков пути величина уклонов может быть различна, вследствие чего изменяется и сдвигающая сила, действующая на отдельные вагоны и состав в целом. На рисунке 1 приведена расчетная схема железнодорожного состава.

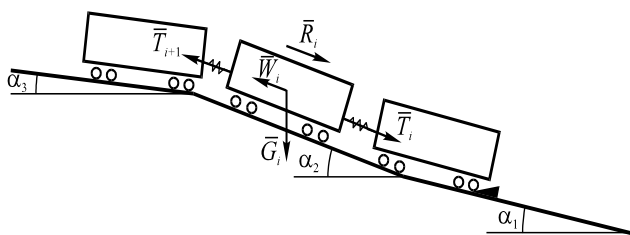


Рис. 1. Расчетная схема железнодорожного состава, расположенного на пути с переменным уклоном

При размещении на железнодорожном пути на i -й вагон действуют постоянная сила тяжести G_i , а также переменные силы: ветра R_i , сопротивления движению W_i и реакции межвагонных связей T_i и T_{i+1} .

Динамическое уравнение движения вагона имеет вид:

$$m_i \ddot{x}_i = m_i g \sin \alpha_j - W_i \pm R_i + T_i - T_{i+1}, \quad (1)$$

где m_i – масса брутто i -ого вагона; $\ddot{x}_i$ – его ускорение; g – ускорение свободного падения; α_j – уклон пути.

Сила сопротивления движению W_i в соответствии с Правилами тяговых расчетов [21] определяется выражением

$$W_i = w_{oi}'' \cdot m_i \cdot g, \quad (2)$$

где w_{oi}'' – основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов.

Сила давления ветра R_i в соответствии с [22] определяется выражением

$$R_i = \frac{17,8gC_{xi}S_i}{(273+t)} v_B^2, \quad (3)$$

где C_{xi} – коэффициент обтекаемости i -го вагона; S_i – площадь его поперечного сечения [22, табл. 6]; v_B – скорость ветра; t – температура наружного воздуха. В формуле (1) знак «+» соответствует попутному ветру, а «–» если он направлен противоположно скорости возможного ухода вагонов.

Реакции межвагонных связей принимались пропорциональными их деформациям.

Также принято, что на вагон, под которым находится тормозной башмак, действует сила трения, максимальное значение которой соответствует коэффициенту трения между башмаком и колесной парой, равном 0,25 [23].

Описанная математическая модель стала основой для создания компьютерной модели в среде программного комплекса MSC.ADAMS, которая представлена на рисунке 2. В ней рассмотрен железнодорожный состав из 10 порожних полувагонов (масса брутто каждого вагона 25 т), расположенный на наклонном пути с уклоном $i = 2$ ‰. Вагоны соединены упругими связями с коэффициентом жесткости 11 МН/м. Состав закреплен одним тормозным башмаком, уложенным под крайний вагон.

Рассматривался случай, при котором в начальный момент времени деформации межвагонных связей отсутствуют. Такая ситуация возможна, например, в случае действия давления ветра, имеющего постоянную скорость, направленную в сторону, противоположную направлению уклона пути.

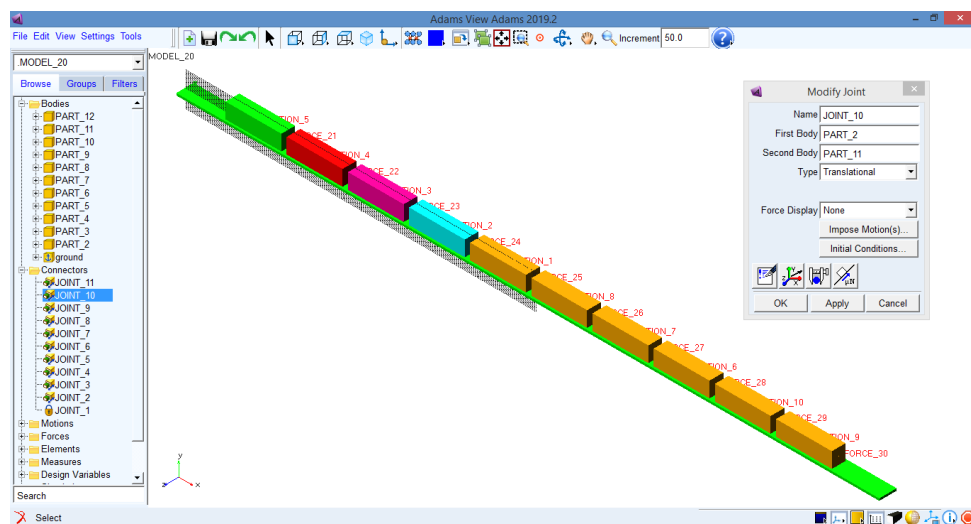


Рис. 2. Компьютерная модель железнодорожного состава в среде MSC.ADAMS

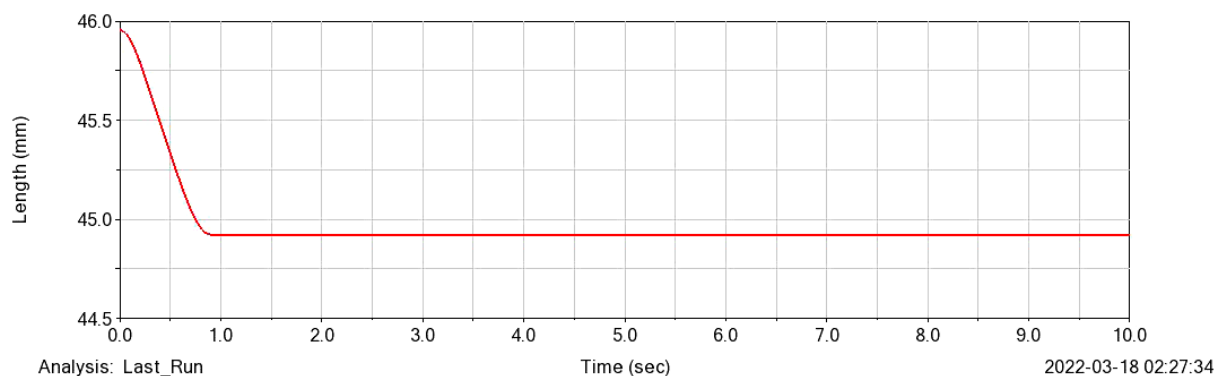


Рис. 3. Изменение координаты первого вагона при малых скоростях ветра

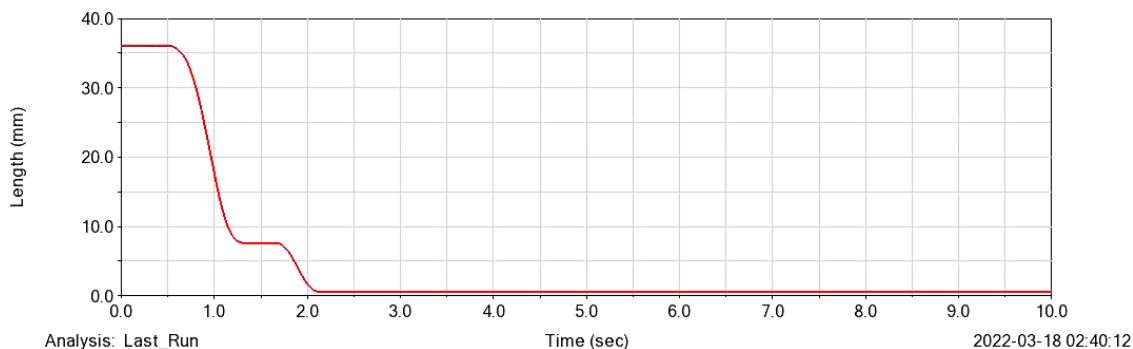


Рис. 4. Изменение координаты первого вагона при штормовом ветре

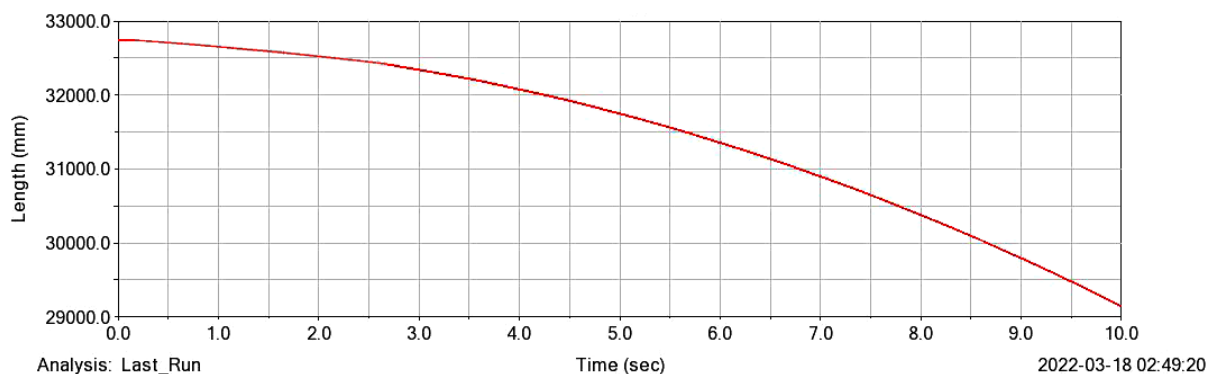


Рис. 5. Изменение координаты первого вагона при недостаточном количестве тормозных башмаков

3. Результаты расчетов и их обсуждение

Ранее в работе [24] было показано, что при скорости ветра, близкой к 15 м/с, вагоны в зависимости от их типа и уровня загрузки испытывают такую же сдвигающую силу, которая наблюдается при установке тех же вагонов на путь с уклоном 2,5 ‰ и более в безветренную погоду. Поэтому выполнены расчеты, в которых силы, действующие на вагоны, соответствовали скоростям ветра до 25 м/с.

На рисунках 3–5 представлены графики перемещений первого вагона (под которым уложен тормозной башмак) в зависимости от времени. Из рисунка 3 видно, что при малых скоростях ветра (до 15 м/с) наезд колесной пары на тормозной башмак приводит к незначительному его смещению (около 1 мм). В дальнейшем тормозной башмак остается неподвижным.

Увеличение скорости ветра до штормового (более 15 м/с) приводит к продольным колебаниям вагонов в составе, которые ведут к появлению сил, способных сместить тормозной башмак после его первой остановки. Как видно из рисунка 4, результирующее смещение тормозного башмака является результатом двух циклов его движения. Суммарное его смещение в таком случае может достигать нескольких сантиметров. При наличии многократных порывов ветра такое смещение может накапливаться и достигать нескольких метров.

Дальнейшее увеличение скорости ветра (свыше 20 м/с) приводит к превышению силами сдвига состава сил основного сопротивления движения и силы, обеспечиваемой тормозным башмаком. Вследствие этого рассматриваемый железнодорожный состав движется равноускорено, о чем свидетельствует параболическая зависимость перемещения от времени, представленная на рисунке 5. Для удержания состава в этом случае требуется постановка дополнительных тормозных башмаков либо применение иных средств закрепления.

С целью определения влияния относительных перемещений вагонов на достаточность закрепления железнодорожного состава

ва выполнен анализ колебаний вагонов при разных скоростях действующего ветра. Из рисунка 6 видно, что при относительно невысоких скоростях ветра каждый вагон (кроме первого) совершает один цикл малых колебаний. Амплитуды скоростей увеличиваются по мере увеличения номера вагона и достигают 10–20 см/с. Однако значения реакций межвагонных связей, передаваемых на удерживаемый тормозным башмаком вагон, недостаточны для его смещения.

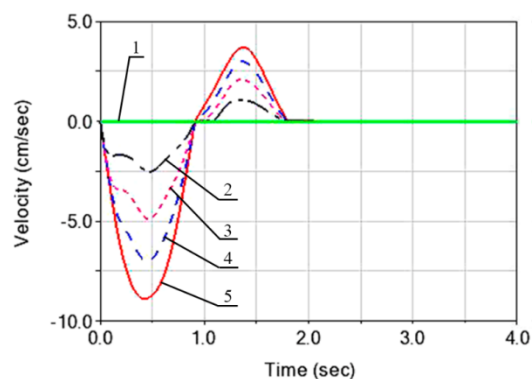


Рис. 6. Изменение скоростей вагонов при скорости ветра 14 м/с; цифра у линии соответствует номеру вагона

При увеличении скорости ветра до 20 м/с характер изменения скоростей вагонов существенно изменяется. Из рисунка 7 видно, что в этом случае скорости вагонов могут достигать 40–60 см/с, что, в свою очередь, сопровождается увеличением сил в межвагонных соединениях, которые приводят к смещению первого вагона на несколько сантиметров (см. рисунок 4).

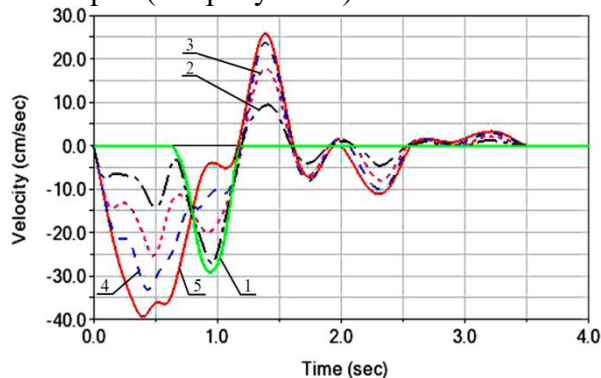


Рис. 7. Изменение скоростей вагонов при скорости ветра 20 м/с; цифра у линии соответствует номеру вагона

С учетом полученных результатов выполнено моделирование наезда колесной па-

ры на тормозной башмак в соответствии с методикой, представленной в работе [18]. Модель представляет собой колесную пару с заданной нагрузкой на ось, расположенную на рельсах, уклон которых 2,5 ‰ (рис. 8).

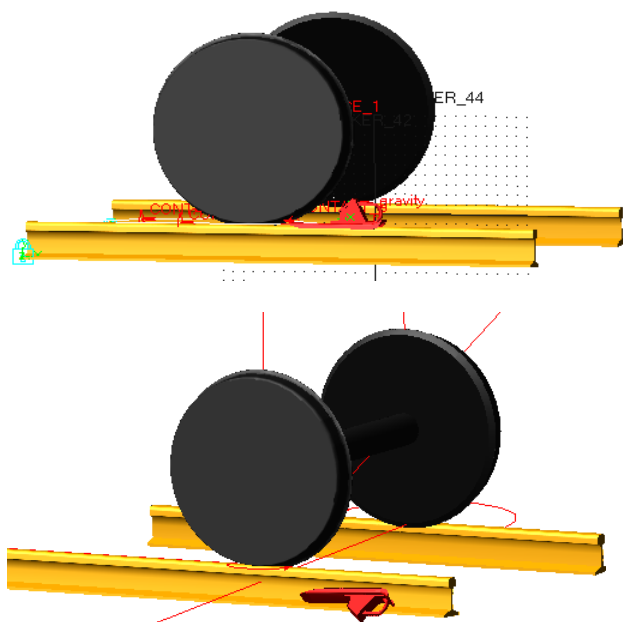


Рис. 8. Компьютерная модель для анализа наезда колесной пары на тормозной башмак

В результате расчетов установлено, что при установке башмаков на сухие не замасленные рельсы удается удержать колесную пару от скольжения. В случае замасленных рельсов расчеты, выполненные для случая начальной скорости движения 0,5 м/с показали, что применение одного башмака позволяет остановить вагон, он продолжает движение вместе с тормозящим его устройством. Скорость перемещения при этом снижается, но происходит это достаточно медленно. В случае, если поверхность только одного из рельсов замасленная, тормозной башмак смещается и слетает с рельса (см. рисунок 8). Колесная пара при этом останавливается, но при учете силы, обусловленной инерцией закрепляемого состава, в реальных условиях движение колес может продолжиться.

Заключение

Разработанная компьютерная модель железнодорожного состава, удерживаемого от

скольжения тормозными башмаками, позволила исследовать продольные колебания вагонов, которые могут возникать вследствие действия порывистого ветра. Установлено, что при слабом ветре амплитуды колебаний недостаточны для смещения вагона, под которым установлен тормозной башмак. Увеличение ветра до штормового приводит к периодическому смещению башмаков на несколько сантиметров, которое может накапливаться и в результате многократного воздействия достигать нескольких метров.

Выполненные расчеты наезда колесной пары на тормозной башмак продемонстрировали, что при разных коэффициентах трения между колесной парой и рельсами возможен сброс тормозного башмака.

Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании норм закрепления подвижного состава от ухода.

Список литературы

1. Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь. Приложение № 8 к Правилам технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь.: утв. постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь № 52 от 25.11.2015.
2. Похилко С.П., Иванченко И.С. Автоматизация методики расчета норм закрепления подвижного состава на станционных путях. Сборник научных трудов ДонИЖТ, 2020, № 5. С. 27–39.
3. Ташлыкова А.И., Несветова Е.А. Основные проблемы обеспечения надежного закрепления подвижного состава на станционных путях. Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке, 2016, №. 1, С. 226–229.
4. Пасичный А.Н. Обзор современных технических средств для закрепления подвижного состава на станционных путях. Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2013, № 2. С. 80–85.
5. Малахов А.И., Хахишвили Ю.А. О технических средствах для закрепления подвиж-

ного состава на станционных путях. Вестник Липецкого государственного технического университета, 2020, №1 (42). С. 49–53.

6. Jiang, C. & Xu, Y. & Wen, C. & et. al. (2017). Anti-Runaway Prevention System with Wireless Sensors for Intelligent Track Skates at Railway Stations. *Sensors*. No. 17(12). P. 39-55.

7. Pinchuk, A. & Dadoenkov, P. & Baranovskis, A. & et. al. (2019) Fastening Device of the Railway Rolling Stock. *ICTE in Transportation and Logistics*. No. 11. P. 211–217.

8. Козаченко Д.М. Проблемы закріплення рухомого складу на коліях залізничних станцій. *Залізничний транспорт України*, 2018. № 3/4 (100/101). С. 69–73.

9. Козаченко Д.М., Пасічний, О.М., Іващенко Э.В. Удосконалення норм закріплення рухомого складу на станційних коліях. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*, 2013, № 34. С. 119–125.

10. Сапожников С.А., Марков, Д.П. Воробьева, Г.П. Железнодорожные тормозные горочные башмаки: история и перспективы. Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, 2014, № 5. С. 38-43.

11. Забавина М.В., Марков, Д.П., Сапожников, С. А. [и др]. Расширенные эксплуатационные испытания железнодорожных тормозных горочных башмаков новой конструкции. Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, 2015, № 4. С. 33-38.

12. Марков Д.П., Воронин И.Н., Шипулин, Н.П. [и др]. Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания. Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, 2016, Т. 75. № 5. С. 308-317.

13. Марков Д.П., Маршев В.И., Сухов А.В. [и др]. Горочные и стояночные тормозные башмаки: этапы внедрения. Вагоны и вагонное хозяйство, 2018, № 1(53). С. 33-35.

14. Смирнов В.И., Видюшенков С.А. О равновесном уклоне станционного профиля. Известия Петербургского университета пу-

тей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2020, Т. 17. Вып. 4. С. 575–582.

15. Ильин А.М., Числов О.Н. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2020, № 3. С. 115–123.

16. Числов О.Н., Ильин А. М. Развитие автоматизированной методики расчета норм закрепления подвижного состава на станционных железнодорожных путях. Сборник науч. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление». Ростов н/Д: РГУПС. 2018, С. 247–251.

17. Водяников Ю.Я., Ольгард Л.С., Гречко А.В. Исследования динамической нагруженности горочного башмака при взаимодействии с подвижным составом. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, 2006, № 11. С. 141–147.

18. Шимановский А.О., Кузнецова М.Г., Демьянчук О.В. Компьютерное моделирование динамики взаимодействия колесных пар вагонов с тормозными башмаками. Механика машин, механизмов и материалов, 2021, № 4(57). С. 48-55.

19. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда: Нестационарные продольные колебания. М.: Транспорт. 1982. 222 с.

20. Spiriyagin, M. & Wolfs, P. & Cole, C. & et al. Design and simulation of heavy haul locomotives and trains. Boca Raton: CRC Press. 2017.

21. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт. 1985. 287 с.

22. Луговцов М.Н., Негрей В.Я. Проектирование сортировочных горок. Гомель: БелГУТ. 2005. 170 с.

23. Костюкевич А.И., Таран И.А., Ковтанец М. В. [и др.]. Экспериментальные исследования характеристик сцепления в контакте «колесо-рельс» при наличии промежуточной среды. Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Автомоби-



ле- и тракторостроение, 2011, № 56. С. 56–62.

24. Демьянчук О.В. Анализ влияния ветровой нагрузки на закрепление железнодорожных составов станционными тормозны-

ми башмаками. Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт, 2021, № 2. С. 58–61.

Настоящая работа рассмотрена в Первой Международной научно-технической конференции «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ: проблемы, решения, перспективы» (20–23 апреля 2022 г., Ташкент, Узбекистан).

УДК (UDC) 656.01

**ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПЕРЕВАЛОЧНЫХ НАСЫПНЫХ ТЕРМИНАЛОВ****STUDIES OF THE FUNCTIONING OF THE SYSTEM
OF INTERMODAL TRANSPORTATION OF BULK CARGO**

Илесалиев Д.И.¹, Шихназаров Ж.А.¹, Баймуратова Б.Б.²
Ilesaliev D.I.¹, Shikhnazarov J.A.¹, Baymuratova B.B.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

²службы ИВЦ АО «Узбекистон темир йуллари»

¹Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan) (Ташкент, Узбекистан)

²Information Computing center, JSC “Uzbekistan railways” (Tashkent, Uzbekistan)

Аннотация. Исследования в данной статье направлены на разработку методики оценки деятельности системы интермодальных перевозок грузов. В рамках исследования разработан алгоритм определения доходов в цепи поставок при случайном спросе.

Ключевые слова: смешанные перевозки, интермодальные перевозки, мультимодальные перевозки, железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт, теория запасов

Дата принятия к публикации: 10.02.2022
Дата публикации: 06.06.2022

Сведения об авторах:

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович – доктор технических наук, доцент, кафедры «Транспортно-грузовые системы», Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: ilesaliev@mail.ru

Шихназаров Жамол Алишерович – ассистент, кафедры «Транспортно-грузовые системы», Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: Jamolalisherovich@mail.ru

Баймуратова Бибизада Бердимурат кизи – инженер-технолог службы ИВЦ АО «Узбекистон темир йуллари», e-mail: bibizadabaymuratova@gmail.com

Перевалочные грузовые терминалы также развиваются, как случайные процессы, переход которых зависит в зависимости от случайных факторов. Вершины графа состояний функционирования перевалочных насыпных терминалов при интермодальных технологиях перевозок выглядит следующим образом:

x_1 – приём насыпных грузов из входящего транспорта;

Abstract. The research in this article is aimed at developing a methodology for assessing the performance of the system of intermodal transportation of goods. As part of the study, an algorithm was developed for determining income in the supply chain with random demand.

Keywords: multimodal transport, intermodal transport, multimodal transport, rail transport, road transport, stock theory

Date of acceptance for publication: 10.02.2022
Date of publication: 06.06.2022

Authors' information:

Ilesaliev Daurenbek Ixtiyarovich – Doctor of Technical Sciences, docent, department of "Transport and Cargo Systems", Tashkent state transport university, e-mail: ilesaliev@mail.ru

Shikhnazarov Jamol Alisherovich – assistant, department of "Transport and Cargo Systems", Tashkent state transport university, e-mail: jamolalisherovich@mail.ru

Baymuratova Bibizada Berdimurat qizi – process engineer of the Information Computing center, JSC “Uzbekistan railways”, e-mail: bibizadabaymuratova@gmail.com

x_2 – обработки и подготовка насыпных грузов;

x_3 – хранение насыпных грузов;

x_4 – отгрузка насыпных грузов на исходящий транспорт.

Переход из одного состояния в другое состояние описаны следующим образом:

e_{12} – перемещение насыпных грузов из железнодорожного участка в участок обработки и подготовка насыпных грузов;

e_{21} – перемещение из участка обработки и подготовка насыпных грузов в железнодорожный участок;

e_{23} – перемещение из участка обработки и подготовка насыпных грузов в автомобильный участок;

e_{32} – перемещение насыпных грузов из автомобильного участка в участок обработки и подготовка насыпных грузов;

e_{13} – перемещение насыпных грузов из автомобильного участка в железнодорожный участок;

e_{31} – перемещение насыпных грузов из железнодорожного участка в автомобильный участок;

e_{34} – перемещение насыпных грузов из участка обработки и подготовка насыпных грузов в участок хранения (силос);

e_{41} – перемещение насыпных грузов из участка хранения в железнодорожный участок;

e_{42} – перемещение насыпных грузов из участка хранения в автомобильный участок.

Резльтирующий граф состояний переходов перевалочного грузового терминала приведен на рисунке 1. Матрица смежности представленный на рисунке 10, имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{24} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & e_{34} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & e_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, (1)$$

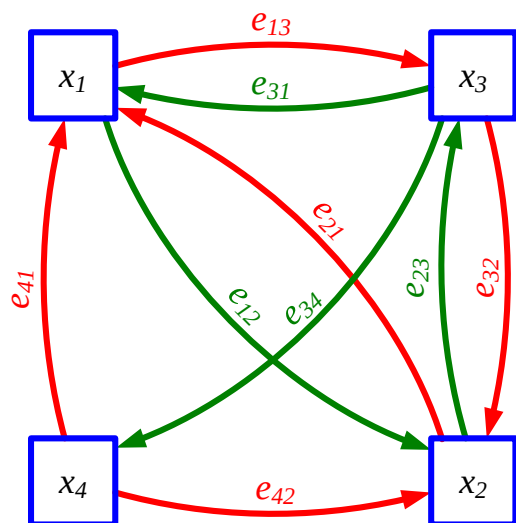


Рис. 1 – Граф состояний перевалочного грузового терминала

При известных значениях времени прибытия и отправления транспорта можно описать следующим образом:

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^n p_j(k-1)p_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

где $p_j(k-1)$ – вероятность переходов перевалочного грузового терминала записаны в виде матрицы переходов:

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & 0 \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & 0 \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & 0 & p_{44} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

На рисунке 2 приведён граф состояний насыпных перевалочных терминалов для Марковской цепи дискретного времени.

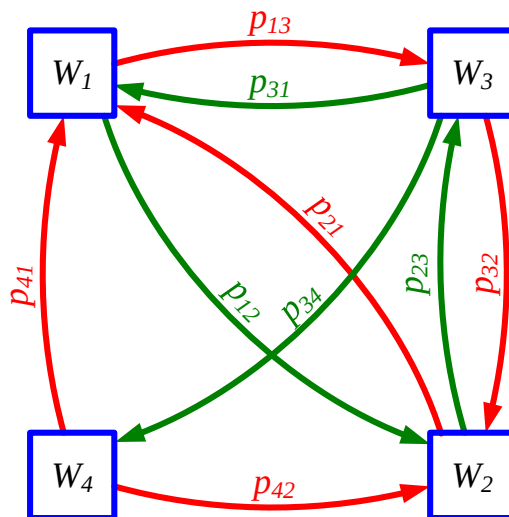


Рис. 2 – Граф состояний перевалочного грузового терминала для Марковской цепи в дискретное время

Система уравнения Марковской цепи дискретного времени для насыпных перевалочных пунктов имеет вид:

$$\begin{cases} P_1(k) = P_1(k-1)P_{11} + P_2(k-1)P_{21} + P_3(k-1)P_{31} + P_4(k-1)P_{41}; \\ P_2(k) = P_1(k-1)P_{12} + P_2(k-1)P_{22} + P_3(k-1)P_{32} + P_4(k-1)P_{42}; \\ P_3(k) = P_1(k-1)P_{13} + P_2(k-1)P_{23} + P_3(k-1)P_{33}; \\ P_4(k) = P_3(k-1)P_{34} + P_4(k-1)P_{44}; \end{cases} \quad (4)$$

Система уравнений 9 описывает процесс перехода внутри терминальных работ, перехода из одного состояния в другое в дискретное время.

Для описания переходов, при котором перевалочный терминал переходит из одного состояния в другое в случайное время, при-

меняется схема Марковского случайного процесса с непрерывным временем.

На рисунке 3 приводится граф состояний грузового терминала в процессе непрерывного времени.

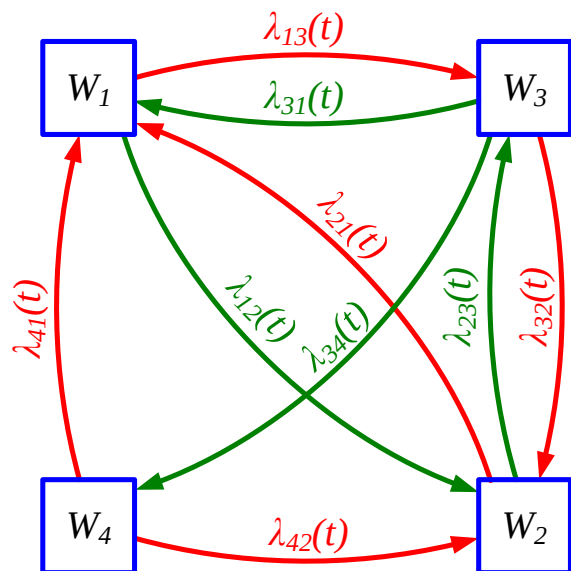


Рис. 3 – Граф состояний перевалочного грузового терминала для Марковской цепи в процессе непрерывного времени

Вероятность перехода перевалочного грузового терминала становится плотностью вероятности перехода. Плотностью вероятности перехода λ_{ij} называется предел отношения вероятности перехода за время Δt :

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}, \quad (5)$$

где $p_{ij}(\Delta t)$ – вероятность того, что перевалочный грузовой терминал, находится в момент t .

С использованием метода Колмогорова составлены системы дифференциальных уравнений определенного вида.

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{13}P_1(t) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t) + \lambda_{41}P_4(t) = \\ = -P_1(t) \cdot (\lambda_{12} + \lambda_{13}) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t) + \lambda_{41}P_4(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\lambda_{21}P_2(t) - \lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t) + \lambda_{32}P_3(t) + \lambda_{42}P_4(t) = \\ = -P_2(t) \cdot (\lambda_{21} + \lambda_{23}) + \lambda_{12}P_1(t) + \lambda_{32}P_3(t) + \lambda_{42}P_4(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\lambda_{31}P_3(t) - \lambda_{32}P_3(t) - \lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{13}P_1(t) + \lambda_{23}P_2(t) = \\ = -P_3(t) \cdot (\lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{34}) + \lambda_{13}P_1(t) + \lambda_{23}P_2(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -\lambda_{41}P_4(t) - \lambda_{42}P_4(t) + \lambda_{34}P_3(t) = \\ = -P_4(t) \cdot (\lambda_{41} + \lambda_{42}) + \lambda_{34}P_3(t). \end{cases} \quad (6)$$

Разработанная система дифференциальных уравнений описывает динамику вероятностей нахождения насыпных терминалов в одном из состояний.

Список литературы

1. Илесалиев Д.И. Влияние расположения проходов между стеллажами на показатели работы склада водного транспорта / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 6 (34). С. 52-59.

2. Илесалиев Д.И. Обоснование метода переработки тарно-штучных грузов на перевалочных складах в цепях поставок. Автореферат дис. ... кандидата технических наук / Петерб. гос. ун-т путей сообщ. Императора Александра I. Санкт-Петербург, 2016

3. Илесалиев Д.И. К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе / Д.И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 1. С. 99-106.

4. Илесалиев Д.И. Определение оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов / Д.И. Илесалиев // В сборнике: Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. Сборник трудов LXXV юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2015. С. 227-233.

5. Илесалиев Д.И. Использование различных схем расположения проходов склада тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XIV Международной научно-практической конференции. 2015. С. 174-176.

6. Ilesaliev D., Avaz M. Research package efficiency general cargo. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. T. 9. № 1. С. 6880-6884.

7. Илесалиев Д.И. Определение оптимальных значений параметров погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Известия Петербург-

ского университета путей сообщения. 2015. № 3 (44). С. 55-63.

8. Илесалиев Д.И. Увеличение массы партии грузов за счет рационального выбора транспортной тары / Д.И. Илесалиев // Известия Транссиба. 2018. № 2 (34). С. 21-29.

9. Pesaliev D.I., Abduvakhitov S.R., Ismatullaev A.F., Makhmatkulov S.G. Research of the main storage area of the container terminal. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. Т. 9. № 1. С. 4625-4630.

10. Илесалиев Д.И. Рекомендации по организации и управлению складом от А до Z / Д.И. Илесалиев // Логистика 2018. № 1 (134). С.18-20.

11. Илесалиев Д.И. Рациональное использование грузоподъемности и вместимости крытых вагонов при перевозке тарно-упаковочных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. № 2. С. 232-238.

УДК (UDC) 330.322.1

**РЕАЛИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ
ТРАНСПОРТУ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ КОНКУРЕНЦИИ****IMPLEMENTATION OF INVESTMENT PROJECTS OF RAILWAY TRANSPORT IN
THE CONDITIONS OF HIGH COMPETITION**

Рахимжонов Б.Р., Ходжаева Н.А.
Rakhimjonov B.R., Khodjayeva N.A.

Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)
Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы развития железнодорожного транспорта Республики Узбекистана, возможности реализации инвестиционных проектов по модернизации и техническому перевооружению, включая проекты по формированию новых транспортных коридоров. Проведен анализ реализованных инвестиционных проектов, в части электрификации железнодорожных участков, строительства новых железных дорог, а также модернизации железнодорожных подвижных составов и др.

Ключевые слова инвестиционная деятельность, инвестиционные проекты, железнодорожный транспорт, транспортные коридоры, перевозки, международное сотрудничество, электрификация, строительства, подвижной состав, валовый внутренний продукт.

Дата принятия к публикации: 10.06.2022
Дата публикации: 15.06.2022

Сведения об авторах:

Рахимжонов Б.Р. – стажер-исследователь Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: bek.mc@mail.ru.

Ходжаева Н.А. – PhD, доцент Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: enhodzhaeva@bk.ru

Abstract. The article discusses the prospects for the development of railway transport in the Republic of Uzbekistan, the possibilities of implementing investment projects for modernization and technical re-equipment, including projects for the construction of new transport corridors. An analysis of the implemented investment projects was carried out, in terms of electrification of the railway section, the construction of new railways and the modernization of railway rolling-stock, etc.

Keywords: investment activity, investment projects, railway transport, international transport corridors, transportation, international cooperation, electrification, construction, rolling stock, gross domestic product.

Date of acceptance for publication: 10.06.2022
Date of publication: 15.06.2022

Authors' information:

Rakhimjonov B.R. – researcher at Tashkent State Transport University, e-mail: bek.mc@mail.ru.

Khodjayeva N.A. – PhD, docent of Tashkent state transport university, e-mail: enhodzhaeva@bk.ru

Введение

Транспортная система является одним из важных факторов функционирования экономики страны, а также инфраструктурной базой ее устойчивого роста.

Подчеркивая актуальность и важность железнодорожной отрасли в процессе глобализации, Республика Узбекистан становится соединяющим звеном для перевозки различных грузов Центральной Азии, а также при-

оритетным направлением в части интеграции в международную транспортно-логистическую систему.

При этом, данное положение требует вести политику по развитию транспортную инфраструктуру страны, путем реализации масштабных инвестиционных проектов и поддержки со стороны государства.

Экономический рост стран Восточной, Южной и Юго-Восточной Азии увеличивает

товарооборот между западной и восточной, северной и южной частями Евразии.

Вследствие этого, перед странами Центральной Азии, в частности Республики Узбекистан обнаруживается целый ряд перспектив в плане модернизации и технического перевооружения железнодорожной отрасли. Успешно-реализованные инвестиционные проекты укрепляют авторитет Республики Узбекистан в регионе.

Статья включает в себе широко используемые методы изучения существующих научных исследований по управлению и развитию инвестиционной деятельности, сравнительное сопоставление тарифо-ценообразования, изучение статистических данных и экономическое сопоставление и анализ, логическое мышление, научная абстракция, группировка данных, анализ и синтез, индукция и дедукция.

1. Современное состояние инвестиционной деятельности

Экономика государства во многом зависит от развитости и успешной работы транспортной системы и в первую очередь железнодорожного, на долю которого приходится более 30 % грузооборота, выполняемого всеми видами транспорта в Республике Узбекистан. АО «Узбекистон темир йуллари» является перевозчиком железнодорожных грузов страны (далее – АО «УТЙ»).

В современном мире, при оценке состояние экономики, в частности транспортной системы традиционно используются методики оценки стратегического анализа, в т.ч. методы экспертной оценки.

Метод экспертных оценок универсален, пригоден для решения многих задач, но эффективен только в руках аналитика, который использует его грамотно и корректно [3].

Для определения удельного веса компании следует использовать его производственные либо финансовые показатели из отраслевой (корпоративной) отчетности.

Таким образом, формализованная процедура позволяет выполнить диагностику современного состояния территориального комплекса (отдельной компании) с получением соответствующей количественной

оценки. В свою очередь, наличие таких оценок обеспечивает возможность анализа потенциала комплекса (компаний) и выбор направлений развития.

Вышеуказанная процедура для определения и выбора проекта на железнодорожном транспорте не даст принять окончательных решений. Это связано с тем, что существуют кроме внутренних факторов внешние факторы, которые связаны с привлечением финансовых средств, т. е. инвестиционных средств для осуществления выбранного проекта [4]. В международной практике кредит на инвестирование в развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта колеблется в пределах 1-5 % годовых [2, 6].

Анализ методов оценки эффективности показывает, что наиболее часто используют показатель чистого дисконтированного дохода и внутреннюю ставку доходности. Вместе с тем, в ряде случаев применяется анализ экономических показателей проекта и расчет коэффициента эффективности инвестиций [2, 3, 4].

Однако на финансирование определенного проекта влияет финансовое состояние компании, которое зависит от финансово-экономических показателей. Следовательно, на основе сопоставления тенденций фактической динамики этих показателей с тенденцией, предполагаемой для нормативного закрепления в стратегическом плане, применяется оценка деловой активности компаний. Теоретическим фундаментом является «золотое правило экономики», которое сопоставляет следующие показатели: чистую прибыль, прибыль от продаж, выручку от реализации и себестоимость реализованной продукции (услуг), а также эффективность использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов [2, 5]. При повышении экономической эффективности интенсивному развитию комплекса (компаний) будет отвечать следующая упорядоченность показателей (нормативный ряд) темпов роста:

$$T_{ЧП} > T_{ПП} > T_{ВР} > T_{ДЗ} > T_{СС} > T_{ЗП},$$

в котором ТЧП, ТПП, ТВР, ТДЗ, ТСС, ТЗП – темпы роста чистой прибыли, прибыли от продаж, выручка от продаж, дебитор-

ская задолженность, полная себестоимость и фонд заработной платы соответственно.

Предположим, что нормативный ряд, отвечающий желаемому характеру интенсивного роста железнодорожного комплекса в интересах социально-экономического развития страны (региона), задан. Такое задание может быть осуществлено, например, путем конкретизации целевых показателей «Стратегии развития железнодорожного транспорта» [1, 4]. Одновременно будем считать, что зафиксированы и эмпирические ряды темпов роста для конкретных компаний, формирующих перспективный облик железнодорожного комплекса.

Важным элементом процесса повышения привлекательности инвестиционных проектов является своеобразное использование методики оценки эффективности инвестиционных проектов, планируемых к реализации железнодорожными предприятиями.

Исходя из этого, появляется необходимость увеличения привлекательности инвестиционных проектов для ликвидации «узких мест» в компании. Для этого необходимо в начале процедуры оценить деловой активностью компании, представленные в табл. 1.

Построенный нормативный ряд характеризует интенсивный рост железнодорожной отрасли. Однако, показатели компании растут медленнее, чем макроэкономические показатели страны, в частности ВВП страны (рис.1.). В анализируемом периоде имеет тенденция к снижению чистая прибыль, при этом остальные показатели повышаются.



Рис. 1. Динамика ВВП Республики Узбекистан и грузовых перевозок АО «УТЙ»

Данное положение требует от компании модернизировать деятельности в целом, т.е. повысить эффективность компании для увеличения ее пропускной способности и укреплять свою позицию в экономике Узбекистана. Данная ситуация требует от компании принять следующие меры по реализацию проектов инвестиционной деятельности, в частности по модернизацию и техническому перевооружению железнодорожных предприятий, которые должны обеспечить уверенного роста отрасли.

2. Закупка грузовых и пассажирских электровозов

Сегодня общий парк локомотивов составляет 394 локомотивов. Из них: 109 электровозов, 18 электросекции, 94 магистральных и 173 маневровых тепловозов. Накопленный моральный и физический износ заставляет снижать уровня износа парка локомотивов, в частности электровозов. В свою очередь, железнодорожная компания должна стремиться к мировым стандартам по обновлению соответствующего подвижного состава с более эффективными и экономичными.



Рис. 2. Уровень износа локомотивного парка АО «УТЙ»

Рис.2. показывает, что уровень износа локомотивов АО «УТЙ» снижается за счет мероприятий по обновлению локомотивного парка, т.е. в связи с реализацией мероприятий по снижению износа подвижного состава.

3. Приобретение высокоскоростных электропоездов

Целью данного проекта является запуск высокоскоростного сообщения между историческими и туристическими городами Республики Узбекистан. Данные мероприятия настоящее время развивают нового вида пассажирской перевозки, развитием туристического потенциала в стране и экономического роста региона.

В процессе реализации был модернизирован 344 км. пути и приобретены 6 новых подвижных составов «Тальго-250» из Испании. Подвижной состав оснащен с новыми достижениями в сфере высокоскоростного движения и является экономичным и энергосберегающим.

4. Электрификация железнодорожных участков

Целью электрификации железнодорожных участков является:

снижение расходов электроэнергии на тягу поездов;

повышение эффективности железнодорожных участков;

Рост цен энергоресурсов и накопленный износ заставляет принимать меры по электрификации железнодорожных путей. Кроме того, данные мероприятия связаны с растущим спросом железнодорожных перевозок. Последние годы электрифицированы и электрифицируются основные пути, которые связаны с международными транспортными коридорами. Тем самым электрификация создаст благоприятную атмосферу для развития экономики регионов (рис. 3.).



Рис. 3. Протяженность электрифицированных путей

5. Строительство новых железнодорожных линий

Основной целью данного проекта является, создания единой транспортной системы, которые будет ликвидировать таможенных платежей за транзит.

Сегодня стоимость транзита одного вагона составляет 350-400 долларов США. Поэтому именно ликвидация транзитных платежей способствуют погашению всех долгов, связанные с реализацией инвестиционных проектов. Реализация данных проектов приносят выгоду для компании в размере 1,54 млн. долл. США в день и 562,1 млн.долл. США в год. Кроме того, реализация данных проектов даст возможность:

сокращать пути следования по данному маршруту;

уменьшать общей рабочей времени;

снижать уровень износа подвижного состава;

создать новых транспортных коридоров;

развивать экономический потенциал регионов;

увеличить эффективность работы железнодорожной отрасли компании и т.д.

Необходимость рассмотренных выше проектов являются высоким для развития деятельности железнодорожного транспорта Узбекистана. Социально-политические требования и значимость данных проектов стоит выше, чем коммерческая эффективность от этих проектов [7-10].

Реализация проектов модернизации и технического перевооружения будут способствовать к росту показателей.

Другие проекты могут быть гораздо ниже по стоимости и быстро окупаемыми, но отсутствие единой транспортной системы как были, так и будут оставаться оторванными от других регионов.

Результаты показывает, что после реализации проектов модернизации и технического перевооружения финансовые состояние и показатели компании начинают расти. Динамика финансовых показателей представлена в табл. 2.

Таблица 2 показывает, что компания должна продолжать реализовывать инвестиционные проекты технического перевооруже-

ния. Кроме того, увеличение стоимости электроэнергии и топлива, запасных частей, эксплуатационных расходов приведет к принятию стратегически важных решений развития компании.

Необходимо отметить, что в данной ситуации, для принятия решения о способности реализации инвестиционных проектов, необходимо воспользоваться методологией стратегического менеджмента непараметрическим «критерием знаков» сравнения динамических рядов.

Так как каждый проект требует изучению с аспектами финансирования и эффективностей, для ответа на вопрос о способности реализации инвестиционных проектов развития применяем критерий Фишера [5]. Гипотезу о том, что эмпирическое развитие не хуже задаваемого сценарием следует принять с доверительной вероятностью P .

Результаты применения F -критерия Фишера показывают, что полученное эмпирическое значение превышает критического ($3,33 > 2,60$), что данная ситуация характеризует инвестиционный потенциал компании и привлекательности применяемых инвестиционных проектов в целом.

Проведенные процедуры определения, оценка и осуществления привлекательности инвестиционных проектов железнодорожной компании решает ряд препятствий для принятия решений и позволяет привлечь иностранных инвестиций без риска и с высокими гарантиями его экономического, политического и социального эффекта для сторон.

Исходя из вышеизложенного, для принятия окончательного решения целесообразно проведение экспертизы проектов. Процедуры экспертизы должны предполагать оценку профессионализма руководителя и его команды, аудит инвестиционного потенциала предприятия и конкурентоспособности его продукции, проверку качества подготовки документов и достоверности расчетов по оценке эффективности и риска. В нашем случае общая реализация проекта требует много денежных средств и государственную поддержку.

Реализация мероприятий по модернизацию и техническому перевооружению пока-

зали, что в результате реализации растет объем работы по основной деятельности компании, увеличивается пропускная способность, растут соответственно финансовые показатели компании и экономика страны в целом. Кроме того, динамика роста компании начинает опережать макроэкономических показателей страны, которые показаны в рис.4.

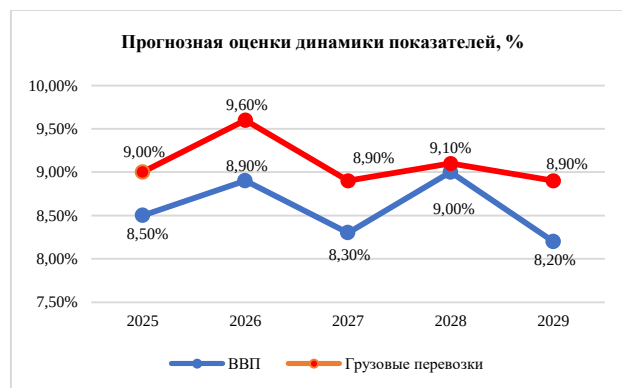


Рис. 4. Динамика ВВП и грузооборота после реализации инвестиционных проектов

Заключение

Таким образом, оценка инвестиционного потенциала и инвестиционной активности предприятий и привлекательности инвестиционных проектов обеспечивает коммерческого успеха. Применение вышеуказанных мероприятий показала вероятность коммерческого успеха компании. Для успеха можно использовать статистические данные и экспертный опрос. По мере накопления сведений об инвестиционных проектах информационная база экспертизы будет расширяться, а, значит, и возрастет точность такой оценки.

Применение вышеуказанных мероприятий показала вероятность коммерческого успеха компании. Для успеха можно использовать статистические данные и экспертный опрос. По мере накопления сведений об инвестиционных проектах информационная база экспертизы будет расширяться, а, значит, и возрастет точность такой оценки.

Построенный таким образом оценки привлекательности инвестиционных проектов прост, и его удобно применять для быстрой приближенной оценки. Предложенная в исследовании совокупность формализованных

инструментов, позволяющих учесть динамику и взаимовлияние объективных факторов развития. Данные положения будут способствовать повышению качества планирован-

ных документов и рациональному использованию финансовых ресурсов железнодорожной компании Узбекистана.

Таблица 1. Динамика основных показателей деятельности АО «УТЙ»*

Года	Чистая прибыль		Прибыль от продаж		Выручка от продаж		Дебиторская задолженность		Себестоимость		ФОТ
2016	5,93%	<	8,63%	<	15,49%	>	6,94%	<	18,16%	<	25,09%
2017	91,86%	<	124,14%	>	54,09%	<	212,26%	>	28,96%	>	19,91%
2018	-12,70%	<	12,17%	<	39,90%	>	-34,18%	<	57,19%	>	44,41%
2019	-58,52%	<	27,14%	>	12,19%	<	65,06%	>	5,54%	<	35,02%
2020	-89,43%	<	20,02%	<	14,09%	<	60,39%	>	10,91%	<	15,71%

* Примечание: составлено автором по данным бухгалтерской отчетности АО «УТЙ».

Таблица 2. Прогноз динамики роста основных финансовых показателей

Года	Чистая прибыль		Прибыль от продаж		Выручка от продаж		Дебиторская задолженность		Себестоимость		ФОТ
2025	22,00%	>	21,90%	>	20,80%	>	15,56%	>	13,20%	>	12,60%
2026	21,50%	<	22,21%	>	19,70%	>	14,80%	>	14,61%	>	14,50%
2027	24,00%	>	23,70%	<	24,60%	>	16,44%	>	13,70%	<	15,00%
2028	23,31%	>	22,60%	>	22,44%	>	15,80%	>	15,60%	>	13,50%
2029	18,90%	<	24,25%	>	23,80%	>	17,25%	>	16,40%	>	14,80%

Список литературы

1. Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» №УП-60 от 28.01.2022 г.

2. Ковалев В.В. Финансовый менеджмент: теория и практика / В.В. Ковалев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. – 1024 с.

3. Мардас А.Н. Курс лекций по стратегическому менеджменту / А.Н. Мардас, О.А. Гуляева. – СПб: ПГУПС, 2007. – 246 с.

4. Мардас А.Н., Гуляева О.А., Румянцев Н.К. / Формальные методы стратегического планирования развития железнодорожного транспорта // Известия ПГУПС. Вып. 4, 2012, С 206-213.

5. Мардас А.Н., Кадиев И.Г., Гуляева О.А. Методы стратегического анализа в управлении инвестиционно-инновационной деятельностью в региональных хозяйственных комплексах. Монография. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, 140 с.

6. Силаев Н.И. Финансовый менеджмент железнодорожного транспорта: учебник для вузов // Н.И. Силаева. – Ташкент: ТашИИТ, 2006. – 300 с.

7. Ибрагимов У.Н., Ибрагимова Д.Т. Взаимосвязанность Центральной и Южной Азии – новый тренд экономического развития Евразии // «Транспорт Шёлкового Пути» №2, 2021, 5-11 С.

8. Тураева А.И. Инвестиции в развитие национальной экономики Республики Узбекистан // Научно-электронный журнал «Экономика и инновационные технологии». №5, 2021, С 107-113.

9. Азизова С.Х. Основы инвестиционной деятельности в Республике Узбекистан // «Экономика и финансы» №3, 2016. С 32-41.

10. Махмудов Н.М. Авазов Н.Р. «Анализ факторов, влияющих на государственный инвестиционный климат» // «Инновация в экономике», № 7, 2019. С 4-10.



НАУЧНЫЙ
ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
«Транспорт шёлкового пути»
"Silk Road Transport"

Учредитель и издатель:

Негосударственная Некоммерческая организация
«Научно-исследовательский информатизационный центр»

Адрес учредителя:

100006, г. Ташкент,
проспект Амира Темура, 4
(+998 71)-238-82-75
(+998 90) 925-87-08

Дата размещения сетевого издания в сети Интернет
на официальном сайте <http://srt.aitm.uz/> 25.06.2022