

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 2 (16)

июнь 2015

Ученые УрГУПС провели испытания системы мониторинга пассажиропотока в электропоезде «Ласточка»

С. 16



Е. Н. Розенберг
о международном научно-техническом сотрудничестве в области железнодорожного транспорта

С. 3

Развитие железнодорожной инфраструктуры Транссиба и БАМа

Разработка технологии обеспыливания карьерных автодорог

Основы проектирования подвески гоночного болида

Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 2 (16), 2015 г.

Издается с ноября 2011 г.

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

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

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

Редактирование и корректура — Елена Владимировна Чагина

Верстка и дизайн — Андрей Викторович Трубин

Адрес редакции: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, каб. Б2-79. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.

Веб-сайт: www.usurt.ru, e-mail: innotrans@mail.ru

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

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге «Роспечать» — 85022.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета в типографии АМБ. 620026, г. Екатеринбург, ул. Розы Люксембург, 59.

Тел.: (343) 251-65-91, 251-65-95.

Подписано в печать 10.06.2015. Печать офсетная.

Тираж 1000 экз. Заказ № 0828

© ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», 2015

© Общероссийская общественная организация «Российская академия транспорта», 2015

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Александр Геннадьевич Галкин, доктор технических наук, профессор, главный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, ректор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург (Россия).

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

Денис Викторович Ломотко, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, Харьков (Украина).

Арсен Закирович Акашев, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленный транспорт» Карагандинского государственного технического университета, Караганда (Казахстан).

Мargarita Булатовна Имандосова, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной и научной работе Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алма-Ата (Казахстан).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Дмитрий Германович Неволин, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, научный редактор журнала «Инновационный транспорт», заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург (Россия).

Сергей Валентинович Бушуев, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и международным связям Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург (Россия).

Петр Алексеевич Козлов, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, директор научно-производственного холдинга «Стратег», Москва (Россия).

Валерий Михайлович Самуйлов, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург (Россия).

Валерий Васильевич Харин, кандидат технических наук, действительный член РАТ, заместитель директора по научной работе и инновационному развитию Курганского института железнодорожного транспорта (КИЖТ УрГУПС), Курган (Россия).

Дмитрий Николаевич Парышев, действительный член РАТ, генеральный директор ЗАО «Курганстальмост», Курган (Россия)

Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 2 (16), 2015

Published since November 2011

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

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

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

Editing and proofreading — Elena V. Chagina

Layout and design — Andrey V. Trubin

Address of the editorial office: Office B2-79, 66 Kolmogorova Str., Ekaterinburg, 620034. Telephone: (343) 221-24-42, 221-24-90.

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

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

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue "Rospechat" — 85022.

Released for printing on 10.06.2015. Offset printing.

Circulation 1000 copies. Order No. 0828.

© FGBOU VPO Ural State University of Railway Transport, 2015

© All-Russian Public Organisation "Russian Academy of Transport", 2015

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

Denis V. Lomotko, DSc in Engineering, Professor, Vice Rector of Research, the Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov (Ukraine).

Arsen Z. Akashev, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Industrial Transport Chair, Karaganda State Technical University, Karaganda (Kazakhstan).

Margarita B. Imandosova, DSc in Engineering, Professor, Vice Rector for Educational and Scientific Work, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Alma-Ata (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

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

Sergey V. Bushuev, PhD in Engineering, Associate Professor, Vice Rector of Research and International Affairs, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

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

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

Valery V. Kharin, PhD in Engineering, full member of RAT, Deputy Director for Scientific Work and Innovative Development, Kurgan Institute of Railway Transport (KIRT of USURT), Kurgan (Russia).

Dmitry N. Paryshev, full member of RAT, General Director of Kurganstalmost CJSC, Kurgan (Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

Организация производства (транспорт)

Розенберг Е.Н.

Международное научно-техническое сотрудничество
в области железнодорожного транспорта 3

Титов С.С., Филиппова Е.Г.

О задаче помехоустойчивого кодирования сигнала
в беспроводных технологиях на транспорте 8

Аккерман Г.Л., Аккерман С.Г.

Грани проекта 12

Брусянин Д.А.

Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока
в электропоезде «Ласточка» 16

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

Брусянин Д.А., Вихарев С.В.

Формирование оптимальной маршрутной сети
Арамилско-Сысертского направления
Екатеринбургской агломерации 22

Неволина А.Д., Самуйлов В.М.

Развитие и модернизация железнодорожной
инфраструктуры Транссиба и БАМа 27

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Ковалев А.А., Выборский М.А.

Определение правильности срабатывания
дистанционной защиты 31

Владыкин А.В., Фролов Н.О.

К вопросу о математическом моделировании влияния
импульсного инвертора на процессы боксования колесной
пары в предельных условиях эксплуатации 36

Колясов К.М., Лапшин В.Ф.

Влияние профиля обшивки на допускаемое количество
циклов нагружения полувагона накладной вибромашинной 38

Управление процессами перевозок

Плахотич С.А., Плахотич И.С.

О внесении поправок в законодательство железнодорож-
ного транспорта в связи с функционированием владель-
цев (операторов) подвижного состава и контейнеров 42

Сурин А.В.

Автоматизация расчета оперативного сменно-суточного
плана поездообразования и поездной работы железной
дороги при сквозной технологии планирования 49

Эксплуатация автомобильного транспорта

Матушкин А.С., Неволин Д.Г.

Коррекция навигационных данных транспортного средства 53

Неволин Д.Г., Новоселов В.Л.

Математическое моделирование динамического процесса
в тормозном приводе полуприцепа 57

Смердов М.Н., Селиванова Е.О.

Отечественный опыт экспериментальных исследований
долговечности железобетонных элементов, усиленных
полимерными композиционными материалами 60

Кошкарров В.Е., Неволин Д.Г., Кошкарров Вас.Е.

Разработка технологии обеспыливания карьерных
автодорог на основе битумно-полимерных материалов 64

Домашов Н.М., Сикорский Е.С.

Основы проектирования подвески гоночного болида 72

CONTENTS

The organization of production (transport)

Yefim N. Rozenberg

International scientific and technical cooperation
in railway transport industry 3

Sergey S. Titov, Yelena G. Filippova

The problem of error-correcting signal coding in wireless
technologies in transport industry 8

Gennady L. Akkerman, Sergey G. Akkerman

Facets of the project 12

Dmitry A. Brusyanin

Intelligent system of passenger flow monitoring
in electric train "Lastochka" ("Swallow") 16

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

Dmitry A. Brusyanin, Sergey V. Vikharev

Development of the optimal route network
of Aramil-Sysert sector
of Ekaterinburg agglomeration 22

Anastasiya D. Nevolina, Valeriy M. Samuylov

Development and modernization of the railway infrastructure
of Trans-Siberian Mainline and the BAM 27

Rolling stock, hauling operation and electrification

Aleksey A. Kovalev, Maksim A. Vyborgsky

Determining accuracy
of distance protection operation 31

Aleksey V. Vladykin, Nikolay O. Frolov

The issue of mathematical modeling of the impact
of pulse inverter on wheelset spinning processes
in extreme operating conditions 36

Konstantin M. Kolyasov, Vasily F. Lapshin

Impact of lining profile on the number of allowable load cycles
of gondola car when vibration machine is used 38

Management of transportation processes

Sergey A. Plakhotich, Irina S. Plakhotich

Amendments to railway transport legislation
with respect to functioning of owners (operators)
of rolling stock and containers 42

Aleksandr V. Surin

Automated calculation of operational shift-day train formation
and train operation plan of a railway in the context
of end-to-end planning technology 49

Operation of motor transport

Anton S. Matushkin, Dmitry G. Nevolin

Correction of vehicle navigation data 53

Dmitry G. Nevolin, Vladimir L. Novosyolov

Mathematical modeling of dynamic processes
in brake actuator of a semi-trailer 57

Mikhail N. Smerdov, Yekaterina O. Selivanova

National experience of experimental research
of durability of concrete elements reinforced
by polymer composites 60

Vladimir Y. Koshkarov, Dmitry G. Nevolin, Vasily Y. Koshkarov

Development of dust control technology for pit roads based
on bitumen-polymer materials 64

Nikita M. Domashov, Yevgeny S. Sikorsky

Race car suspension design basics 72



Ефим Наумович
Розенберг

Yefim N. Rozenberg

Международное научно-техническое сотрудничество в области железнодорожного транспорта

International scientific and technical cooperation in railway transport industry

Аннотация

Статья посвящена обзору международного сотрудничества Российской академии транспорта и ОАО «РЖД» в 2014 году. Основные направления сотрудничества охватывают развитие проектов высокоскоростного движения, геоинформационных технологий и безопасности движения подвижного состава.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, международное сотрудничество, высокоскоростное движение, геоинформационные технологии, безопасность движения.

Summary

The article is focused on the review of international scientific and technical cooperation of the Russian Academy of Transport and JSC Russian Railways in 2014. Key areas of cooperation include the development of high-speed train projects, geo-information technologies and rolling stock operation safety.

Keywords: railway transport, international cooperation, high-speed operation, geo-information technologies, operation safety.

Авторы Authors

Ефим Наумович Розенберг, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ, первый заместитель генерального директора ОАО «НИИАС», Москва

Yefim Naumovich Rozenberg, DSc in Engineering, Professor, full member of the RAT, first Deputy General Director of NIIAS LLC, Moscow

Структурная реформа железнодорожного транспорта призвана существенно повысить конкурентоспособность России на рынках международных перевозок за счет сокращения времени перевозок, повышения безопасности движения и грузов, снижения себестоимости перевозок. Достичь этого можно, лишь применяя инновационные методы, выводя на линию качественно новый подвижной состав, улучшая инфраструктуру транспорта.

Железнодорожный транспорт общего пользования остается ведущим звеном транспортной системы России. В долгосрочной перспективе железнодорожные перевозки останутся самым экономически эффективным способом транспортировки значительных по объемам, стабильных потоков массовых грузов, доставляемых на средние и дальние расстояния.

Российские железные дороги сегодня находятся на новой стадии технико-экономического развития и в своей деятельности используют результаты научного прогресса в экономике, технике и технологиях.

В последние годы подавляющая часть прироста объемов перевозок на железнодорожном транспорте получена за счет применения современных и перспективных научных разработок, воплощенных в технологиях, услугах, оборудовании, автоматизированных системах управления и организации перевозочного процесса.

В этой обстановке чрезвычайно важным является повышение транспортной привлекательности железнодорожного транспорта, включающей не только безопасное перемещение грузов, но и предоставление клиенту полной и исчерпывающей информации о движении поездов, местонахождении грузов. Не последнюю роль в этом играют информационно-управляющие технологии, обеспечивающие целый комплекс сведений для выработки правильных решений при управлении движением, для оптимального расчета графиков движения, снижения производственных затрат.

Это возможно только на основе инновационного прорыва, поскольку организационные рычаги повышения эффективности в условиях действующих механизмов государственного регулирования в значительной степени ограничены. Точки такого инновационного роста создаются именно на основе научных исследований.

В области железнодорожного транспорта в последние годы велось активное научно-техническое сотрудничество с целым рядом международных организаций, зарубежных компаний и научно-исследовательских учреждений. Особенно интенсивным было сотрудничество в таких областях, как стандартизация железно-

рожной техники, создание инновационного подвижного состава и систем управления и обеспечения безопасности движения поездов, разработка вопросов информационной безопасности и кибербезопасности, информационной защиты юридически значимого документооборота, внедрения систем спутниковой навигации, мониторинг инфраструктуры и подвижного состава и т. д.

Так, в области стандартизации активно велось сотрудничество по линии ОПЖТ и европейской организации производителей железнодорожной техники UNIFE (ЮНИФЭ), в том числе в таких областях, как:

- обмен опытом и внедрение стандарта IRIS;
- вопросы унификации подходов к управлению рисками на ж.-д. транспорте (УРПАН, RAMS, жизненный цикл);
- разработка нормативной базы и комплексных решений для парирования киберугроз. Так, в 2012 году в рамках международной выставки «Инно-транс» в Берлине была проведена конференция, посвященная вопросам кибербезопасности на ж.-д. транспорте, в которой приняли участие практически все ведущие европейские производители систем управления и обеспечения безопасности движения поездов, в том числе компании «Ансальдо», «Альстом», «Бомбардье», «Инвенсис», «Сименс», «Талес» и др.

Кроме того, в рамках сотрудничества между национальным органом по стандартизации Российской Федерации (Росстандартом) и европейскими органами по стандартизации CEN/CENELEC проводилась совместная работа по гармонизации стандартов с решением следующих задач:

- установление равноправных основ сотрудничества Росстандарта и CEN/CENELEC;
- применение при принятии европейских стандартов положений Соглашения ВТО по техническим барьерам в торговле, позволяющих вносить, при необходимости, изменения в применяемые международные и региональные (европейские) стандарты;
- обеспечение участия российских представителей в разработке европейских стандартов.

Вопросы гармонизации стандартов и унификации подходов к сертификации в области безопасности систем управления железнодорожным транспортом также прорабатываются совместно с ведущими европейскими научно-исследовательскими учреждениями (например, с Брауншвейгским университетом) и независимыми сертификационными органами типа TUV, Italcertifer и т. д.

Работа по унификации подходов к управлению рисками и требованиям безопасности (УРПАН, RAMS, жизненный цикл) ведется и с железнодорожными операторами ведущих европейских стран, например SNCF («ЭСЭНСЭФ», Франция), DB («Дойче Бан», Германия).

В рабочих группах международных транспортных организаций, таких как МСЖД, ОСЖД, ЕЭК и ЭСКАТО

ООН, активно обсуждаются вопросы информационной защиты юридически значимого документооборота, которые прорабатываются в рамках проектов Евросоюза по созданию единого евразийского информационного пространства, например PEPPOL (Pan-European Public Procurement Online).

Вопросы кибербезопасности и информационной защиты также решаются в рамках МСЖД и специализированной организации COLPOFER, занимающейся комплексным решением вопросов безопасности на железнодорожном транспорте в составе МСЖД. В настоящий момент в Брюсселе проходит очередное заседание данной организации под председательством ОАО «РЖД», посвященное разработке основополагающего документа «Основные положения защиты информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта от компьютерных атак».

Разностороннее сотрудничество ведется в рамках Международного союза железных дорог (МСЖД):

- сотрудничество по линии ОСЖД и МСЖД по унификации требований к инфраструктуре и подвижному составу в целях обеспечения интероперабельности;
- разработка памяток и нормативных документов, регулирующих перевозочный процесс;
- разработка требований к управлению рисками и нормам безопасности на железнодорожном транспорте;
- разработка требований и решений в области информационной безопасности (проекты PROTECTRAIL, MODSAFE, SECRET и т. д.; 2 апреля в Париже состоялось заседание Консультационного совета проекта SECRET, в котором активное участие принял и представитель ОАО «РЖД»);
- разработка решений в области мониторинга опасных грузов;
- сотрудничество в области сертификации системы управления движением поездов типа ERTMS, уровень 3, на базе комплексных систем ГНСС и связи.

По линии взаимодействия с отдельными зарубежными компаниями до настоящего времени велось тесное сотрудничество с рядом зарубежных компаний, например с организациями, входящими в итальянскую корпорацию «Финмекканика», а именно:

- с компанией «Ансальдо» по созданию системы ITARUS-ATC, расширяющей функциональные возможности системы ERTMS, уровень 2 и создающей возможности по разработке отечественной системы радиоблокировки для создания системы интервального регулирования нового поколения;
- с компанией «Селекс» по созданию интегрированной системы передачи ответственных данных для управления движением поездов на базе УКВ-каналов, DMR и TETRA, в том числе с использованием протокола Euroradio, что может быть альтернативой каналу GSM-R;

- с ведущими европейскими компаниями («Ансальдо», «Телеспацио» и т. д.) по разработке комплексной системы управления движением поездов на базе применения ГНСС и интегрированных систем связи. Так, в рамках программы Европейского космического агентства (программа «ARTES 20»), с участием и под эгидой МСЖД и Европейского агентства в области ГНСС (GSA), с целью последующей стандартизации на европейском уровне, ведется проект 3InSat, в котором прорабатываются требования, архитектура системы, а также запланированы испытания опытного образца системы на полигонах разных стран — Италии, Австралии;

- совместно с компанией «И-ДЖЕОС» («Телеспацио») ведется разработка комплексных решений в области мониторинга железнодорожного полотна с применением современных технологий в области дистанционного спутникового зондирования.

ОАО «РЖД» совместно с «Сименс АГ» реализует проект строительства инновационной системы MSR32 для новой сортировочной горки станции Лужская-Сортировочная Октябрьской железной дороги. Строящаяся система будет обеспечивать переработку транспортных потоков Усть-Лужского железнодорожного узла, обеспечивая эффективную работу припортового комплекса. Система MSR32 внедряется совместно с новейшими российскими разработками в области станционной автоматики и геоинформационных технологий, обеспечивая интеграцию самых передовых отечественных и мировых достижений как в части технического оснащения и автоматизации, так и в части организации технологических процессов работы станции, технического обслуживания устройств инфраструктуры, обеспечения современным транспортом, инструментом, средствами измерения.

Ввиду изменяющихся геополитических реалий современного мира и актуальных задач транспорта РФ нам необходимо активно изыскивать ресурсы плодотворного международного научно-технического сотрудничества с неангажированными зарубежными учеными и организациями.

Накопленный на данный момент в рамках ОАО «РЖД» и ОАО «НИИАС» опыт взаимодействия с зарубежными академическими и отраслевыми институтами и независимыми учеными позволяет рассчитывать на полноценное сотрудничество в области железнодорожного транспорта с привлечением ученых Российской академии транспорта.

В развитых железнодорожных странах мира, а к ним в полной мере относится и Россия, наряду с высокоскоростным движением активно развивается интеллектуальный подвижной состав, позволяющий поднимать на должную высоту обеспечение безопасности движения, управляемость вагонопотоками, сохранность грузов и жизни пассажиров. К этому есть и объективные, и чисто субъективные причины.

Разработка новых технологических платформ транспорта, миниатюризация микропроцессорной техники, использование нанотехнологий во многих производствах, совершенствование широкополосных систем передачи данных позволяют внедрять элементы искусственного интеллекта на подвижном составе. А все это создает предпосылки к появлению интеллектуального транспорта.

Три года назад началось создание в ОАО «РЖД» интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) с целью перейти от автоматизации отдельных технологических или управленческих операций к созданию комплексной системы, позволяющей управлять производственными процессами в реальном масштабе времени, осуществлять комплексное планирование и текущее регулирование деятельности железнодорожной отрасли. ИСУЖТ, как информационно-управляющая система, создается на принципах системной интеграции современных информационных и телекоммуникационных технологий, методологии искусственного интеллекта и экспертных систем, инновационных разработок в моделировании и регулировании транспортных систем.

Внедрен комплекс задач по интеллектуальному управлению поездной работой. Подтверждена возможность автоматического решения конфликтных ситуаций, разработан набор функциональных решений, являющихся составной частью многоуровневой архитектуры ИСУЖТ. Реализованная возможность подвзки подходов поездов на нитки графика, а в случае их отсутствия — прокладка новых ниток, создает возможность организации сквозного согласованного пропуска поездов по расписанию по смежным диспетчерским участкам в соответствии с расписанием. Подтвержденная возможность автоматического построения диспетчерских расписаний с реализацией приоритетов поездов и учета интересов всех участников перевозочного процесса позволяет реализовывать современные логистические продукты.

Важным фактором интенсификации этих работ в структуре ОАО «РЖД» может стать активизация взаимодействия с комплексом мероприятий по созданию интеллектуальной транспортной системы (ИТС) России, проводимых под эгидой Минтранса России и Комитета по транспорту Государственной Думы Федерального Собрания РФ.

Важнейшим результатом реализации пилотного проекта стало создание инновационной технологии производства ремонта и реконструкции железнодорожного пути с использованием координатных методов на основе спутниковых технологий ГЛОНАСС/GPS и комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Применение данной технологии позволяет обеспечить значительную экономию средств на содержание пути за счет повышения качества работ, существенное повышение эффективности контроля геометрических параметров пути на всех этапах жизненного цикла, оптимизацию использования путевых машин, сокращение издержек при проведении изысканий и строительстве, в особенности на полигонах скоростного и высокоскоростного движения.

Российские железные дороги на примере комплекса управления движением поездов на Олимпийских играх «Сочи-2014» показали всему миру пути реализации направления «высокая скорость», ориентированного на разработку гармонизационных нормативов оценки состояния инфраструктуры, отработку конструкций подвижного состава и пути с учетом показателей их взаимодействия, а также решение экологических вопросов.

Комплекс управления движением «Сочи-2014» — это автоматизация процесса диспетчерского управления движением поездов с использованием интеллектуальных технологий на объектах железнодорожного транспорта, требующих особых режимов обеспечения надежности и безопасности. В числе целей его создания — выполнение плановых графиков движения поездов, повышение оперативности и качества диспетчерского управления, повышение эффективности управления путем сокращения времени устранения конфликтных ситуаций, улучшение условий труда диспетчерского персонала. Для реализации сложнейшего проекта транспортной системы для Олимпийских объектов был широко использован опыт международного сотрудничества. Для работ привлекались зарубежные эксперты, в подвижной состав, построенный компанией «Сименс», встраивались российские бортовые комплексы обеспечения безопасности, не имеющие аналогов в мире.

Адаптивная система, обеспечивающая контроль за параметрами движения, встроена в локомотивное устройство «БЛОК». В ней есть элементы искусственного интеллекта, и мы работаем по дальнейшему расширению ее функций, закладываем более сложные математические алгоритмы, которые существенно расширяют количество параметров, которые контролируются техникой в автоматическом режиме. В систему «Автодиспетчер» мы попытались встроить порт информационной системы, которая бы в штатном режиме управляла движением поездов, исходя из конкретной обстановки.

Достаточно сложным является комплекс систем, позволяющих максимально увеличить эффективность

функционирования инфраструктуры и технических средств, при котором все технические, технологические и организационные процессы реализуются при минимальном участии человека.

В целом новое направление является направлением развития интеллектуального железнодорожного транспорта, что согласуется с программой Международного союза железных дорог (МСЖД), предусматривающей комплекс мер по развитию интеллектуальных железных дорог.

На наш взгляд, данная система действительно обеспечивает возможность формирования интеллектуального функционирования, в процессе которого появляются новые знания об объекте управления, совершенствуются механизмы машинного принятия решений,

осуществляется взаимное обучение операторских и машинных звеньев системы. Такая система является технико-технологической оболочкой, наполнение которой интеллектуальными технологиями превратит ее из информационной в интеллектуальную. Как пример подобных разработок можно привести системы автоматизации сортировочной работы.

Развитие ИТС позволяет выйти на качественно новый уровень создания систем с высокой надежностью и эффективностью функционирования, обеспечить приведение уровня качества транспортных услуг и безопасности перевозок на железных дорогах России и на пространстве 1520 в соответствии с требованиями населения и экономики, а также лучшими мировыми стандартами. **ИТ**



Сергей Сергеевич
Титов

Sergey S. Titov



Елена Геннадьевна
Филиппова

Yelena G. Filippova

О задаче помехоустойчивого кодирования сигнала в беспроводных технологиях на транспорте

The problem of error-correcting signal coding in wireless technologies in transport industry

Аннотация

Код Рида — Маллера, широко используемый в помехоустойчивом кодировании сигналов, в том числе и в беспроводных технологиях, имеет параметры, которые не до конца изучены. Одним из таких параметров является радиус покрытия кода Рида — Маллера. В данной статье рассматривается задача поиска радиуса покрытия с привлечением теории матроидов. Выдвигается, а затем проверяется гипотеза о существовании жадного алгоритма построения максимально нелинейной функции, который выбирает кратчайшее расстояние до слов кода $RM(1, m)$.

Ключевые слова: канал связи, кодирование, код Рида — Маллера, нелинейность, максимально нелинейные функции, радиус покрытия, жадный алгоритм, матроид.

Summary

Certain parameters of the Reed-Muller code, which is widely used in error-correcting signal coding, including in wireless technology, are yet not fully understood. One such parameter is the coverage radius of the Reed-Muller code. The article studies the problem of determining coverage radius using the matroids theory. The hypothesis of the existence of a greedy algorithm for constructing the maximal non-linear function that selects the shortest distance to code words $RM(1, m)$ is proposed and tested.

Keywords: communication channel, coding, Reed-Muller code, non-linearity, maximal non-linear functions, covering radius, greedy algorithm, matroid.

Авторы Authors

Сергей Сергеевич Титов, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: sergey.titov@usaaa.ru | Елена Геннадьевна Филиппова, старший преподаватель кафедры «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: FilippovaE1980@mail.ru

Sergey Sergeevich Titov, DSc in Physico-Mathematical Science, Professor, "Higher and Applied Mathematics' Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: sergey.titov@usaaa.ru | Yelena Gennadyevna Filippova, Senior Lecturer, "Higher and Applied Mathematics' Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: FilippovaE1980@mail.ru

Передачей данных принято называть область электросвязи, обеспечивающую передачу информации между ЭВМ или между ЭВМ и удаленными абонентскими устройствами. На железнодорожном транспорте для получения информации, требующей обработки (например, различных учетно-отчетных и статистических данных, необходимых для планирования, контроля, оценки эффективности работы дорог и оперативного управления перевозочным процессом), используются средства передачи данных [6, 7]. Задача помехоустойчивого кодирования имеет широкое практическое применение в повседневной жизни, в организационных и технических системах, в первую очередь в системах связи, где надежность является одним из приоритетных свойств. Помехоустойчивое кодирование сигнала с использованием кода Рида — Маллера позволяет принимать информацию с высокой степенью достоверности в тяжелой помеховой обстановке на предельных дальностях связи. Проиллюстрируем на следующих примерах.

В 1969 году при помощи искусственных спутников Mariner-6 и Mariner-7 было получено около 200 фотографий Марса, каждая из которых состояла из 658 240 восьмибитных пикселей, что требовало около 5 миллионов бит информации для каждой фотографии. Все эти биты были кодированы кодом Рида — Маллера, исправляющим ошибки, и переданы со скоростью 16200 бит в секунду на Землю, где были успешно декодированы.

В устройствах связи ОАО «РЖД» основной системой технологической радиосвязи на участках высокоскоростного и скоростного движения, а также на основных транспортных магистралях является система GSM-R. При организации транспортного производства используются более двух десятков видов связи, активно внедряются беспроводные технологии [7]. Беспроводная радиостанция «Гранит 2Р-24», обеспечивающая создание полнофункциональной радионавигационной системы с автоматическим определением местонахождения транспортного средства, кодирует сигнал кодом Рида — Маллера. Данный вид кодов используется также в схемах разделения секрета [8]. В работе будет рассмотрен код Рида — Маллера $RM(1, m)$ и один из основных его параметров — радиус покрытия.

Мера нелинейности является важной характеристикой булевой функции. Линейность и близкие к ней свойства часто свидетельствуют о простой (в определенном смысле) структуре этой функции и, как правило, представляют собой богатый источник информации о многих других ее свойствах. Задача построения булевых функций, обладающих нелинейными свойствами, естественным образом возникает во многих областях дискретной математики. И часто (что является типичной ситуацией в математике) наибольший интерес вызывают те функции, для которых эти свойства экстремальны. Такие булевы функции называются максимально нелинейными.

Нелинейность ($N(f)$) — один из важнейших параметров криптографических функций, численно выражающий расстояние (в метрике Хэмминга) от данной функции до множества аффинных функций. С точки зрения теории кодирования максимум значения $N_k(f)$ равен радиусу покрытия $R(m)$ для кодов Рида — Маллера $RM(k, m)$ [2]. Если m — четное, то $N_{\max}(m) = R(m) = 2^{m-1} - 2^{\frac{m-1}{2}}$. Результаты оценок значений $R(m)$ для нечетных m получены в теории кодирования и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Оценки значений $R(m)$ при нечетных m

m	оценки значения $R(m)$
3, 5, 7	$R(m) = 2^{m-1} - 2^{\frac{m-1}{2}}$
9, 11, 13	$2^{m-1} - 2^{\frac{m-1}{2}} \leq R(m) \leq 2^{m-1} - 2^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor - 1}$
нечетное ≥ 15	$2^{m-1} - 2^{\frac{m-1}{2}} < R(m) \leq 2^{m-1} - 2^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor - 1}$

К сожалению, в настоящее время величина радиуса покрытия кода Рида — Маллера для произвольного m неизвестна. Это классическая задача, она считается сложной.

Код $RM(1, m)$, состоящий из векторов длины 2^m над конечным полем $GF(2)$, соответствующих значениям истинности линейных (аффинных) функций $f(x_1, \dots, x_m) = f_0 \oplus f_1 x_1 \oplus \dots \oplus f_m x_m$ от m булевых переменных x_1, \dots, x_m , определяет однородный матроид M мощности 2^m [1], циклы G_f которого имеют мощность $n = 2^{m-1}$ и задаются характеристическими функциями $f \neq \text{const}$ так, что семейство C его циклов есть $C = \{C_f : C_f = \{x \mid x = (x_1, \dots, x_m), x_i \in GF(2), (i = 1, \dots, m), f(x_1, \dots, x_m) = 1\}, f \neq \text{const}\}$. Для любого подмножества $X \subset M$ расстояние r_X его характеристической функции до кода Рида — Маллера равно $r_X = \min\{|X|, 2^m - |X|, \min\{X \oplus C\}\}$.

Радиус покрытия r_m кода $RM(1, m)$ равен $r_m = \max_{X \subset M} r_X$.

Максимально удаленному от кода множеству X соответствует максимально нелинейная характеристическая функция — булева функция с максимально возможным расстоянием Хэмминга от данной функции до множества всех аффинных функций.

Задача нахождения радиуса покрытия кода Рида — Маллера — задача оптимизации. В дискретной математике аналогом градиентного метода является жадный алгоритм. Поэтому рассмотрим достаточно естественную

гипотезу: существует жадный алгоритм построения максимально нелинейной функции, который выбирает кратчайшее расстояние до слов кода $RM(1, m)$. Однако по теореме Радо — Эдмондса [1, 5] обоснованному применению жадного алгоритма соответствует некоторый матроид. В частности, максимально нелинейные функции минимального веса должны соответствовать базам искомого матроида, отвечающего требованиям предложенного жадного алгоритма [3].

Таким образом, необходимо проверить, что если максимально нелинейные функции минимального веса эквивалентны базам некоторого матроида, то должны выполняться [1], [5] аксиомы баз: пусть $M(E)$ — матроид и B_S — семейство его баз, тогда:

(B.1) $B_S \neq \emptyset$; если $B_1, B_2 \in B_S$ и $B_1 \neq B_2$, то $B_1 \not\subset B_2$ и $B_2 \not\subset B_1$;

(B.2) если $B_1, B_2 \in B_S \forall b_1 \in B_1, \exists b_2 \in B_2: (B_1 \setminus b_1) \cup b_2 \in B_S$ (аксиома Штейница).

Аксиома (B.1) очевидно выполнена. Проверим (B.2) для кодов $RM(1, m)$ при $m = 3; 4; 5$ и 6 .

В качестве B_1 и B_2 кода $RM(1, 3)$ рассмотрим любые пары строк длины 8 веса 2. Для кода $RM(1, 3)$ величина r_B радиуса покрытия известна и равна 2. При проверке аксиомы Штейница в каждом из 28 получившихся случаев расстояние до кода Рида — Маллера равно двум. Следовательно, все приведенные строки могут быть взяты за максимально нелинейные функции минимального веса. Аксиома Штейница выполнена.

Рассмотрим $RM(1, 4)$ и проверим выполнение аксиомы Штейница. В качестве B_1 и B_2 возьмем две максимально нелинейные функции, у которых нет пересечений (табл. 2) и есть пересечение носителей (табл. 3).

В каждом из получившихся случаев расстояние до кода Рида — Маллера меньше 6 и равно 4, следовательно, ни одно из множеств B_3 не является максимально нелинейной функцией. Аксиома Штейница не выполнена.

Таблица 2

Проверка аксиомы Штейница для $RM(1, 4)$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	r_B
B_1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	6
B_2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	6
B_3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	4
B_3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	4
B_3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	4
B_3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	4
B_3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	4
B_3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	4

Таблица 3

Проверка аксиомы Штейница для $RM(1, 4)$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	r_B
B_1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	6
B_2	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6
B_3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	4
B_3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	4
B_3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	4

Ввиду того что максимально нелинейные функции при четном и нечетном значении m ведут себя по-разному, рассмотрим код $RM(1,5)$ и проверим выполнение аксиомы Штейница. В качестве элемента $b_1 \in B_1$ удалим, например, элемент, стоящий на месте «1», а в качестве элемента $b_2 \in B_2$ поочередно будем добавлять элементы, стоящие на местах «0», «5», «9», «B», получим четыре варианта для B_3 (табл. 4).

В каждом из получившихся случаев расстояние до кода Рида — Маллера меньше 12 и равно 10, следовательно, множества B_3 не являются максимально нелинейными функциями.

Аналогичный результат получен и для $RM(1,6)$ с помощью электронных таблиц MS Excel.

Итак, аксиома Штейница не выполнена, и достаточно естественная гипотеза о существовании жадного алгоритма для решения поставленной задачи получила свое опровержение; максимально нелинейные функции минимального веса не могут быть рассмотрены в качестве баз некоторого матроида. Возможно, надо проверять аксиомы баз не для всех максимально нелинейных функций, а для максимально нелинейных функций из некоторого подкласса. Работа по поиску радиуса покрытия кода Рида — Маллера $RM(1, m)$ продолжается, поскольку этот параметр важен и для других кодов. **ИТ**

Таблица 4

Проверка аксиомы Штейница для $RM(1,5)$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V	W	r
B_1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	12
B_2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	12
B_3	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	10
B_3	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	10
B_3	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	10
B_3	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	10

Список литературы

1. Асанов М. О., Баранский В. А., Расин В. В. Дискретная математика : графы, матроиды, алгоритмы. — Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 288 с.
2. Жуков А. Е. Нелинейность булевых функций. Пособие по курсу «Криптографические методы защиты информации» МГТУ им. Н. Э. Баумана. — М., 2002. — 40 с.
3. Липский В. Комбинаторика для программистов. — М. : Мир, 1988. — 200 с.
4. Логачев О. А., Сальников А. А., Яценко В. В. Булевы функции в теории кодирования и криптологии — М. : МЦНМО, 2004. — 470 с.
5. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов. — СПб. : Питер, 2000. — 304 с. : ил.
6. Галкин А. Г., Титов С. С., Штин А. Н., Шумаков К. Г. Методика определения показателей надежности сложных электрических систем // Транспорт Урала. — Екатеринбург : УрГУПС, 2010. — № 2. — С. 88–90.
7. Глушко К. Л., Титов С. С. Специфика проблем связи и управления на транспорте // Инновационный транспорт. — Екатеринбург : УрГУПС, 2012. — № 2 (3). — С. 44–50.
8. Медведев Н. В., Титов С. С. О конструкциях идеальных совершенных почти пороговых схем разделения секрета // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 4. — URL: <http://www.science-education.ru/104-6622>



Геннадий Львович
Аккерман

Gennady L. Akkerman



Сергей Геннадьевич
Аккерман

Sergey G. Akkerman

Грани проекта

Facets of the project

Аннотация

Статья посвящена исследованию жизненного цикла проекта по строительству железнодорожного полотна.

Ключевые слова: жизненный цикл проекта, этапы проектирования и строительства, надежность проекта, проектный риск.

Summary

The article examines life cycle of a railway construction project.

Keywords: project life cycle, design and construction stages, project reliability, project risk.

Авторы Authors

Геннадий Львович Аккерман, профессор, д-р техн. наук, действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Сергей Геннадьевич Аккерман, канд. техн. наук, доцент кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Gennady Lvovich Akkerman, Professor, DSc in Engineering, RAT Academician, Head of "Railway Construction and Railway Track" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Sergey Gennadyevich Akkerman, PhD in Engineering, Associate Professor, "Railway Construction and Railway Track" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Любой проект имеет следующие «границы» (рис. 1):

- цель проекта или его результат;
- срок выполнения;
- ресурсы, необходимые для его выполнения.

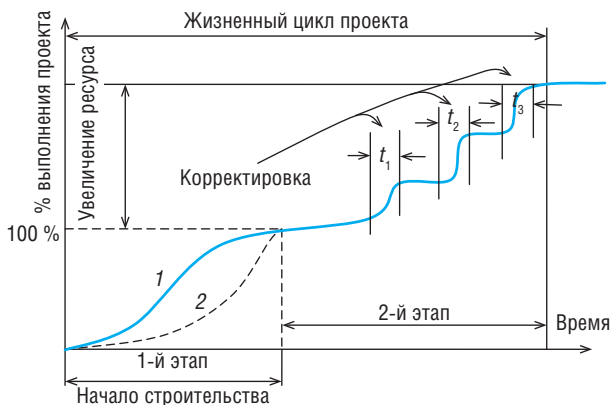


Рис. 1. Жизненный цикл проекта

Кроме того, проект характеризуется надежностью и жизненным циклом.

Цель проекта обычно определяется его названием. Например: «Проект новой железной дороги Тюмень – Тобольск» или «Проект модернизации участка железнодорожного пути ст. А – ст. Б.».

Жизненный цикл проекта — это время от момента появления идеи о цели проекта до его осуществления в реальном объекте (до начала строительства объекта). В некоторых случаях это время может быть растянуто на многие годы. Например: ВСМ Москва – Казань – Екатеринбург.

Жизненный цикл проекта (рис. 1) можно разбить на два этапа. Первый этап — до 100% готовности проекта. Второй этап — этап корректировок, если между окончанием проектирования и началом строительства проходит длительный срок.

Так, проект южного обхода Свердловского узла за 2-й этап претерпел шесть корректировок, что было вызвано изменением в экономике и ситуации по трассе запроектированной линии.

Естественно, что корректировки приводят к увеличению стоимости проекта, превышающей 100% первоначального ресурса. На рис. 1 на первом этапе показаны: кривая 1 — выполнение проекта при равномерном использовании ресурсов, кривая 2 — когда основные ресурсы используются только к концу проектирования (что зачастую характерно для выполнения курсовых проектов студентами). Фактически большой объем проекта выполняется на завершающем этапе за короткий срок. Часто в этом случае проект дорабатывается после ряда экспертиз (для студентов — после проверок преподавателем).

Иногда поставленная в проекте цель (результат) не достигается в требуемые сроки и с заданным ресурсом.

К примеру, проект уже упоминавшегося южного обхода Свердловского узла из-за недостаточного финансирования строительства был сокращен до так называемого «пускового комплекса»: исключено строительство локомотивного депо (локомотивы для прохождения ТО-2 перегонялись на ст. Свердловск-Сортировочный и в поселок железнодорожников на ст. Седельниково), постоянный водопровод для «питания» пассажирских вагонов на той же станции заменен временным летним и т. д. В итоге пассажирские и грузовые поезда, которые предполагалось пропустить по обходу, продолжили курсировать через ст. Свердловск-Пассажирский, а двухпутный электрифицированный обход долгое время работал как однопутная линия. Цель проекта — обход Свердловского узла — не была достигнута. Причиной этого, помимо недостатка ресурсов, может быть некоторая неопределенность (неполнота и неточность исходных данных, неопытность проектировщиков и др.). Это приводит к «размытости» результата проекта по отношению к его цели. Частично эта неопределенность снимается периодическими совещаниями, консультациями у опытных экспертов (ГИП, преподаватель). На рис. 2 условно показано, как изменяется «размытость» результата от одной консультации до другой (t_1 ; t_2 ; t_3).

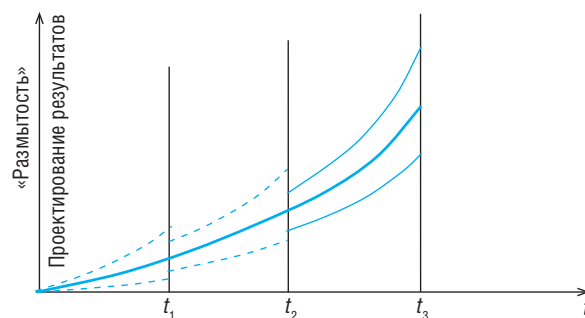


Рис. 2. «Размытость» проекта в функции времени

В общем случае нейтрализация неопределенности требует дополнительного ресурса. Наши исследования показали, что достижение цели с вероятностью 0,9 требует увеличения ресурса минимум на 48%, а при вероятности 0,975 ресурс необходимо увеличить на 70% (рис. 1, 4).

При достаточно продолжительном втором этапе часть параметров проекта приходится менять. Назовем качество проекта сохранять приемлемость для строительства — его надежностью.

Надежность есть способность проекта сохранять во времени определенные параметры в заданных пределах. С точки зрения проектировщика, основными критериями надежности проекта будут:

- среднее время безотказного функционирования T_{cp} ;
- вероятность (P_t) приемлемости проекта в течение заданного времени t .

Среднее время приемлемости проекта, или среднее время между последовательными его корректировками, определится как

$$T_{cp} = \frac{\sum t_i}{K}, \quad (1)$$

где t_i — время приемлемости проекта между двумя последовательными его корректировками; K — количество корректировок.

Так, на южном обходе Свердловского узла T_{cp} равно трем годам.

Если принять, что распределение времени необходимости корректировок происходит по закону Пуассона, то

$$P_t = \ln \frac{-t}{T_{cp}}, \quad (2)$$

где e — основание натурального логарифма, при $t = T_{cp}$, $P_t = 0,37$.

Если через t лет с момента выпуска проекта общей стоимостью C рублей требуется корректировка по главам сметы на S рублей, тогда скорость «старения» проекта можно определить по формуле:

$$V_s = \frac{S}{Ct} 100 \text{ (\% в год)}. \quad (3)$$

Из (2) следует:

$$t = -T_{cp} \ln P_t. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует:

$$\alpha = \frac{100S}{C} = -V_s T_{cp} \ln P_t \%. \quad (5)$$

По уравнениям (2) и (5) построены кривые (рис. 3).

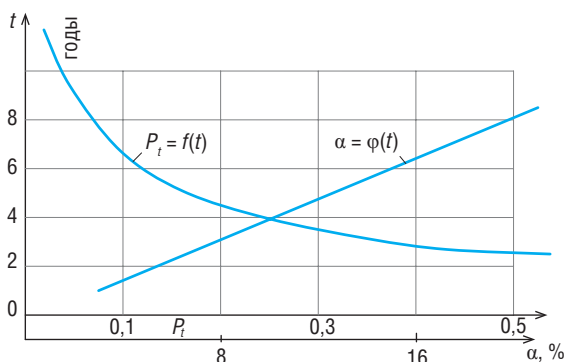


Рис. 3. Зависимость вероятности приемлемости проекта и доли корректировок от времени

На рис. 3 представлены зависимости $\alpha = \varphi(t)$ и $P_t = f(t)$, при определенных значениях V_s и T_{cp} , для проекта линии Решеты — Арамилы (южный обход).

Значения V_s и T_{cp} зависят от многих факторов, в том числе и от сложности проекта, которая характеризуется его стоимостью (C).

Из рис. 3 видно, что вероятность «приемлемости» проекта с течением времени резко падает (за 7 лет вероятность снижается до 0,1), а доля корректировок растет.

Результат проектирования — 100% достижения цели (R) — зависит от заданного срока выполнения (T) и имеющихся ресурсов (бюджета) (B) (рис. 4).

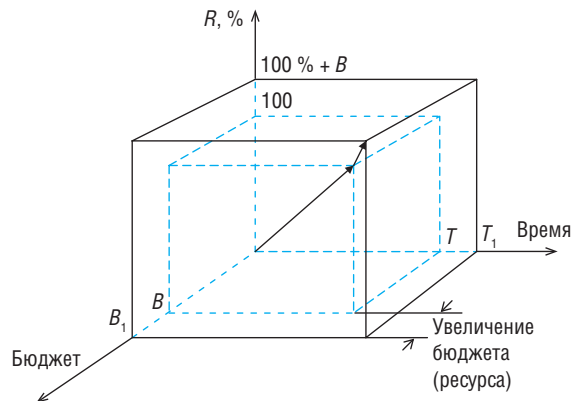


Рис. 4. Зависимость результата проектирования (достижения цели проекта) от сроков выполнения и ресурсов

В случае появления корректировок новый срок $T_1 > T$; увеличивается бюджет $B_1 > B$, и изменяется результат.

Особенностями любого проекта являются такие характеристики, как:

- комплексность;
- последовательность — от общего к частному;
- вариантность: для выбора рационального решения должны рассматриваться несколько (обычно 2–3) варианта.

При проработке вариантов необходимо учитывать такое понятие, как «риск».

Слово «риск» имеет два значения [1]: «опасность, угроза» и «количественная оценка наступления неблагоприятного для рассматриваемой ситуации события (R)».

$$R = P \cdot C,$$

где R — риск; P — вероятность появления рассматриваемого события; C — стоимостный результат появления рассматриваемого события.

Обычно чем меньше вероятность проявления события, тем больше стоимость его учета в проекте. Например, при расчете отверстия моста в зависимости от расхода водного потока при проектировании инфраструктуры железной дороги необходимо учитывать «вероятность превышения» этого расхода (Q). Чем больше расход, чем он реже наблюдается, тем меньше вероятность и больше отверстие моста (и его стоимость) (рис. 5).

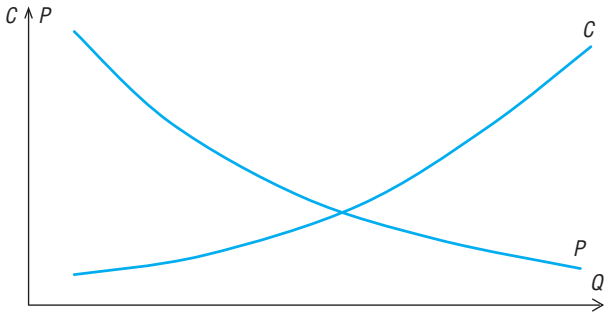


Рис. 5. Зависимость стоимости моста от величины расхода и вероятности

Из рис. 5 видно, что при некотором сочетании C и P $R = C \cdot P$ может соответствовать минимальному значению. Исходя из этого, для расчета отверстия моста на железных дорогах I и II категории расчетное значение расхода, согласно СНиП, принимается при вероятности превышения $P = 0,01$, хотя такой редкий расход на этом сооружении может не наблюдаться.

Приведенный пример отвечает традиционному принципу инженерных расчетов: нагрузка на сооружение должна быть ниже «нормативной» допустимой, что вполне согласуется с законом Мерфи: «То, что может пойти плохо, пойдет плохо» [1].

Величина риска может выбираться как по экономическим соображениям, так и исходя из безопасности проектируемого объекта. Это отражает «матрица рисков» [1] (табл. 1).

Таблица 1

Матрица рисков

Вероятность	Стоимость			
		низкая	средняя	высокая
	высокая			
	средняя			
	низкая			

Часто стоимость объекта пропорциональна безопасности его функционирования, которую можно оценить в баллах.

Сложность работы над проектом зависит от того, типовое это или нетиповое проектирование:

1. Типовое проектирование: проект типовой и типовой алгоритм его создания.

2. Нетиповое проектирование:

2.1. Алгоритм проектирования типовой, хотя проект индивидуальный.

2.2. Объект и алгоритм проектирования — нетиповые.

Пример 2.1. «Трассирование железнодорожной линии». Известно, как это делать, но объект — трасса — индивидуален. Случай 2.2 по своей сути близок к научной работе.

Работа над проектом — «проектирование» — характеризуется двумя моментами:

- его результатом — появлением объекта в будущем;
- идеальным характером действия: объект взаимодействует с окружающей средой идеально — так, как «прописано» в проекте. Например, проект железной дороги рассматривает функционирование ее инфраструктуры как «идеальное», без всяких отступлений от норм эксплуатации. В последнее время с помощью компьютерного моделирования «неидеализацию» объекта в проекте можно учесть, т. е. можно оценить, как будет вести себя реальный объект в неидеальных условиях и как это повлияет на результат проекта.

Под окружающей средой понимается как природная, так и экономическая среда.

В заключение необходимо отметить, что проект — это создание идеального «образа» объекта, который должен содержать и показывать:

- взаимосвязанную систему подобъектов;
- функциональную ориентацию всей системы и каждого подобъекта в окружающей среде;
- если требуется, индивидуализацию объекта или некоторых подобъектов;
- возможность осуществления проекта. ИТ

Список литературы

1. Мередит Дж., Мантех С. Управление проектами. — СПб., 2014. — 639 с.
2. Аккерман Г.Л. Теория и практика проектирования железных дорог с учетом воздействия окружающей среды : дис. ... д-ра техн. наук. — Екатеринбург, 1992.
3. Аккерман Г.Л., Исламов А.Р. Компьютерные технологии и моделирование при проектировании железных дорог // Молодые ученые — транспорту : сб. науч. трудов. — Екатеринбург : УрГУПС, 2009. — С. 175–186.
4. Аккерман Г.Л., Аккерман С.Г. Инфраструктура транспортной сети и неопределенность среды // Путь и железнодорожное строительство : сб. науч. тр. — Екатеринбург : УрГУПС, 2008. — Вып. 66 (149). — С. 11–21.
5. Аккерман Г.Л., Аккерман С.Г. Энергетика криволинейных участков железнодорожного пути // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2014. — № 2 (22). — С. 47–52.



Дмитрий Алексеевич
Брусянин

Dmitry A. Brusyanin

Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока в электропоезде «Ласточка»

Intelligent system of passenger flow monitoring in electric train “Lastochka” (“Swallow”)

Аннотация

Статья посвящена разработке двух вариантов системы мониторинга пассажиропотока электропоезда ЭС2Г «Ласточка». Учет пассажиров производится по сидячим местам в вагоне, а также с использованием датчиков, установленных в дверном проеме вагона.

Ключевые слова: интеллектуальная система, мониторинг пассажиропотока, электропоезд «Ласточка».

Summary

The article is devoted to the development of two versions of the passenger flow monitoring system in electric train ES2G “Lastochka”. Count is made on the basis of the quantity of passenger seats in the car and with the use of the sensors installed in the doorway of the car.

Keywords: intelligent system of passenger flow monitoring, train “Lastochka”.

Авторы Authors

Дмитрий Алексеевич Брусянин, канд. техн. наук, директор научно-исследовательской части Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Dmitry Alekseyevich Brusyanin, PhD in Engineering, Director of Scientific and Research Unit, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Об интеллектуальной системе мониторинга пассажиропотока транспортного комплекса Уральского региона с использованием технического зрения на страницах журнала «Инновационный транспорт» рассказывалось ранее [1]. Особенностью данного технического решения, разработанного в Уральском государственном университете путей сообщения, являлось то, что оно предназначалось для мониторинга пассажиропотока на автомобильном транспорте.

Разработанное новое техническое решение предназначено для мониторинга пассажиропотока в электропоездах ЭС2Г «Ласточка», серийно выпускаемых в г. Верхней Пышме Свердловской области на заводе ООО «Уральские локомотивы».

Были предложены два варианта системы автоматизированного учета пассажиров (САУП).

1 вариант: учет пассажиров осуществляется по сидячим местам в вагоне (САУП-1).

В САУП-1 для учета пассажиров используются данные системы видеонаблюдения поезда (рис. 1).

1. В соответствии с техническими требованиями (ТТ) система видеонаблюдения осуществляет видеозапись непрерывно (п. 4.5) на внутренний носитель бортового компьютера и обеспечивает централизованное хранение в течение 48 часов (п. 3.3).

2. На бортовом компьютере поезда видеозаписи маркируются: каждому снимку присваивается номер поезда,

вагона, камеры, даты и времени (предусмотрено системой видеонаблюдения (п. 4.8)).

3. Передача видеоданных происходит посредством изъятия видеоносителя из записывающего устройства (п. 7.1) либо по беспроводному каналу связи (Wi-Fi, GSM/GPRS) на сервер заказчика (рис. 2).

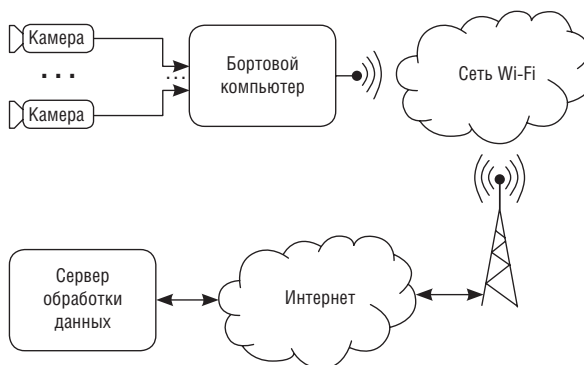


Рис. 2. Схема учета пассажиров с использованием Wi-Fi-канала (пример)

4. На удаленном компьютере видеозаписям присваиваются координаты в соответствии с сигналом GPS/ГЛОНАСС и маркировкой, предусмотренной системой видеонаблюдения (п. 4.8): номером поезда, двери, вагона, камеры, даты и времени.

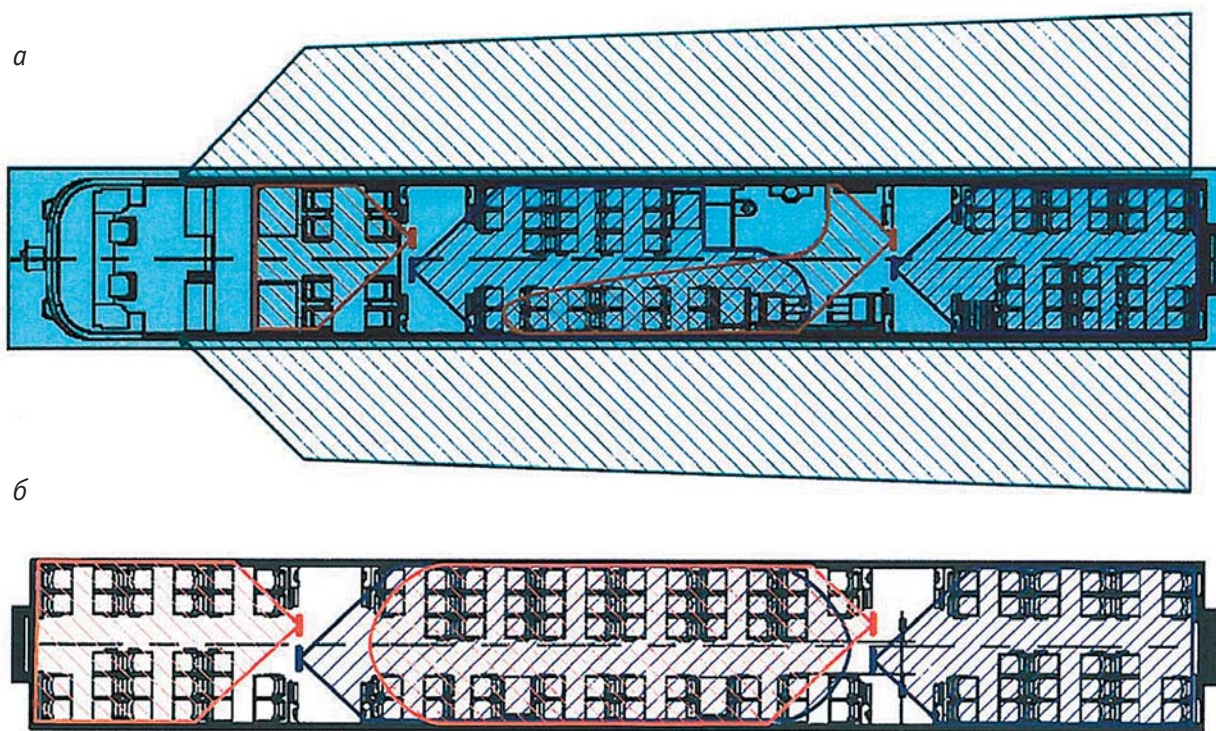


Рис. 1. Зоны обзора в вагоне: а — зоны обзора камер головных вагонов; б — зоны обзора камер средних вагонов

5. Далее осуществляется автоматизированный подсчет пассажиров с определением занятости (свободности) кресла для каждого момента времени и местоположения. Используется алгоритм распознавания образов. Иллюстрация распознавания занятости или свободности кресла на примере салона междугородного автобуса показана на рис. 3.

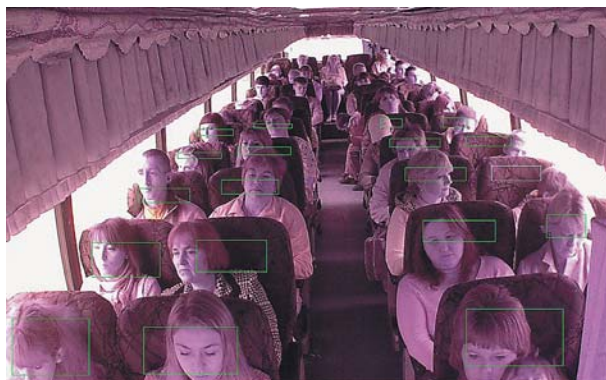


Рис. 3. Фото с выделенными областями распознавания пассажиров

6. Построение диаграмм пассажиропотоков по поезду, маршруту, в целом по сети для дальнейших расчетов и оптимизации маршрутной сети (рис. 4).

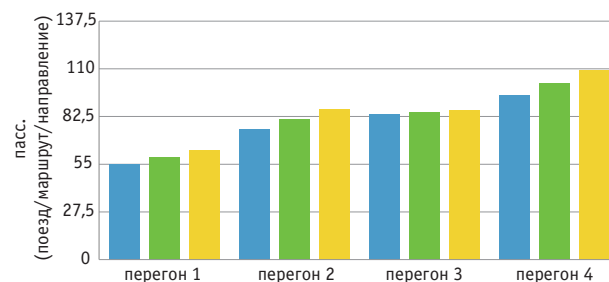


Рис. 4. Пример диаграммы пассажиропотока после статистической обработки результатов учета пассажиров
 ■ — min; ■ — среднее; ■ — max

Дополнительные требования:

- необходима установка программного комплекса на стационарный компьютер заказчика для автоматизированного учета пассажиров;
- необходимы данные GPS/ГЛОНАСС для идентификации фактического нахождения поезда на маршруте.

Достоинства первого варианта:

- не требуется дополнительного оборудования вагонов, так как используется существующая система видеонаблюдения поезда;
- возможность периодической калибровки алгоритмов подсчета пассажиров и совершенствования ПО, так как обзореваются весь салон вагона.

Например, возможно распознавание пассажиров в случае их пересадки с одного места на другое или покидания вагона на остановочных пунктах;

- возможность определения вошедших и вышедших пассажиров поостановочно (в перспективе);
- возможность ручной проверки точности подсчета пассажиров;
- данный способ позволяет получать необходимую информацию для дальнейших расчетов и оптимизации маршрутной сети поездов, расписаний и др.

2 вариант: учет пассажиров осуществляется с использованием датчиков, установленных в дверном проеме вагона (САУП-2).

Краткое описание системы автоматизированного учета пассажиров САУП-2.

1. Подсчет входящих и выходящих пассажиров осуществляется с помощью датчиков, устанавливаемых в верхней части дверного проема вагона. Принципиальная схема устройства модуля для подсчета входящих-выходящих пассажиров показана на рис. 5.



Рис. 5. Устройство модуля подсчета входа-выхода пассажиров в дверном проеме

САУП-2 включает в себя:

- датчики подсчета пассажиров, устанавливаемые в верхней части дверного проема. Пример реализации модуля подсчета пассажиров (стереопара) показан на рис. 6;
- анализатор-микроконтроллер, обрабатывающий сигналы от датчиков и преобразующий эти сигналы в количество входящих или выходящих пассажиров.



Рис. 6. Пример устройства подсчета входа-выхода пассажиров

2. Анализатор активизирует датчики после получения сигнала о разблокировке дверей в момент остановки поезда на станции.

3. По закрытию дверей датчики передают количество вошедших-вышедших пассажиров (которое суммируется), а также маркируются: присваивается номер поезда, вагона, двери, даты и времени.

4. Запись и централизованное хранение данных о вошедших-вышедших пассажирах осуществляется на внутренний носитель анализатора в объеме, устанавливаемом заказчиком.

5. Передача данных о перевезенных пассажирах происходит путем изъятия съемного носителя из анализатора либо по беспроводному каналу связи (Wi-Fi, GSM/GPRS) на сервер (рис. 2).

Дополнительные требования:

- необходимость интеграции анализатора с системой управления поездом для получения сигнала разблокировки и блокировки дверей при подъезде к станции или остановочному пункту;

- необходимость получения данных GPS/ГЛОНАСС для идентификации данных о вошедших-вышедших пассажирах.

Достоинства второго варианта:

- возможность ручной проверки точности подсчета пассажиров;
- по данным строится поперегонная эпюра пассажиропотоков, необходимая для оптимизации маршрутной сети поездов, расписаний и др. (рис. 4).

Недостатки:

- требуется установка дополнительного оборудования в дверном проеме;
- не обзревается весь салон вагона;
- требуется интеграция с другими системами электропоезда.

В табл. 1 приведены варианты реализации данной системы. **ИТ**

Таблица 1

Варианты реализации системы

Наименование пункта ТТ системы подсчета пассажиров	Возможность выполнения		Примечание
	САУП-1	САУП-2	
1. Система учета пассажиров должна обеспечивать:			
1.1. Фиксацию пассажиропотока	+	+	Определяется количество пассажиров в вагоне в фиксированное время
1.2. Открытие и закрытие дверей поезда с фиксированием по времени и положению дверей	-	+	Сигнал открытия/закрытия от системы управления дверями
1.3. Накопление фиксированных данных в базе данных	+	+	Уточняется заказчиком
1.4. Передачу накопленных данных с поезда на стационарный сервер	+	+	Посредством флеш-носителя
1.5. Формирование отчетов базы данных, используя накопленные данные	+	+	АРМ на стационарном компьютере
1.6. Сравнение накопленных данных с графиком движения поездов	+	+	АРМ на стационарном компьютере
2. Минимальные требования, предъявляемые к системе накопления данных			
2.1. Система учета пассажиров должна работать едино в каждом составе поезда и обеспечивать накопление данных по всем дверям состава	-	+	Сигнал открытия/закрытия от системы управления дверями с привязкой по астрономическому времени
2.2. Система учета пассажиров должна обеспечивать данными:			
2.2.1. о номере поезда	+	+	Сигнал от системы управления
2.2.2. о местоположении, скорости и времени	+	+	Сигнал от системы управления

Наименование пункта ТТ системы подсчета пассажиров	Возможность выполнения		Примечание
	САУП-1	САУП-2	
2.2.3. о времени закрытия и открытия дверей	–	+	Сигнал от системы управления
2.2.4. об учете входящих и выходящих пассажиров (учет ведется при открытых дверях) на каждой станции или остановочном пункте	–	+	Вычисление после закрытия дверей в фиксированное время по количеству сидящих пассажиров
2.2.5. о названии станций	+	+	Сигнал от системы управления
3. Минимальные требования, предъявляемые к передаче данных			
3.1. У системы учета пассажиров должна быть возможность отправлять сообщения обслуживающей службе о состоянии системы	+	+	
3.2. Необходим удаленный, авторизованный доступ средствами GSM/GPRS для сервисного обслуживания системы каждого поезда	+	+	Передача данных через систему видеинформирования
3.3. Необходима реализация обмена данных со стационарным сервером (вне поезда) по требованию и по заранее заявленному графику	+	+	
3.4. Передача накопленных данных должна обеспечиваться протоколами TCP/IP следующими средствами:			
3.4.1. GSM / GPRS	+	+	
3.4.2. Wi-Fi	+	+	
3.4.3. USB	+	+	
4. Минимальные требования, предъявляемые к системе обработки данных			
4.1. Система обработки данных должна обеспечивать:			
4.1.1. Помещение данных в стационарную (вне поезда) базу данных (MS SQL). Система обработки данных должна быть лицензирована, и права пользования присваиваются заказчику на все время обслуживания поездов	+	+	
4.1.2. Автоматический контроль передачи данных	+	+	
4.1.3. Проверка достоверности данных	+	+	
4.1.4. Возможность локального и удаленного администрирования данных	+	+	
4.1.5. Отнесение присвоенного перевозчиком номера поезда к собранным данным конкретной поездки	+	+	
4.1.6. Статистическая проверка данных	+	+	
4.1.7. Возможность калибровки системы	+	+	
4.1.8. Обработка данных поездки	+	+	

Окончание табл. 1

Наименование пункта ТТ системы подсчета пассажиров	Возможность выполнения		Примечание
	САУП-1	САУП-2	
4.1.9. Генерация отчетов, прогнозирование и анализ данных	+	+	
4.2. Система обработки данных должна обеспечивать следующими отчетами:			
4.2.1. об остановках поезда	+	+	
4.2.2. о времени открытия и закрытия дверей поезда, времени нахождения дверей в открытом состоянии	–	+	
4.2.3. о количестве входящих и выходящих пассажиров на каждом остановочном пункте и в целом за поездку	+	+	
4.2.4. о времени посадки и высадки пассажиров на каждом остановочном пункте и в целом за поездку	–	+	
4.2.5. о заполнении поезда пассажирами на каждом остановочном пункте и в целом за поездку	+	+	
4.2.6. о выполнении расписания движения поездов и сбоях	+	+	
4.2.7. общий отчет о поездке, объединяя время стоянок и число входящих и выходящих пассажиров	+	+	
5. Основные направления в использовании данных системы учета пассажиров			
5.1. Оптимизация услуг перевозок и расписания, анализируя пассажиропоток и время открытия и закрытия дверей методами статистики	+	+	
5.2. Оптимизация используемых ресурсов для выполнения пассажирских перевозок	+	+	
5.3. Планирование пассажирских перевозок по реальным данным	+	+	
5.4. Оптимизация расписания движения поездов	+	+	

Список литературы

1. Брусянин Д. А., Вихарев С. В., Попов В. Ю., Горбенко А. А., Шека А. С. Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока транспортного комплекса региона // Инновационный транспорт. — 2012. — № 2. — С. 41–43.



**Дмитрий Алексеевич
Брусянин**

Dmitry A. Brusyanin



**Сергей Викторович
Вихарев**

Sergey V. Viharev

Формирование оптимальной маршрутной сети Арамильско-Сысертского направления Екатеринбургской агломерации

Development of the optimal route network of Aramil-Sysert sector of Ekaterinburg agglomeration

Аннотация

В статье выполнен анализ существующей маршрутной сети общественного пассажирского транспорта Арамильско-Сысертского направления Екатеринбургской агломерации, предложены варианты формирования маршрутной сети, определено количество транспортных средств по фактическому среднесуточному пассажиропотоку и минимальной (рекомендуемой) наполняемости транспортного средства, дано определение транспортного пересадочного узла в п. Кольцово, тяготеющего к Екатеринбургу. Рассмотрено два варианта: маршрутная сеть без интеграции автомобильного и железнодорожного транспорта и с интеграцией двух видов транспорта, с использованием транспортно-пересадочного узла. Выполнено сравнение двух предложенных вариантов.

Ключевые слова: маршрутная сеть, транспортно-пересадочный узел, пассажиропоток.

Summary

The article contains an analysis of the existing public transport route network in Aramil-Sysert sector of Ekaterinburg agglomeration; route network options are proposed, the number of vehicles is determined based on actual average daily passenger traffic and minimum (recommended) vehicle occupancy; the transport hub in Koltsovo gravitating to Ekaterinburg is defined. Two options have been considered: route network without integration of road and railway transport and integration of the two modes of transport using the transport hub. Comparison of the two proposed options is performed.

Keywords: route network, transport hub, passenger traffic.

Авторы Authors

Дмитрий Алексеевич Брусянин, канд. техн. наук, директор научно-исследовательской части Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Сергей Викторович Вихарев, канд. физ.-мат. наук, заместитель генерального директора ООО «Брейнкрафт», Екатеринбург; e-mail: sergey@viharev.com

Dmitry Alekseyevich Brusyanin, PhD in Engineering, Director of Scientific and Research Unit, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Sergey Viktorovich Viharev, PhD in Physico-Mathematical Science, Deputy General Director, Braincraft LLC, Ekaterinburg; e-mail: sergey@viharev.com

В настоящей статье рассмотрены варианты формирования оптимальной маршрутной сети, разработанные в соответствии с работами [1–3, 5–8].

Арамильско-Сысертское направление входит в состав Екатеринбургской агломерации и сформировано из трех поднаправлений: Сысертского, Арамильского (через Исток), Арамильского (через Торфяник). Дополнительно часть пассажиропотока, тяготеющего к железнодорожной станции Арамиль, перевозится пригородными поездами, следующими в Каменск-Уральском направлении. Схема маршрутов показана на рис. 1.



Рис. 1. Существующая схема маршрутной сети Арамильско-Сысертского направления

Существующая маршрутная сеть Арамильско-Сысертского направления имеет следующие недостатки. Во-первых, отсутствует увязка в работе железнодорожного и автомобильного транспорта. В результате снизилась наполняемость транспортных средств и, как следствие, доходность перевозочного процесса. Это неблагоприятно сказывается на качестве транспортных услуг (в том числе на безопасности и надежности).

Во-вторых, произошло увеличение объема дотаций из бюджета Свердловской области, направленных на возмещение выпадающих доходов в связи с тарифным регулированием пригородного железнодорожного сообщения.

Третий недостаток состоит в загрузке въезда в Екатеринбург по Челябинскому тракту ввиду высокой ин-

тенсивности движения пассажирских автотранспортных средств малой вместимости.

Особенности существующей организации транспортного обслуживания населения Арамильско-Сысертского направления заключаются в следующем:

- 1) населенные пункты рассматриваемого направления входят в Екатеринбургскую агломерацию;
- 2) перевозки имеют суточные неравномерности, характерные для городских перевозок;
- 3) ежесуточно население совершает трудовые миграции;
- 4) маршрутная сеть сформирована бессистемно с большим количеством дублирующих участков действующих маршрутов;
- 5) частота курсирования транспортных средств в часы пик сопоставима с городскими перевозками;
- 6) участки маршрутов дублируются;
- 7) использование большого количества автотранспортных средств малой вместимости;
- 8) отсутствует увязка автомобильного и железнодорожного транспорта.

Формирование вариантов маршрутной сети рассматриваемого направления будет выполнено в соответствии со следующими требованиями [2]:

- 1) освоение всего среднесуточного пассажиропотока (социальный эффект);
- 2) обеспечение минимальной (рекомендуемой) среднесуточной наполняемости транспортных средств (экономический эффект). Рекомендуемый коэффициент использования вместимости автотранспортных средств для различных систем налогообложения определен в [4];
- 3) выполнение технико-технологических ограничений для автомобильного и железнодорожного транспорта;
- 4) рациональное использование бюджетных средств, выделяемых из регионального бюджета на покрытие выпадающих доходов при тарифном регулировании пассажирских перевозок.

Еще раз отметим, что формирование вариантов маршрутной сети в Арамильско-Сысертском направлении выполнено поэтапно, в соответствии с разработанной методической базой, представленной в [1–3].

Первый вариант заключается в формировании маршрутной сети автомобильного транспорта без его интеграции с пригородными поездами и городской электричкой.

1. Поднаправление «Екатеринбург – Арамиль – Двуреченск».

1.1. Перечень рекомендуемых маршрутов:

- маршрут «Екатеринбург – Двуреченск», через Б. Исток, Арамиль, Бобровский;
- маршрут «Екатеринбург – Арамиль», через Б. Исток;
- маршрут «Екатеринбург – Арамиль», через Торфяник.

1.2. Определение количества условных транспортных средств для участка Екатеринбург – Б. Исток – Арамилль – Бобровский – Двуреченск. Под условным транспортным средством (УТС) понимается нитка в суточном графике движения транспортных средств на рассматриваемом участке маршрута или маршрутной сети.

На выбранном участке назначаются условные транспортные средства в следующей последовательности.

1.2.1. По диаграмме распределения пассажиропотока (рис. 2) определяется участок с минимальным пассажиропотоком: Бобровский – Двуреченск.

1.2.2. Вычисляется общее количество условных транспортных средств исходя из минимальной (рекомендуемой) среднесуточной наполняемости транспортного средства и вместимости УТС, принятой в расчетах. Графическая интерпретация назначения условных транспортных средств по участкам показана на рис. 3.

1.2.3. По количеству УТС определяется число расписаний для каждого часа из условия, что весь пассажиропоток должен быть освоен.

1.2.4. Выбирается следующий участок с минимальным пассажиропотоком: Бобровский – Арамилль.

1.2.5. Вычисляется общее количество транспортных средств исходя из средней наполняемости транспортного средства. В расчетах принято $r = 0,6$ [4] (рис. 4).

1.2.6. Следующий участок: Арамилль – Б. Исток – Екатеринбург.

1.2.7. Вычисляется общее количество транспортных средств исходя из среднесуточной наполняемости транспортного средства (рис. 5).

1.3. Рассмотрим второй участок: Екатеринбург – Арамилль (через Торфяник). Исходным для формирования маршрутной сети является среднесуточный пассажиропоток — 1365 пасс./сут.

1.3.1. Вычисляется общее количество транспортных средств аналогичным образом исходя из среднесуточной минимальной (рекомендуемой) наполняемости транспортного средства и вместимости УТС 60 пасс.

1.3.2. Определяется количество расписаний по числу УТС для каждого часа из условия, что весь пассажиропоток должен быть освоен не более чем 38 условными транспортными средствами в сутки.

1.4. Количество транспортных средств в обратном направлении из Екатеринбурга в Двуреченск выполняется аналогично.

1.5. На участке Екатеринбург – Арамилль (через Исток) назначается количество УТС из среднесуточного пассажиропотока — 1228 пасс./сут.

1.6. На участке п. Бородулино – Екатеринбург (через Патруши, Арамилль) предлагается ввести межмуниципальный маршрут.

2. На участке Арамилль – Кольцово рекомендуется ввести межмуниципальный маршрут, количество УТС определяется по среднесуточному пассажиропотоку.

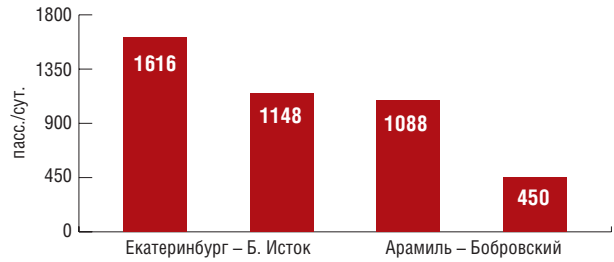


Рис. 2. Диаграмма распределения среднесуточного пассажиропотока по участкам маршрута



Рис. 3.



Рис. 4.

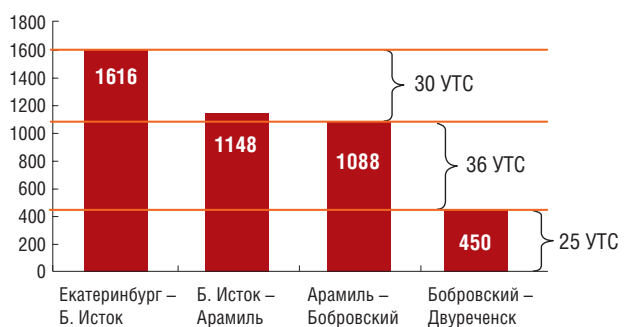


Рис. 5.

3. На участке Седельниково – Арамилль – Екатеринбург рекомендуется ввести межмуниципальный маршрут. По величине фактического пассажиропотока рекомендуется назначить транспортное средство малой вместимости до 20 посадочных мест с интервалом следования один час.

4. Маршрутная сеть Сысертского поднаправления содержит следующие рекомендуемые маршруты:

- маршрут «Двуреченск – Арамилль – Екатеринбург», через Черданцево, Кадниково;
- маршрут «Сысерть – Екатеринбург»;
- маршрут «Верхняя Сысерть – Екатеринбург»;
- маршрут «Октябрьский – Екатеринбург»;
- маршрут «Никольское – Екатеринбург».
- маршрут «Щелкун – Екатеринбург».

Количество УТС определяется по величине среднесуточного пассажиропотока.

Рассмотрим второй вариант маршрутной сети Арамилльско-Сысертского направления с организацией транспортно-пересадочного узла в п. Кольцово (далее ТПУ). Под транспортно-пересадочным узлом в Кольцово будем понимать совокупность объектов транспортной инфраструктуры, расположенных в этом населенном пункте, позволяющих осуществлять пересадку с межмуниципальных автобусных маршрутов на городскую электричку, городские маршруты в поселке Кольцово и пригородные поезда, следующие по ст. Кольцово.

В этом варианте предполагается увязка пригородных автобусов Арамилльско-Сысертского направления с пригородными поездами по ст. Кольцово, городской электричкой и городскими маршрутами, следующими из п. Кольцово в Екатеринбург. Схема маршрутной сети показана на рис. 6.

1. Рекомендуемая маршрутная сеть:

- маршрут «ТПУ Кольцово – Двуреченск», через Б. Исток, Арамилль, Бобровский, межмуниципальный, подвозящий;
- маршрут «ТПУ Кольцово – Арамилль», через Б. Исток, межмуниципальный, подвозящий;
- маршрут «Екатеринбург – Арамилль», через Торфяник, межмуниципальный;
- маршрут «ТПУ Кольцово – п. Бородулино», через Патруши, Арамилль, межмуниципальный, подвозящий;
- маршрут «Арамилль – ТПУ Кольцово», межмуниципальный, подвозящий;
- маршрут «Двуреченск – Арамилль – ТПУ Кольцово», через Черданцево, Кадниково;
- маршрут «Сысерть – ТПУ Кольцово»;
- маршрут «Верхняя Сысерть – ТПУ Кольцово», межмуниципальный, подвозящий;
- маршрут «Октябрьский – ТПУ Кольцово», межмуниципальный, подвозящий;
- маршрут «Никольское – ТПУ Кольцово», межмуниципальный, подвозящий.
- маршрут «Щелкун – ТПУ Кольцово», межмуниципальный, подвозящий.

Сравнение двух предложенных вариантов показано в табл. 1.



Рис. 6. Схема маршрутной сети. Вариант 2

Вариант 1, с одной стороны, предполагает менее рациональное использование бюджетных средств, но с другой — сохраняет устоявшийся вариант маршрутной сети, по крайней мере без перераспределения пассажиропотока между видами транспорта. Последнее может встретить противодействие со стороны перевозчиков и создать неудобства для пассажиров в краткосрочной перспективе.

Сравнение вариантов маршрутной сети Арамильско-Сысертского направления

Характеристика	Вариант 1	Вариант 2
Удовлетворение потребностей в перевозках	+	+
Обеспечение минимальной (рекомендуемой) среднесуточной наполняемости	+	+
Выполнение технико-технологических ограничений	+	+
Рациональное использование бюджетных средств	–	+
Сохранение стабильности существующей сети	+	–

Вместе с тем вариант 2, предполагающий кооперацию видов транспорта, обладает очевидными преимуществами. Среди них отметим следующие:

1. Повышение пропускной способности УДС на въездах в город за счет замены части автобусного маршрута пригородным поездом.
2. Повышение экологической составляющей за счет использования вида транспорта с меньшим количеством выбросов на километр пути.

3. Более интенсивное, в сравнении с первым вариантом, использование железнодорожного транспорта позволит в целом повысить безопасность перевозок на данном направлении.

Выбор наилучшего варианта маршрутной сети, разумеется, должен проводиться не умозрительно, а базироваться на объективной интегральной оценке [7–8]. Построение интегральной характеристики маршрутной сети для выбора варианта модификации является актуальной темой дальнейших исследований. **ИТ**

Список литературы

1. Сеницын Е. В., Вихарев С. В., Брусянин Д. А. Экономико-математическая модель прогнозирования пассажиропотоков на долгосрочном уровне // Транспорт Урала. — 2013. — № 3 (38). — С. 89–94. — ISSN 1815-9400.
2. Сизый С. В., Вихарев С. В., Брусянин Д. А., Низовцева И. Г. Методика формирования оптимальной маршрутной сети регулярного пассажирского транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2013. — № 3 (36). — С. 73–79. — ISSN 1815-588X.
3. Two-dimensionally constrained disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: Theory and application for a Swiss national model / M. Vrtic, P. Frohlich, N. Schüssler, K. W. Axhausen, D. Lohse, C. Schiller, H. Teichert // Transportation Research. — Part A 41. — 2007. — P. 857–873. — ISSN 0965-8564.
4. Брусянин Д. А., Пономарева М. С., Хоменко Я. В. Экономические механизмы регулирования транспортного комплекса региона // Казанская наука. — 2014. — № 4. — С. 63–68. — ISSN 2078-9955.
5. Brusyanin D., Vikharev S. The basic approach in designing of the functional safety index for transport infrastructure // Contemporary Engineering Sciences. — 2014. — Т. 7, № 6. — С. 287–292. — URL: <http://www.m-hikari.com/ces/ces2014/ces5-8-2014/416.html> (дата обращения: 18.02.2015).
6. Brusyanin D., Vikharev S. Verification of the functional safety index in technical part of transport infrastructure // Contemporary Engineering Sciences. — 2014. — Т. 7, № 6. — С. 293–298. — URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2014.417> (дата обращения: 18.02.2015).
7. Vikharev S. Mathematical modeling of development and reconciling cooperation programs between natural monopoly and regional authorities // Applied Mathematical Sciences. 2013. — Vol. 7, No 110. — P. 5457–5462. — URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2013.38454> (дата обращения: 18.02.2015).
8. Сай В. М., Брусянин Д. А. Оценка методом линейной свертки частных критериев вариантов маршрутной сети пассажирских перевозок // Экономика железных дорог. — 2014. — № 10. — С. 63–72. — ISSN 1727-6500.



Анастасия Дмитриевна
Неволина

Anastasiya D. Nevolina



Валерий Михайлович
Самуйлов

Valeriy M. Samuylov

Развитие и модернизация железнодорожной инфраструктуры Транссиба и БАМа

Development and modernization of the railway infrastructure of Trans-Siberian Mainline and the BAM

Аннотация

Статья посвящена модернизации Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей, которая является масштабным инфраструктурным проектом. На его реализацию до 2018 года запланировано направить 562 млрд рублей, в том числе средства инвесторов.

Ключевые слова: Транссибирская магистраль, Байкало-Амурская магистраль, реконструкция, модернизация, пропускная способность, сетевой план-график.

Summary

The article is dedicated to the modernization of the Trans-Siberian Mainline and the Baikal-Amur Mainline, being a major infrastructure project. About 562 billion rubles, including investors' funds, is to be allocated for its implementation up to 2018.

Keywords: Trans-Siberian Mainline, Baikal-Amur Mainline, reconstruction, modernization, capacity, network schedule.

Авторы Authors

Анастасия Дмитриевна Неволина, студент-стажер 5 курса электротехнического факультета Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС) | Валерий Михайлович Самуйлов, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС)

Anastasiya Dmitriyevna Nevolina, 5th year trainee student, Electrotechnical Faculty, Ural State University of Railway Transport (USURT) | Valery Mikhailovich Samuylov, DSc in Engineering, full member of the RAT, Professor, Ural State University of Railway Transport (USURT)

Транссибирская магистраль — это современная двухколейная полностью электрифицированная железнодорожная линия протяженностью около 10 тыс. км, оборудованная современными средствами автоматики, связи и информационных технологий (рис. 1). Она является самой протяженной в мире железной дорогой, а также естественным продолжением международного транспортного коридора № 2. Транссиб соединяет три участка широтного направления (Екатеринбург — Пермь — Нижний Новгород — Москва; Екатеринбург — Казань — Москва; Челябинск — Уфа — Сызрань — Москва), дополняя инфраструктуру автомобильных дорог, речных портов и аэропортов европейской части России [1].

Байкало-Амурская магистраль является одной из крупнейших железнодорожных магистралей в мире. Общая протяженность БАМа от Тайшета до Советской Гавани составляет 4300 км (рис. 2). БАМ связывается с Транссибирской железной дорогой тремя соединительными линиями: Бамовская — Тында, Известковая — Новый Ургал и Волочаевка — Комсомольск-на-Амуре.

В июле 2013 года на совещании с членами правительства в Ново-Огареве президент России Владимир Путин предложил актуализировать схему развития

Транссиба и БАМа. Обе магистрали должны быть расширены, модернизированы, продлены. «За последние пять лет только в направлении дальневосточных портов России объем грузовых железнодорожных перевозок вырос на 55 %, составив около 110 млн тонн в год, — это рекордные показатели для этого участка», — подчеркнул тогда Путин. При этом финансировать данный проект планируется за счет ОАО «РЖД», средств Фонда национального благосостояния России (ФНБ) и бюджета [2]. Общая стоимость реконструкции и модернизации Транссиба и БАМа оценивается в 562,4 млрд рублей, из которых 260,2 млрд рублей должны составить госсредства (рис 3).

Реконструкция Транссиба и БАМа должна быть закончена в 2018 году. В результате пропускная способность магистралей будет увеличена до 165 млн тонн грузов в год. Эти мощности должны отвечать потребностям таких сырьевых гигантов, как «Мечел», «Евраз», «СУЭК» и других пользователей. По прогнозам, наибольший рост активности грузовых перевозок ожидается в районе портов Ванино и Советская Гавань.

Глубокая модернизация Транссиба и БАМа является одним из трех масштабных проектов наряду со строительством высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Казань и центральной кольцевой автомобильной дороги в Московской области. В рамках реализации проекта планируется построить и реконструировать:

- порядка 92 станций;
- 47 разъездов;
- более 460 км вторых путей;
- порядка 680 км автоблокировки;
- порядка 19 тяговых подстанций;
- более 350 км контактной сети.

Согласно приложению № 1 к протокольному решению Правительственной комиссии по транспорту от 19 мая 2014 г., необходимо реконструировать и модернизировать следующие участки Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей [3] (табл. 1).

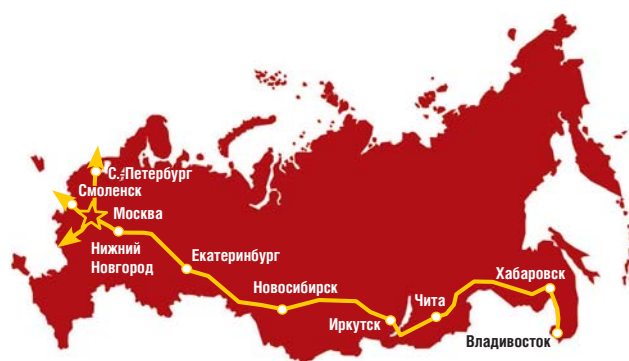


Рис. 1. Направления Транссибирской магистрали

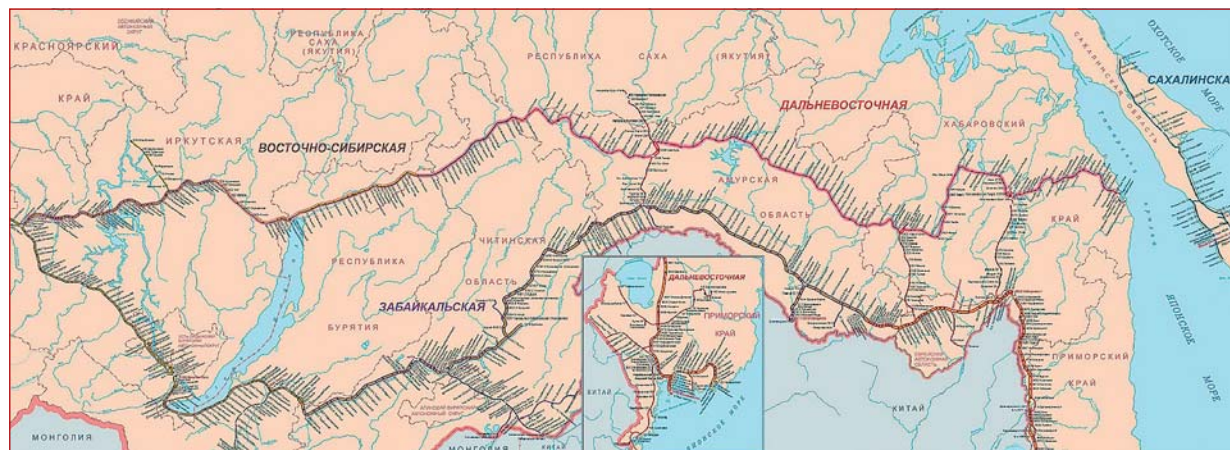


Рис. 2. Восточно-Сибирская, Забайкальская, Дальневосточная и Сахалинская железные дороги

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



* средства, которые необходимо предусмотреть как меры государственной поддержки для сохранения первоначально утвержденных параметров проекта

Рис. 3. Структура и график финансирования проекта реконструкции и модернизации Транссиба и БАМа по годам [3]

Таблица 1

	Наименование дороги	№	Наименование участка	Длина участка, км
Транссиб	Восточно-Сибирская ж. д.	1	Тайшет — Слюдянка	795,9
		2	Слюдянка — Петровский Завод	473,0
	Забайкальская ж. д.	3	Петровский Завод — Чита 1	510,4
		4	Чита 1 — Чернышевск	391,8
		5	Чернышевск — Бамовская	686,9
		6	Бамовская — Белогорск	592,2
	Дальневосточная ж. д.	7	Белогорск — Хабаровск	656,8
		8	Хабаровск — Находка	902,0
БАМ	Восточно-Сибирская ж. д.	9	Тайшет — Лена Вост.	699,2
		10	Лена Вост. — Киренга	155,2
		11	Киренга — Северобайкальск	174,4
		12	Северобайкальск — Таксимо	405,7
		13	Таксимо — Новая Чара	250,2
		14	Новая Чара — Хани	144,4
		15	Хани — Тында	484,7
	Дальневосточная ж. д.	16	Тында — Улак	329,4
		17	Улак — Февральск	505,6
		18	Февральск — Новый Ургал	283,1
		19	Новый Ургал — Постышево	276,3
		20	Постышево — Комсомольск Сорт.	197,8
		21	Комсомольск Сорт. — Ванино	441,7
		22	Тында — Бамовская	178,7
		23	Волочаевка — Комсомольск Сорт.	327,1

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

При всем вышесказанном стоит отметить, что распоряжением Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 1860-р был утвержден сетевой план-график проведения работ по определению основных параметров, направлений и механизмов реализации проекта реконструкции и модернизации Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей (рис. 4). В целях выполнения этого распоряжения ОАО «РЖД» актуализировало Генеральную схему развития железных дорог РФ, а также сформировало инвестпрограмму до 2020 года. Оба документа включают в себя мероприятия по развитию БАМа и Транссиба. При этом проект развития железных дорог Восточного полигона впервые

среди отечественных инфраструктурных программ развития прошел технологический и ценовой аудит на площадке Открытого правительства. В рамках аудита специалистами и экспертами был предложен ряд мер, которые позволили провести оптимизацию проекта и повысить его эффективность [4].

В 2014 г. власти РФ утвердили паспорт проектов, предусматривающий прирост грузовой базы для Транссиба и БАМа от 55 до 66 млн тонн грузов в год, и само решение о выделении средств ФНБ — по 50 млрд рублей в 2014–2016 гг. С нынешнего года планируются уже полномасштабные работы и мероприятия по реконструкции Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей. **ИТ**



Рис. 4. Сетевой план-график проведения работ по определению основных параметров, направлений и механизмов реализации проекта

Список литературы

1. Самуйлов В. М., Галкин А. Г., Бушуев С. В., Неволина А. Д. Транссибирская железнодорожная магистраль (Транссиб) — мост между Европой и Азией // Инновационный транспорт. — 2015. — № 1. — С. 45–48.
2. Дам вам БАМ. — URL: <http://www.gazeta.ru/business/2013/12/17/5808737.shtml>
3. Развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона: доклад начальника Дирекции развития железных дорог Восточного полигона — филиала ОАО «РЖД» Рыбкина В. Г. // XXIII пленарное заседание международной ассоциации «Координационный Совет по транссибирским перевозкам, 4–5 сентября 2014 г., Екатеринбург.
4. Официальный сайт ОАО «РЖД». — URL: http://cargo.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5128&layer_id=3290&id=2221.



Алексей Анатольевич
Ковалев

Aleksey A. Kovalev



Максим Алексеевич
Выборский

Maksim A. Vyborsky

Определение правильности срабатывания дистанционной защиты

Determining accuracy of distance protection operation

Аннотация

Электроснабжение нетяговых железнодорожных потребителей периодически сопровождается перерывами, вызванными короткими замыканиями в линиях электропередачи и силовом электрооборудовании, что приводит к срабатыванию защиты. Для определения правильности срабатывания защиты требуется разработка программного обеспечения, позволяющего в полуавтоматическом режиме осуществлять построение вектора сопротивления при коротком замыкании и характеристик срабатывания различных видов дистанционной защиты при задаваемых исходных данных.

Ключевые слова: короткое замыкание, дистанционная защита, железнодорожный потребитель, автоматизированная система, вектор сопротивления.

Summary

Power supply of non-traction railway consumers is sometimes accompanied by interruptions caused by short circuits in transmission lines and power equipment that trigger protection devices. To determine whether operation of protection devices is correct, a software shall be developed that enables semi-automatic construction of impedance vector at short-circuit and operation parameters of different types of distance protection at predetermined initial data.

Keywords: short-circuit, distance protection, railway consumer, automated system, impedance vector.

Авторы Authors

Алексей Анатольевич Ковалев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | *Максим Алексеевич Выборский*, инженер научно-исследовательской лаборатории «Системы автоматизированного проектирования контактной сети» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Aleksey Anatolyevich Kovalev, PhD in Engineering, Associate Professor, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | *Maksim Alekseyevich Vyborsky*, engineer at research laboratory "Computer-aided systems for catenary design", Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Надежность электроснабжения является одним из главных критериев оценки работы персонала сетевых организаций, занимающихся передачей и распределением электроэнергии. Для повышения этого показателя непрерывно ведется разработка различных улучшений: внедрение новых видов техники, оптимизация процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, внедрение нового программного обеспечения.

С повсеместным распространением новых видов защиты линий электропередачи появляется необходимость анализа их работы для определения правильности срабатывания. Для автоматизации процесса анализа работы устройств дистанционной защиты линий электропередачи ведется разработка программного обеспечения, позволяющего определить, попадает ли измеряемый защитой вектор сопротивления в зону срабатывания измерительного органа дистанционной защиты.

Дистанционная защита определяет полное сопротивление цепи короткого замыкания (КЗ) по измеренному напряжению и току КЗ в месте установки реле. Измеренное полное сопротивление цепи КЗ сравнивается с известным значением сопротивления линии. Если измеренное полное сопротивление цепи КЗ меньше, чем уставка, и попадает в зону срабатывания дистанционной защиты, то это рассматривается как внутреннее короткое замыкание, и подается команда на отключение выключателя. Это значит, что дистанционная защита в самом простом варианте может принять решение по напряжению и току, измеренным в месте установки реле [1].

Однако из-за погрешности измерения расстояния до места короткого замыкания, являющейся следствием погрешностей измерения тока и напряжения, погрешности трансформации и неточного определения полного

сопротивления линии, которое обычно определяется косвенно, 100%-ная защита линии на практике невозможна.

Для обеспечения селективности первой зоны дистанционной защиты при внутренних и внешних коротких замыканиях обеспечивается запас надежности, составляющий 10–15% длины линии относительно противоположного места установки защиты конца. Оставшаяся часть линии с запасом охватывается второй зоной. Третья зона дистанционной защиты служит для резервирования смежной ВЛ и КЗ за силовыми трансформаторами противоположного конца линии в случае отказа защит трансформатора [2].

Зоны действия дистанционной защиты линий приведены на рис. 1.

В качестве примера работы дистанционной защиты рассмотрим осциллограмму с регистратора аварийных событий, установленного на ПС «Михайловская» по ВЛ 110 кВ «Дидино — Михайловская».

Фрагмент осциллограммы приведен на рис. 2, а, б. На данном рисунке видно, что в момент времени 20 мс возникает междуфазное КЗ (фазы «А» и «В»), сопровождающееся значительным увеличением тока и снижением уровня напряжения по фазам «А» и «В».

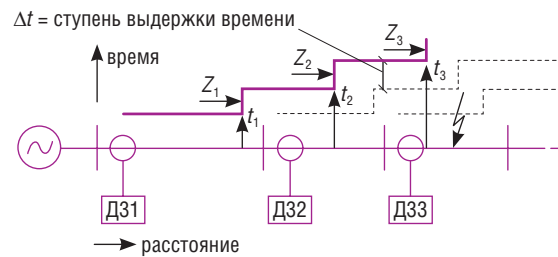


Рис. 1. Зоны действия дистанционной защиты

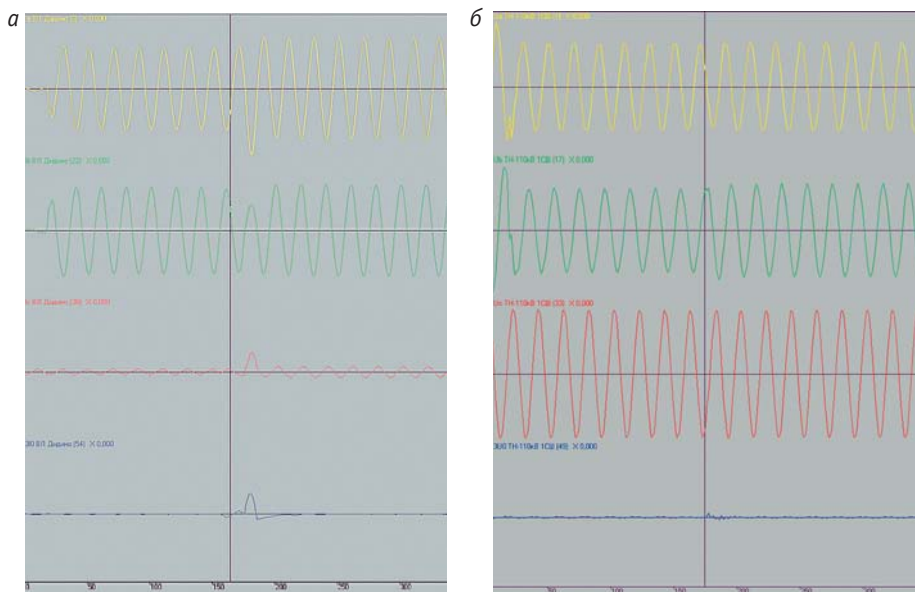


Рис. 2. Фрагмент осциллограммы аварийных событий: значения тока (а) и напряжения (б)

В нормальном (доаварийном) и аварийном режимах работы сети векторные диаграммы токов и напряжений представлены на рисунках 3, а, б, в, г.

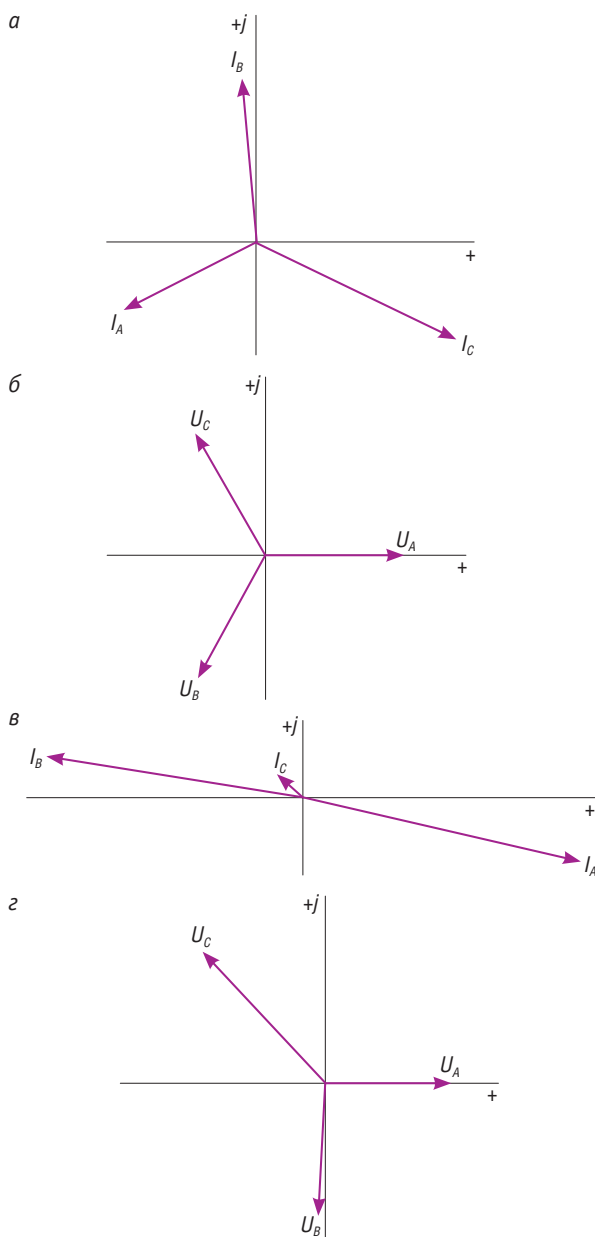


Рис. 3. Векторная диаграмма токов и напряжений в нормальном (а, б) и аварийном (в, г) режимах

Измерение сопротивления линии при коротком замыкании происходит по трем контурам: А-В, В-С, С-А.

Модуль вектора сопротивления, измеряемого дистанционной защитой, является отношением модулей соответствующих векторов токов и напряжений и для контура А-В определяется следующей формулой:

$$|\overline{R}_{AB}| = \frac{|\overline{U}_{AB}|}{|\overline{I}_{AB}|} \quad (1)$$

Угол вектора \overline{R}_{AB} будет равен углу между векторами \overline{U}_{AB} и \overline{I}_{AB} .

Вектор \overline{U}_{AB} находится как разность векторов напряжений фаз А и В:

$$\overline{U}_{AB} = \overline{U}_A - \overline{U}_B \quad (2)$$

Вектор \overline{I}_{AB} находится как разность векторов токов фаз А и В:

$$\overline{I}_{AB} = \overline{I}_A - \overline{I}_B \quad (3)$$

Значения токов и напряжений и их фаз в нормальном и аварийном режимах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение токов и напряжений в нормальном и аварийном режимах

	Нормальный режим	Аварийный режим
I_A	48 А	1248 А
I_B	53 А	1133 А
I_C	72 А	134 А
Φ_{I_A}	207°	347°
Φ_{I_B}	95°	171°
Φ_{I_C}	334°	139°
U_A	66 140 В	46 770 В
U_B	67 660 В	48 360 В
U_C	67 660 В	66 260 В
Φ_{U_A}	360°	360°
Φ_{U_B}	241°	267°
Φ_{U_C}	120°	133°

В системе координат (х; у) положения векторов \overline{U}_A , \overline{U}_B , \overline{I}_A и \overline{I}_B представлены на рис. 4, а, б.

Векторы \overline{I}_A и \overline{I}_B имеют следующие координаты:

$$\overline{I}_A = \{x11; y11\}; \overline{I}_B = \{x21; y21\}.$$

Затем в соответствии с (3) получаем вектор \overline{I}_{AB} (рис. 5).

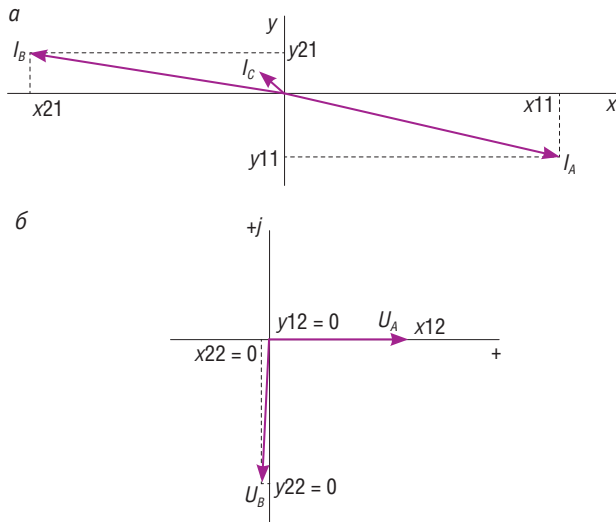


Рис. 4. Положение векторов в системе координат: токов (а), напряжений (б)

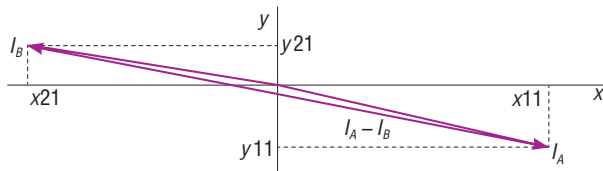


Рис. 5. Изображение вектора \vec{I}_{AB}

Координаты вектора \vec{I}_{AB} будут равны

$$\vec{I}_{AB} = \{x_{11} - x_{21}; y_{11} - y_{21}\}.$$

Векторы \vec{U}_A и \vec{U}_B имеют следующие координаты:

$$\vec{U}_A = \{x_{12}; y_{12}\}; \vec{U}_B = \{x_{22}; y_{22}\}.$$

В соответствии с (2) получаем вектор \vec{U}_{AB} (рис. 6).

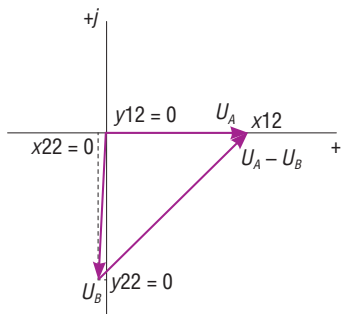


Рис. 6. Изображение вектора \vec{U}_{AB}

Координаты вектора \vec{U}_{AB} будут равны

$$\vec{U}_{AB} = \{x_{12} - x_{22}; y_{12} - y_{22}\}.$$

Построим векторы \vec{U}_{AB} и \vec{I}_{AB} в одной системе координат, отложив их из одной точки с координатами {0;0}, приняв за начало вектора \vec{U}_{AB} конец вектора \vec{U}_A , а за начало вектора \vec{I}_{AB} — конец вектора \vec{I}_A (рис. 7).

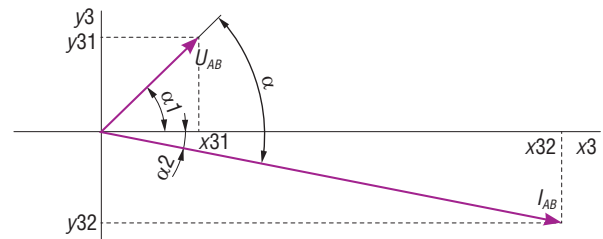


Рис. 7. Изображение векторов \vec{U}_{AB} и \vec{I}_{AB} в новой системе координат

Длины векторов \vec{U}_{AB} и \vec{I}_{AB} в соответствии с [3] находятся следующим образом:

$$|\vec{I}_{AB}| = \sqrt{(x_{11} - x_{21})^2 + (y_{11} - y_{21})^2}, \quad (4)$$

$$|\vec{U}_{AB}| = \sqrt{(x_{12} - x_{22})^2 + (y_{12} - y_{22})^2}. \quad (5)$$

Как было сказано ранее, угол между векторами \vec{U}_{AB} и \vec{I}_{AB} равен углу искомого вектора сопротивления контура А-В R_{AB} . Искомый угол можно найти как сумму двух углов: между векторами \vec{U}_{AB} и \vec{I}_{AB} и осью x:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2. \quad (6)$$

Данные углы находятся следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \arccos \frac{x_{31}}{|\vec{U}_{AB}|} = \\ &= \arccos \frac{x_{12} - x_{22}}{\sqrt{(x_{12} - x_{22})^2 + (y_{12} - y_{22})^2}} = \\ &= \arccos \frac{|\vec{U}_A| \cdot \cos \varphi_{U_A} - |\vec{U}_B| \cdot \cos \varphi_{U_B}}{\sqrt{(|\vec{U}_A| \cdot \cos \varphi_{U_A} - |\vec{U}_B| \cdot \cos \varphi_{U_B})^2 + (|\vec{U}_A| \cdot \sin \varphi_{U_A} - |\vec{U}_B| \cdot \sin \varphi_{U_B})^2}}, \quad (7) \end{aligned}$$

Таблица 2

$$\alpha_2 = \arccos \frac{x_{32}}{|\overline{I_{AB}}|} =$$

$$= \arccos \frac{x_{11} - x_{21}}{\sqrt{(x_{11} - x_{21})^2 + (y_{11} - y_{21})^2}} =$$

$$= \arccos \frac{|\overline{I_A}| \cdot \cos \varphi_{I_A} - |\overline{I_B}| \cdot \cos \varphi_{I_B}}{\sqrt{(|\overline{I_A}| \cdot \cos \varphi_{I_A} - |\overline{I_B}| \cdot \cos \varphi_{I_B})^2 + (|\overline{I_A}| \cdot \sin \varphi_{I_A} - |\overline{I_B}| \cdot \sin \varphi_{I_B})^2}} \quad (8)$$

Подставляя численные значения из табл. 1, получим следующие значения:

$$\alpha_1 = 44,409^\circ; \alpha_2 = 11,159^\circ.$$

Суммарный угол между векторами $\overline{U_{AB}}$ и $\overline{I_{AB}}$ по (6) равен

$$\alpha = 44,409^\circ + 11,159^\circ = 55,568^\circ.$$

Длина вектора сопротивления $\overline{R_{AB}}$ по (1) равна

$$|\overline{R_{AB}}| = 28,99 \text{ Ом.}$$

Для определения правильности срабатывания дистанционной защиты необходимо построить на комплексной плоскости характеристики срабатывания первой и второй зоны дистанционной защиты (уставки приведены в табл. 2) и непосредственно вектор сопротивления короткого замыкания (рис. 8).

Из рис. 8 видно, что вектор сопротивления $\overline{R_{AB}}$ попадает во вторую зону и дистанционная защита отработала правильно, ликвидировав короткое замыкание на линии со временем 1,6 с.

Уставки дистанционных органов

Дистанционная защита	Характеристика защиты	
	Уставка, Ом/ф	Время, с
1-я зона	23	0,1
2-я зона	38	1,6
Угол максимальной чувствительности	65±5°	

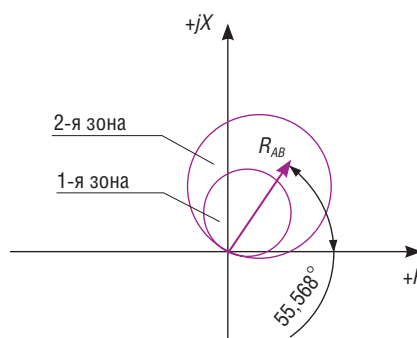


Рис. 8. Изображение характеристик срабатывания и вектора сопротивления на комплексной плоскости

Предлагаемая методика расчета позволяет определить правильность работы дистанционной защиты. В настоящий момент работниками НИЛ «САПР КС» ведется разработка программного обеспечения, которое позволит автоматизировать процесс анализа работы дистанционных защит линий электропередачи. Это даст возможность сократить время на анализ осциллограмм аварийных событий и повысит качество расследования технологических нарушений в энергосистеме. **ИТ**

Список литературы

1. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1992. — 528 с.
2. Дистанционная защита. — URL: <http://lib.rosenergo-servis.ru/sovremennaya-elektroenergetika?start=108> (дата обращения: 14.03.2015).
3. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. — М. : АСТ : Астрель, 2006. — 991 с.



Алексей Владимирович
Владыкин

Aleksey V. Vladykin



Николай Олегович
Фролов

Nikolay O. Frolov

К вопросу о математическом моделировании влияния импульсного инвертора на процессы боксования колесной пары в предельных условиях эксплуатации

The issue of mathematical modeling of the impact of pulse inverter on wheelset spinning processes in extreme operating conditions

Аннотация

Первый накопленный опыт эксплуатации современных электровозов с асинхронными тяговыми двигателями на железных дорогах России наглядно продемонстрировал как положительные, так и отрицательные стороны бесколлекторного тягового привода. К последним следует отнести пульсации вращающего момента на валу двигателя, наличие которых обусловлено принципом изменения скважности импульсов управляющих ключей при реализации алгоритма широтно-импульсной модуляции (ШИМ), и дальнейшее движение возмущающих воздействий в системе «автономный инвертор — асинхронный тяговый двигатель — зубчатая передача — колесная пара». В данной статье раскрываются аспекты функционирования импульсного инвертора, которые должны учитываться при обосновании параметров асинхронного тягового привода и настройке работы противобоксовочной системы.

Ключевые слова: электроподвижной состав, асинхронный тяговый привод, импульсный инвертор, создание силы тяги, боксование колесной пары.

Summary

The first experience of operation of modern electric locomotives with asynchronous traction motors on Russian railways clearly demonstrated both advantages and drawbacks of brushless traction drive. The latter include torque ripple on the motor shaft, resulting from the principle of change in pulse ratio of control keys in implementation of pulse width modulation (PWM) algorithm, and further movement of disturbances in the “autonomous inverter — asynchronous traction motor — gear — wheelset” system. The article describes operational aspects of the pulse inverter, which should be taken into account in validation of asynchronous traction drive parameters and setup of anti-spinning system.

Keywords: electric multiple unit, asynchronous traction drive, pulse inverter, creating traction, wheelset spinning.

Авторы Authors

Алексей Владимирович Владыкин, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: alecs.usurt@mail.ru | **Николай Олегович Фролов**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: nfrolov@usurt.ru

Aleksey Vladimirovich Vladykin, Postgraduate Student, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: alecs.usurt@mail.ru | **Nikolay Olegovich Frolov**, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of “Electric Traction” Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: nfrolov@usurt.ru

Теме обновления эксплуатационного парка в нашей стране на протяжении многих лет не уделялось должного внимания. Такая ситуация на сегодняшний день привела к высокому уровню износа подвижного состава, находящегося на балансе эксплуатационных депо. Общеизвестные пути восстановления заводских характеристик узлов, агрегатов и компонентов в целом, такие как средний и капитальный виды ремонта, способны исправить ситуацию только на некоторый промежуток времени, не изменяя картину в целом.

Рост продолжительности эксплуатации подвижной единицы тесно связан с внедрением современных технологий при проектировании, производстве и эксплуатации. Уделяя особое внимание тяговому приводу как наиболее ответственному и нагруженному компоненту подвижного состава, необходимо обратить внимание на качество питающего напряжения уже повсеместно внедряемых асинхронных машин и всевозможные эксплуатационные последствия выбранного уровня качества.

В Уральском регионе начиная с 2011 г. предприятием ООО «Уральские локомотивы» налажено производство грузовых электровозов серии 2ЭС10 «Гранит» для пространства 1520 с высокими тяговыми показателями и поосным регулированием тяговых усилий. В процессе эксплуатации с декабря 2012 г. по март 2013 г. было выявлено три случая обрыва бандажей колесных пар локомотивов указанной серии, и как следствие, в полном объеме приостановлена эксплуатация всех выпущенных машин до выяснения истинной причины поломки. Рассматривалось множество вероятных причин, способных привести к такой неисправности. На сегодняшний день известно, что коренной причиной явилось невысокое качество производства бандажа [1].

Указанные выше события породили мысль о характерном появлении непредвиденных знакопеременных напряжений (напряжений на разрыв) в бандаже с максимумом непосредственно в плоскости, перпендикулярной окружности и проходящей через пятно контакта колеса и рельса.

В условиях сложного профиля пути и высокой массы состава требуется безукоризненная отдача системы противобоксования. Учитывая работу по предельным значениям выбранной моментной характеристики асинхронного двигателя и абстрактности характеристики сцепления, каждое срабатывание противобоксовочной защиты в условиях эксплуатации приводит к высокой динамической составляющей тягового момента. Изменчивость усилия является источником напряжений на разрыв бандажа колесной пары и даже, вероятно, появления напряжения с обратным знаком, что в конечном итоге может привести к провороту ли-

бо разрыву бандажа и временному прекращению эксплуатации единицы подвижного состава.

Помимо противобоксовочной системы на стабильность в неуставившемся режиме работы двигателя во многом влияет система питания. Так, при использовании инвертора с широтно-импульсной модуляцией непременно появляются гармоники высших порядков, представляемые математически в виде ряда Фурье:

$$f(\omega t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \alpha_1) + \dots + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega t + \alpha_k). \quad (1)$$

При предположении, что асинхронный двигатель питается исключительно гармониками высших порядков, одновременно возникают два противоборствующих режима работы: двигательный и генераторный, из-за чередующегося направления гармоник. С целью установления возможности появления электромагнитного момента и последующего его увеличения в несколько раз через зубчатую передачу целесообразно выполнить математическое моделирование системы (рис. 1) и провести анализ статического и динамического механических моментов на выходе зубчатой передачи. В системе (рис. 1) электрическая энергия с трехфазного автономного инвертора (ЗФАИ) переходит в асинхронный двигатель (АД), где преобразуется в механическую энергию и далее в механическую часть (МЧ), реализуя тяговый момент в пятнах контакта.

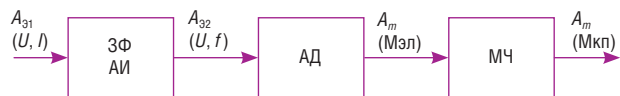


Рис. 1. Функциональная блок-схема преобразования электрической энергии в механическую в асинхронном тяговом приводе

Известно, что проектирование привода ведется, как правило, по основной (первой) гармонике напряжения [2]. Кроме того, зачастую используются некомплексные методы проектирования, предполагающие обособленную разработку каждой из подсистем, основных групп и дальнейшую их компиляцию в одну. Поэтому влияние неучтенных электрических параметров на механические показатели должно отсутствовать. Использование указанного выше метода проектирования приведет к появлению вибраций привода и впоследствии всей подвижной единицы [3].

Определить степень влияния системы питания на выходную механическую характеристику локомотива поможет комплексное математическое моделирование привода, способное отразить совместную работу системы. **ИТ**

Список литературы

1. Селиверстов А. РЖД возвращают в строй электровозы «Гранит» // REGNUM. — 2013. — URL: <http://www.regnum.ru/news/economy/1643592.html> (дата обращения: 11.03.15).
2. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург : УрО РАН, 2000. — 654 с.
3. Kotz Heinz-Peter. A toolkit for Simulation Mechatronics in Railway Vehicles. — 2003. — URL: http://www.simpack.com/uploads/media/um03-siemens_kotz.pdf (дата обращения: 11.03.15).



Константин Михайлович
Колясов

Konstantin M. Kolyasov



Василий Федорович
Лапшин

Vasily F. Lapshin

Влияние профиля обшивки на допускаемое количество циклов нагружения полувагона накладной вибромашиной

Impact of lining profile on the number of allowable load cycles of gondola car when vibration machine is used

Аннотация

Целью настоящей работы явилась оценка влияния профиля обшивки на допускаемое количество циклов нагружения и определение путей повышения эксплуатационной надежности при воздействии вибрационной нагрузки. Решение поставленной задачи выполнялось при помощи виртуальной модели «вибромашина — кузов полувагона — тележка». Показано, что переход на профили обшивки из гладких листов и с продольными сквозными гофрами обеспечивает снижение уровня напряжений в углах гофров на 20 %, а в зонах приварки к стойкам — на 35 %. Отказ от профилей с периодическими гофрами позволяет исключить зависание груза в гофрах и практически обеспечить возможность использования вибротехники при разгрузочных операциях в течение всего межремонтного периода.

Ключевые слова: полувагон, вибромашина, компьютерная модель, цикл нагружения, допускаемое время нагружения.

Summary

The aim of this study was to evaluate the influence of lining profile on the number of allowable load cycles and to determine ways to improve operational reliability under the influence of vibration load. This was achieved by using a virtual model “vibrating machine — gondola car body — bogey”. It is shown that switchover to lining profiles made with smooth sheets and sheets with longitudinal through corrugations reduces the stress in corrugation corners by 20 %, and by 35 % in uprights welding areas. Abandonment of profiles with intermittent corrugations allows to avoid sticking of cargo in corrugations and enables to use vibration machines in unloading operations throughout the entire overhaul period.

Keywords: gondola car, vibrator, computer model, load cycle, allowable load time.

Авторы Authors

Константин Михайлович Колясов, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения» (УрГУПС); e-mail: KKolyasov@usurt.ru | **Лапшин Василий Федорович**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения» (УрГУПС); e-mail: VLapshin@usurt.ru

Konstantin Mikhailovich Kolyasov, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of “Railway Cars” Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia; e-mail: KKolyasov@usurt.ru | **Vasily Fedorovich Lapshin**, DSc in Engineering, Professor, “Railway Cars” Department, Ural State University of Railway Transport (USURT); e-mail: VLapshin@usurt.ru

Актуальность и постановка задачи

Современный этап развития технологий виброразгрузки полувагонов характеризуется:

- переходом на полувагоны с высотой кузова 2365 мм (взамен полувагонов с высотой кузова 1880 и 2060 мм) и предельно допустимым временем вибронегрузки полувагона за межремонтный период — 168 мин;
- увеличением интенсивности подачи вагонов под виброразгрузку до 16 раз в месяц [1] и нередко нарушением требований ГОСТ 22235 [2] по обеспечению сохранности полувагонов при разгрузке с применением вибромашин.

Проведенные ранее обследования технического состояния полувагонов с высотой кузова 2365 мм, подаваемых под разгрузку и очистку от остатков груза с применением вибротехники [3], выявили повышенную повреждаемость элементов боковых стен (рис. 1). Около 90% полувагонов имели отрывы листов обшивки от стоек боковой стены и трещины до 200 мм в углах верхнего и среднего гофров первой и второй панелей. Все это привело к тому, что новая редакция ГОСТ 22235, действующая с 2010 г., запрещает подачу вагонов с высотой кузова 2365 мм под разгрузку с применением вибрационной техники.

Однако установленный запрет не решает проблему обеспечения сохранности таких полувагонов, поскольку их доля в общем парке преобладает. Так, например, перевозка руды в ОАО «Святогор», ЗАО «ПО Режنيкель» и других, расположенных на территории Свердловской железной дороги (по данным на 2011 г.), осуществляется в полувагонах с высотой кузова 2365 мм.

Основной особенностью конструкции боковых стен полувагонов является использование в качестве обшивки листовых профилей с периодически повторяющимися продольными гофрами глубиной 36 мм, яв-

ляющихся концентраторами напряжений. С 2008 г. ведется поиск решений конструктивного исполнения обшивки полувагонов. Для исключения повреждений обшивки ОАО «НПК «Уралвагонзавод» были разработаны конструкции боковых стен с обшивкой: из гладкого листа толщиной 4,5 мм; профилей с продольными сквозными гофрами глубиной 10 ± 2 мм [4].

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы является оценка влияния профиля обшивки на допустимое количество циклов нагружения и определение путей повышения эксплуатационной надежности при воздействии вибрационной нагрузки.

Методика решения задачи

Для исследования нагруженности кузова полувагона в работе использована методика компьютерного моделирования, изложенная в [5]. В основу методики положена модель «вибромашин — кузов полувагона — тележка», включающая не только абсолютно твердые тела (подмодели «вибромашин», «тележка»), связанные посредством шарниров и силовых элементов, но и упругие тела (подмодель «кузов полувагона»).

Идеология построения модели базируется на принципах метода гибридного моделирования, реализованного в аналитической среде «Универсальный механизм» [6]. При формировании общей модели механической системы «вибромашин — кузов — тележка» использовалось контактное взаимодействие типа «точка — плоскость», входящее в стандартный набор программных процедур аналитической программной среды «Универсальный механизм». Для учета упругих свойств кузова в комплексе UM использовался модуль программирования упругих тел UMFEM. Нагружение кузова осуществлялось путем приложения вибрационной нагрузки к верхней обвязке, что соответствует условиям разгрузки полувагонов с применением накладных вибромашин (рис. 2).

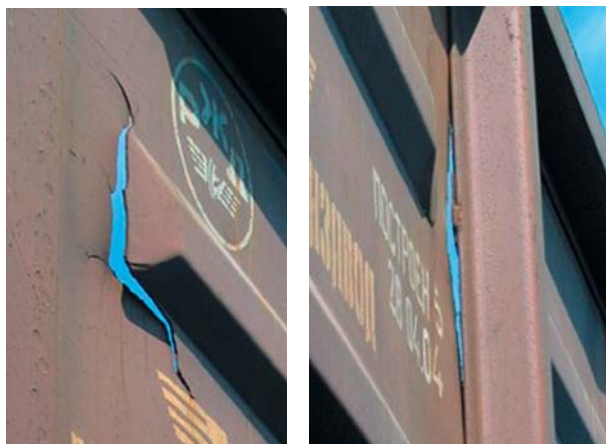


Рис. 1. Повреждения обшивки боковых стен полувагона



Рис. 2. Компьютерная модель механической системы «вибромашин — кузов полувагона — тележка»

Алгоритм решения задачи включал два этапа:

1) оценку степени силового воздействия вибромашин на кузов при разгрузке, получение значений динамических напряжений в элементах обшивки;

2) нахождение допустимого времени [7] (число циклов до появления усталостного повреждения) нагружения кузова вагона вынуждающей силой вибромашин. Общее число циклов за межремонтный период определялось в соответствии с «Нормами...» [7].

В качестве объекта исследования были приняты три варианта конструкции кузова с измененными профилями обшивки боковой стены:

- листовой профиль с продольными периодическими гофрами по ТУ 14-101-789-2008 с толщиной верхнего листа 3,6 мм и нижнего — 4,5 мм;
- гладкие листы с толщиной 4,5 мм;
- листовой профиль с продольными сквозными гофрами по ТУ 14-101-789-2008 с толщиной верхнего листа 3,6 мм и нижнего — 4,5 мм.

На первом этапе выполнена оценка напряженного состояния элементов боковой стены. Расчеты выполнялись при следующих параметрах накладной вибромашин: амплитуда вынуждающей силы 88 кН, масса 7500 кг, частота нагружения 24. Вибромашин устанавливалась над первой тележкой с перекрытием опорными поверхностями двух стоек (шкворневой и первой промежуточной, рис. 2).

При определении допустимого количества циклов нагружения результат во многом зависит от принятого в расчетах допустимого коэффициента запаса усталостной прочности [n]. Как известно [7], для элементов кузова значения коэффициента [n] зависят от надежности исходных данных и типа элемента кузова. Учитывая это, для обшивки кузова в работе допустимое значение принималось равным [n] = 1,5.

Результаты численных экспериментов

При частоте нагружения вынуждающей силой 24 Гц кузова порожнего полувагона (что соответствует с определенной долей приближения технологическому процессу очистки) максимальные динамические напряжения возникают в углах верхних гофров первой и второй панелей, где величина максимальных напряжений составляет 49–55 МПа. Для зон приварки листов обшивки к несущим элементам боковой стены наибольшие по величине напряжения зафиксированы в точках приварки обшивки второй, шестой и седьмой панелей к вертикальным стойкам, уровень напряжений в которых составил 52–66 МПа.

Как показали расчеты, в конструкциях кузовов с альтернативными обшивками (варианты 2 и 3) уровень максимальных напряжений находится в диапазоне 34–51 МПа и 38–50 МПа для обшивки из гладких ли-

стов (вариант 2) и с продольными сквозными гофрами (вариант 3) соответственно. Характерно, что в обшивке из гладких листов максимальные значения приходятся на приварку листов к верхней обвязке, в то время как у обшивки со сквозными гофрами — в зоне приварки к шкворневым и промежуточным стойкам. Согласно расчетам, значения суммарных напряжений для альтернативных вариантов обшивки в среднем на 20–35 % ниже, чем в базовом варианте — с периодическими продольными гофрами.

Очевидным преимуществом альтернативных профилей является исключение зависания груза в выштамповках, что является обычным явлением для полувагонов с обшивкой из листов с периодическими горизонтальными гофрами. В работе выполнен расчет напряжений в обшивке, выполненной по варианту 1, при зависании груза в гофрах.

Расчетами установлено, что максимальные по величине напряжения возникают в средних и нижних гофрах первой, второй, шестой, седьмой панелей, где напряжения достигают 100 МПа. Зависание груза в гофрах панелей приводит также к увеличению напряжений до 84 МПа в зонах приварки листов обшивки к несущим элементам боковой стены.

Таким образом, очевидно, что профиль обшивки оказывает существенное влияние как на уровень динамических напряжений, так и на характер их распределения по элементам боковой стены.

На втором этапе выполнена оценка количества циклов нагружения в пересчете на допустимое время воздействия вибромашин на кузов полувагона, до наступления усталостного повреждения. Расчетным путем установлено, что для типовой конструкции (вариант 1) допустимое время за межремонтный период не должно превышать 85 мин. В случае зависания груза это время снижается до 46 мин.

При переходе на альтернативные профили обшивки удается существенно увеличить время воздействия вибромашин на полувагон при разгрузочных операциях. Так, для варианта с гладкой обшивкой допустимое время составляет 500 мин и лимитируется нагруженностью листов второй панели в зоне приварки к верхней обвязке. В остальных элементах боковых стен этот показатель составляет около 2000 мин, что соответствует 1,5–2 годам эксплуатации полувагона в замкнутых маршрутах [1]. Однако такая обшивка имеет недостаточную изгибную жесткость, что приводит к ее выпучиванию между стойками. Кроме того, за счет большей толщины листа обшивки увеличивается масса тары полувагона. Близкое значение [7] имеет вариант обшивки из профилей с продольными сквозными гофрами (вариант 3). Полученные результаты позволяют рассматривать обшивку из профилей со сквозными гофрами как наиболее целесообразную для полувагонов с высотой кузова 2365 мм.

Аналогичная картина наблюдается и при использовании вибромашин с рабочей частотой нагружения 16 Гц [8]. В обшивке полувагонов с продольными периодическими гофрами максимальное значение напряжений составляет 74 МПа (зона приварки обшивки к шкворневой стойке на уровне среднего гофра). Для полувагонов, выполненных по третьему конструктивному варианту, максимальные напряжения возникают также в зоне приварки листов обшивки к шкворневым стойкам, но величина их не превышает 41 МПа.

Заключение

Таким образом, на основе выполненных в работе численных экспериментов показано, что переход на альтернативные профили обшивки позволяет снизить уровень напряжений в углах гофров в среднем на 20 %, а в зонах приварки к стойкам — на 35 %. Отказ от профилей с периодическими гофрами позволяет исключить зависание груза в гофрах и практически обеспечить возможность использования вибротехники при разгрузочных операциях в течение всего межремонтного периода. **ИТ**

Список литературы

1. Долгих К. О., Лапшин В. Ф. Экспериментальное исследование вибронгруженности кузова полувагона // Вестник транспорта Поволжья. — 2012. — № 2. — С. 44–50.
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 22235-2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. — М. : Изд-во Стандартиформ, 2011.
3. Лапшин В. Ф., Долгих К. О. Обоснование профиля обшивки подвижного состава // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2014. — № 2. — С. 40–46.
4. Повышение ресурса обшивки боковой стены полувагона / К. П. Демин, М. В. Агинских, А. В. Чирков, Д. В. Даниленко // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты. — С-Пб. : ПГУПС, 2009. — С. 52–55.
5. Долгих К. О., Лапшин В. Ф. Методика компьютерного моделирования нагруженности механической системы «вибромашина — кузов вагона — тележка» // Транспорт Урала. — 2012. — № 2. — С. 53–57.
6. Программный комплекс «Универсальный механизм». Руководство пользователя : в 4 ч. — Брянск : Изд-во БГТУ, 2001.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходные). — М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 319 с.
8. Лапшин В. Ф., Долгих К. О. Оценка нагруженности кузова полувагона при воздействии накладных вибротехник с частотой нагружения 16 Гц // Транспорт Урала. — 2014. — № 4. — С. 33–37.



Сергей Алексеевич
Плахотич

Sergey A. Plakhotich



Ирина Сергеевна
Плахотич

Irina S. Plakhotich

О внесении поправок в законодательство железнодорожного транспорта в связи с функционированием владельцев (операторов) подвижного состава и контейнеров

Amendments to railway transport legislation with respect to functioning of owners (operators) of rolling stock and containers

Аннотация

В статье рассматриваются правовые проблемы организации взаимодействия владельцев (имеющих статус оператора) подвижного состава, перевозчиков и грузовладельцев. Приводятся варианты изменения нормативных актов в области железнодорожного транспорта, которые, возможно, решат многие проблемы взаимоотношений между операторами, перевозчиками и грузовладельцами на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: владелец подвижного состава, оператор, перевозчик, владелец инфраструктуры, грузоотправитель, грузополучатель, запрос на подвижной состав, ответственность участников.

Summary

The article deals with the legal issues of organizing interaction between rolling stock owners (having the operator status), carriers and shippers. Possible amendments to regulations in the field of railway transport are proposed, which might address many problems existing between operators, carriers and cargo owners in rail transport industry.

Keywords: rolling stock owner, operator, carrier, infrastructure owner, shipper, consignee, request for rolling stock, responsibility of participants.

Авторы Authors

Плахотич Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), e-mail: Splakhotitch@sugr.usurt.ru. | Плахотич Ирина Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), e-mail: IFrolova@yandex.ru

Sergey Alekseyevich Plakhotich, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of "Stations, Junctions and Freight Work" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), e-mail: Splakhotitch@sugr.usurt.ru | Irina Sergeevna Plakhotich, Senior Lecturer, "Stations, Junctions and Freight Work" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), e-mail: IFrolova@yandex.ru

В области перевозочной деятельности железнодорожного транспорта важную роль играет федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» от 10.01.2003 г. № 18-ФЗ (далее — Устав [4]). Данный закон регулирует отношения, возникающие между перевозчиками, пассажирами, грузоотправителями (отправителями), грузополучателями (получателями), владельцами инфраструктур железнодорожного транспорта общего пользования, владельцами железнодорожных путей необщего пользования, другими физическими и юридическими лицами при пользовании услугами железнодорожного транспорта общего пользования (далее — железнодорожный транспорт) и железнодорожного транспорта необщего пользования, и устанавливает их права, обязанности и ответственность.

Устав определяет основные условия организации и осуществления перевозок пассажиров, грузов, багажа, грузобагажа, оказания услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования и иных связанных с перевозками услуг. Действие Устава распространяется также на перевозки грузов, грузобагажа, погрузка и выгрузка которых осуществляются в местах общего и необщего пользования, включая железнодорожные пути необщего пользования, а также на строящиеся железнодорожные линии, примыкающие к железнодорожным путям общего пользования.

За 12 лет действия Устава было внесено девять поправок. Последние изменения касались страховых выплат пострадавшим пассажирам и родственникам погибших пассажиров вследствие нарушения перевозчиком правил безопасности пассажирских перевозок.

В Государственную Думу РФ 22 июля 2013 года Правительство РФ [1] внесло очередные серьезные изменения и дополнения, касающиеся деятельности на транспортном рынке владельцев подвижного состава, в том числе операторов грузовых вагонов и контейнеров.

Так, в статье 2 Устава предлагается изменить некоторые основные понятия:

1) «перевозчик — юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, принявшие на себя по договору перевозки железнодорожным транспортом общего пользования обязанность доставить пассажира, вверенный **отправителем** **предъявителем**¹ груз, багаж, грузобагаж, *не принадлежащий им порожний грузовой вагон*², а также выдать груз, багаж, грузобагаж, *порожний грузовой вагон* управомоченному на его получение лицу (получателю)»;

2) «грузоотправитель (отправитель) — физическое или юридическое лицо, которое по договору перевозки выступает от своего имени и указано в перевозочном документе, вверенный им перевозчику груз, **багаж**, гру-

зобагаж, *не принадлежащий им порожний грузовой вагон* (далее — *порожний грузовой вагон*), контейнеры»;

3) «грузополучатель (получатель) — физическое или юридическое лицо, управомоченное на получение груза, **багажа**, грузобагажа, *порожного грузового вагона*»;

4) «перевозочный документ — документ, подтверждающий заключение договора перевозки груза, *порожного грузового вагона* (транспортная железнодорожная накладная) или удостоверяющий заключение договора перевозки пассажира, багажа, грузобагажа (проездной документ (билет), багажная квитанция, грузобагажная квитанция)».

А вот предлагаемая Правительством РФ редакция используемого понятия в Уставе получилась не совсем полная. На наш взгляд, должна быть следующая редакция: «железнодорожные пути общего пользования — железнодорожные пути на территориях железнодорожных станций, открытых для выполнения операций по приему и отправлению поездов, приему и выдаче грузов, багажа, грузобагажа, *порожних грузовых вагонов* по обслуживанию пассажиров, **грузоотправителей (отправителей)**, **грузополучателей (получателей)** и выполнению сортировочных и маневровых работ, а также железнодорожные пути, соединяющие такие станции».

В ст. 2, 3, 4, 22, 31 Устава и другие статьи данного закона также включены слова «порожние грузовые вагоны», и не будем на этом останавливаться, за исключением отдельных изменений. Например, понятие оператор стало более «свободным» от привязки обязанности предоставления грузовых вагонов и контейнеров только перевозчику, т. е. ОАО «РЖД»: «*оператор — оператор железнодорожного подвижного состава, контейнеров, которым является юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, имеющие железнодорожный подвижной состав, контейнеры на праве собственности или ином праве и оказывающие услуги по предоставлению этого железнодорожного подвижного состава, контейнеров для перевозок железнодорожным транспортом юридическим или физическим лицам*».

Только одно непонятно в этом определении. Каким именно «физическим лицам» осуществляется предоставление подвижного состава? Наверное, индивидуальным предпринимателям и гражданам, не осуществляющим предпринимательскую деятельность? В частном случае, если гражданин решит отправить в вагоне или контейнере домашние вещи в другой город при переезде, то тогда справедливо. Но гражданину будет затруднительно разобраться в правовых перипетиях транспортных отношений. Гражданин, как потребитель транспортных услуг, не должен обременяться дополнительными проблемами.

¹Синим цветом выделена предлагаемая редакция автора.

²Курсивом выделены слова из текста законодательной инициативы Правительства РФ.

В ст. 3 Устава второй абзац предлагается изложить в новой редакции, что должно учитывать новые реалии времени — активное участие операторов грузовых вагонов и контейнеров: «*Правила перевозок грузов и порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом (далее — правила перевозок грузов железнодорожным транспортом) представляют собой «Правовые акты, которые содержат нормы, обязательные для перевозчиков, владельцев инфраструктур, операторов и иных владельцев железнодорожного подвижного состава, контейнеров, грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей), владельцев железнодорожных путей необщего пользования, других юридических и физических лиц, и регулируют порядок приема грузов (порожних грузовых вагонов), контейнеров, не принадлежащих перевозчику, к перевозке и порядок их выдачи, определяют условия перевозки грузов (порожних грузовых вагонов), контейнеров с учетом их особенностей, безопасности движения, сохранности грузов, железнодорожного подвижного состава, контейнеров, а также с учетом экологической безопасности. Положения настоящего Устава, регулирующие отношения, связанные с перевозкой грузов, применяются к отношениям, связанным с перевозкой не принадлежащих перевозчику порожних грузовых вагонов и контейнеров, если иное не установлено настоящим Уставом».*

По законодательному проекту Правительство РФ в ст. 7 Устава предлагает включить дополнительные положения, учитывающие интересы Вооруженных Сил РФ: «*В случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, перевозчики, операторы, иные владельцы железнодорожного подвижного состава, контейнеров обязаны предоставить принадлежащий им железнодорожный подвижной состав, контейнеры уполномоченной организации железнодорожного транспорта для их использования в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов, а также создаваемых на военное время специальных формирований.*

Количество единиц железнодорожного подвижного состава, контейнеров, сроки их передачи, период их использования в интересах указанных войск, формирований и органов определяются уполномоченной организацией самостоятельно, исходя из заявляемых войсками, формированиями и органами потребностей в перевозках.

Возмещение убытков, понесенных перевозчиками, операторами, иными владельцами железнодорожного подвижного состава, контейнеров в связи с предоставлением их железнодорожного подвижного состава, контейнеров уполномоченной организации, осуществляется в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации».

Очень важную ст. 11 Устава дополнили следующим текстом:

«Форма заявки, правила и порядок ее оформления и представления, форма учетной карточки для учета выполнения заявки, порядок ее ведения и оформления устанавливаются правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом. Заявки на перевозку порожних грузовых вагонов не представляются».

С целью упорядочить начальные отношения между владельцами грузовых вагонов и контейнеров (в том числе операторов), перевозчиком и владельцем инфраструктуры железнодорожного транспорта предлагается по-новому изложить ст. 12 Устава:

«Для согласования перевозки порожних грузовых вагонов (контейнеров) отправитель до предъявления к перевозке данных вагонов (контейнеров) представляет Перевозчику запрос на перевозку порожних грузовых вагонов (далее — запрос).

Перевозчик согласовывает запрос с владельцем инфраструктуры.

Владелец инфраструктуры вправе отказать в согласовании запроса по основаниям, предусмотренным для отказа в согласовании владельцем инфраструктуры заявки.

Перевозчик вправе отказать в согласовании запроса в следующих случаях:

- 1) введение, согласно ст. 29 настоящего Устава, прекращения или ограничения погрузки, перевозки грузов, порожних грузовых вагонов по маршруту следования порожних грузовых вагонов;
- 2) отказ владельца инфраструктуры в согласовании запроса;
- 3) обоснованное отсутствие технических и технологических возможностей осуществления перевозки порожнего грузового вагона;
- 4) иной случай, предусмотренный настоящим Уставом, иными федеральными законами и нормативными правовыми актами.

Перечень критериев технических и технологических возможностей осуществления перевозки порожних грузовых вагонов, отсутствие которых является для перевозчика и владельца инфраструктуры основанием отказа в согласовании запроса, утверждается федеральным органом исполнительной власти в области железнодорожного транспорта.

Форма запроса и порядок его согласования устанавливаются правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом».

Применение термина «запрос» оправдано, так как «заявка» предъявляется при перевозках грузов, а вагоны и контейнеры — это транспортные средства, но никак не груз.

Ст. 20 Устава, где речь идет порядке подачи вагонов, контейнеров, предлагается дополнить абзацами, серьезно затрагивающими интересы грузоотправителей и грузополучателей:

«При обнаружении технической неисправности и (или) непригодности для перевозки конкретного груза подаваемых под погрузку вагонов, контейнеров,

не принадлежащих перевозчику, перевозчиком составляется акт общей формы.

Замена таких вагонов, контейнеров на исправные (пригодные) обеспечивается грузоотправителем.

При невыполнении перевозчиком заявки по причине технической неисправности и (или) непригодности для перевозки конкретного груза подаваемых под погрузку вагонов, контейнеров, не принадлежащих перевозчику, перевозчик освобождается от ответственности по ст. 94 настоящего Устава за невыполнение заявки».

Почему замена неисправного и непригодного вагона и контейнера возлагается на грузоотправителя? Это возможно только в случае наличия договора между грузоотправителем и собственником контейнеров о подводе вагонов и контейнеров; в предлагаемом тексте об этом речь не идет. Далее, зачем в эту статью включать положения о случае освобождения перевозчика от ответственности за невыполнение заявки? Ст. 117 Устава уже содержит перечень обстоятельств, освобождающих перевозчика от ответственности за невыполнение заявки. Можно было бы просто добавить в ст. 117 Устава предлагаемое обстоятельство освобождения перевозчика от ответственности.

Четвертый абзац ст. 29 Устава гласит:

«Ограничение погрузки и перевозки грузов, грузобагажа на отдельные железнодорожные станции в связи с необеспечением выгрузки грузополучателями или неприемом вагонов железными дорогами иностранных государств проводится владельцем инфраструктуры с немедленным уведомлением перевозчиков и федерального органа исполнительной власти в области железнодорожного транспорта».

Правительством РФ предлагается заменить четвертый абзац ст. 29 Устава следующим текстом:

«Ограничение погрузки и перевозки грузов, грузобагажа, порожних грузовых вагонов на отдельные железнодорожные станции в связи с необеспечением выгрузки грузополучателями (получателями), неприемом порожних грузовых вагонов получателями (грузоотправителями) в нарушение ст. 36 настоящего Устава или неприемом вагонов железными дорогами иностранных государств проводится владельцем инфраструктуры с немедленным уведомлением перевозчиков и федерального органа исполнительной власти в области железнодорожного транспорта».

Такая же ситуация с четвертым абзацем ст. 31 Устава.

Текст:

«За время простоя вагонов, контейнеров в ожидании переадресовки по не зависящим от перевозчика или владельца инфраструктуры обстоятельствам грузоотправителем, грузополучателем вносится плата за пользование вагонами, контейнерами по договору, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации. В случае задержки переадресовки грузов по вине перевозчика плата за пользование вагонами, контейнерами не вносится».

Замена:

«За время простоя вагонов, контейнеров в ожидании переадресовки по причинам, зависящим от грузоотправителя (отправителя), грузополучателя (получателя), указанными лицами вносится перевозчику плата за пользование вагонами, контейнерами, принадлежащими перевозчику, а также плата за занятие железнодорожных путей общего пользования железнодорожным подвижным составом независимо от его принадлежности. Соответственно, перевозчиком вносится плата владельцу инфраструктуры за предоставление железнодорожных путей общего пользования для нахождения на них железнодорожного подвижного состава. Размеры указанных выплат устанавливаются соглашением сторон, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации».

А как быть с монопольным положением владельца инфраструктуры железнодорожного транспорта по отношению к перевозчикам и собственникам подвижного состава (операторам)? Существует действующее Тарифное руководство № 2 («Сборы за пользование грузовыми вагонами и контейнерами на железнодорожном транспорте»), и не надо применять договорные тарифы за пользование железнодорожными путями общего пользования.

В абзацы 3 и 4 ст. 33 Устава предлагается включить фразу: «...срока доставки (с учетом корректировки в соответствии с правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом)».

Возникает вопрос: что это за «корректировка срока доставки», если за нарушение срока доставки груза перевозчиком ст. 97 Устава предусмотрена ответственность перевозчика. Это значит, что разрешается нарушать ст. 114 Устава, когда любые соглашения об устранении или ограничении ответственности перевозчика считаются недействительными. Это правило действует на железных дорогах России с 1888 г.

При этом предлагается ст. 33 Устава дополнить абзацем следующего содержания:

«Порожние грузовые вагоны считаются доставленными в срок, если до истечения указанного в транспортной железнодорожной накладной срока доставки (с учетом корректировки в соответствии с правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом (что за корректировка такая? — Авт.)) перевозчик подал получателю уведомление о прибытии порожних грузовых вагонов на железнодорожную станцию назначения» (в какой срок? — Авт.).

Законопроект предусматривает включение в ст. 36 Устава дополнительного абзаца:

«Получатель (грузоотправитель, отправитель) вправе отказаться от приема порожнего грузового вагона, контейнера, прибывшего в его адрес под погрузку конкретного груза, если он не может быть использован под погрузку этого груза по причине технической неисправности или непригодности в коммерческом отношении».

Возникает вопрос: эти вагоны прибыли по договору между получателем и собственником подвижного состава? Кто будет возмещать расходы перевозчику и владельцу инфраструктуры за возврат этих вагонов? Тем более, в ст. 20 Устава в предлагаемой законопроектом редакции ответственность несет получатель неисправных и непригодных вагонов, контейнеров. Если получатель таких транспортных средств откажется от использования под погрузку, какие у него есть гарантии освобождения от ответственности за невыполнение заявки, если такие транспортные средства поступили не по вине получателя? И почему в ст. 116 Устава (основания освобождения грузоотправителя (отправителя) от ответственности за невыполнение заявки на отправку груза) Правительство РФ не предусмотрело обстоятельство, освобождающее грузоотправителя (отправителя) от ответственности за невыполнение заявки на перевозку груза из-за поступления неисправных и непригодных транспортных средств под погрузку не по вине грузополучателя (получателя)?

В законопроекте Правительства РФ предлагается ст. 39 дополнить перечнем оснований внесения платежей владельцу инфраструктуры железнодорожного транспорта за время нахождения вагонов в адрес грузополучателей (грузоотправителей) из-за задержки или нахождения транспортных средств на путях станций этого владельца:

«За нахождение порожних или груженых вагонов, в том числе с контейнерами, или иного железнодорожного подвижного состава независимо от их принадлежности на железнодорожных путях общего пользования, в том числе в местах общего пользования, по причинам, не зависящим от владельца инфраструктуры, перевозчик вносит владельцу инфраструктуры плату за предоставление железнодорожных путей общего пользования для нахождения на них железнодорожного подвижного состава (далее — плата за простой вагонов в перевозочном процессе) в течение всего времени:

- ожидания погрузки, выгрузки, подачи, приема вагонов, контейнеров;
- нахождения вагонов под таможенными операциями, в том числе при выполнении работ по инициативе или указанию таможенных органов либо иных органов государственного контроля (надзора);
- задержки вагонов в пути следования, в том числе на промежуточных железнодорожных станциях из-за неприема железнодорожной станцией назначения. (По чьей вине? А если неприем по вине владельца инфраструктуры, то кто отвечает за это? — Авт.);
- задержки вагонов, контейнеров под грузовыми операциями свыше технологического времени, установленного договорами для выполнения таких операций.

Если в указанных случаях вагоны находились на железнодорожных путях общего пользования, в том числе в местах общего пользования, по причинам, зависящим от грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей), владельцев железнодорожных путей необщего пользования, указанные лица вносят перевозчику плату за занятие железнодорожных путей общего пользования железнодорожным подвижным составом, которая включает плату за простой вагонов в перевозочном процессе и другие затраты и расходы перевозчика, связанные с таким занятием. Если перевозчик является одновременно и владельцем инфраструктуры, то плата за занятие железнодорожных путей общего пользования железнодорожным подвижным составом вносится грузоотправителем (отправителем), грузополучателем (получателем), владельцем железнодорожных путей необщего пользования непосредственно владельцу инфраструктуры как перевозчику.

За время нахождения вне перевозочного процесса порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, в том числе в местах общего пользования, по причинам, зависящим от владельцев вагонов (в том числе перевозчиков, являющихся владельцами вагонов), указанные лица вносят владельцу инфраструктуры плату за предоставление железнодорожных путей общего пользования для нахождения на них железнодорожного подвижного состава, не задействованного в перевозочном процессе (далее — плата за простой вагонов вне перевозочного процесса). Указанная плата не взимается с владельцев вагонов, являющихся владельцем инфраструктуры, на которой находятся данные вагоны.

Размеры указанных в настоящей статье выплат определяются соглашением сторон, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации.

Грузоотправители (отправители), грузополучатели (получатели), владельцы железнодорожных путей необщего пользования, обслуживающие грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей) своими локомотивами, освобождаются от выплат, связанных с нахождением вагонов на железнодорожных путях (занятием путей) в следующих случаях:

- простой вагонов произошел по причинам, не зависящим от грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей), владельцев железнодорожных путей необщего пользования или владельцев вагонов;
- обстоятельства непреодолимой силы, военные действия, блокада, эпидемия вызвали перерыв движения на железнодорожном пути необщего пользования, а также иные обстоятельства, при которых запрещено выполнять операции по погрузке, выгрузке грузов;
- вагоны не приняты к перевозке в связи с прекращением или ограничением приема к перевозке грузов, грузобагажа, порожних грузовых ваго-

нов в случаях, предусмотренных ст. 29 настоящего Устава, по причинам, зависящим от перевозчика».

В ст. 44 Устава установлены правила уборки, выгрузки и очистки транспортных средств после этого. Законопроект Правительства РФ предусматривает дополнительные требования в отношении владельцев вагонов (контейнеров) в развитии ранее указанных правил:

«После выгрузки грузов из вагонов, не принадлежащих перевозчику, в местах общего пользования владелец вагонов, который был указан в транспортной железнодорожной накладной на перевозку выгруженного груза, или грузополучатель по указанию этого владельца вагонов обязан в течение двадцати четырех часов с момента выгрузки обеспечить (это правило справедливо при наличии права выхода на пути общего локомотива у представителя железнодорожного пути необщего пользования) уборку порожних вагонов, не принадлежащих перевозчику, с железнодорожных путей общего пользования или предъявить такие вагоны, контейнеры для перевозки.

По истечении двадцати четырех часов с момента выгрузки грузов (контейнеров) из вагонов, не принадлежащих перевозчику, владелец вагонов, который был указан в транспортной железнодорожной накладной на перевозку выгруженного в месте общего пользования груза (контейнера), вносит плату за простой вагонов вне перевозочного процесса, предусмотренную ст. 39 настоящего Устава, за все время нахождения таких вагонов на железнодорожных путях общего пользования с момента выгрузки грузов (контейнеров).

Если в течение трех суток с момента выгрузки грузов (контейнеров) из вагонов владелец вагонов не обеспечил уборку вагонов из мест общего пользования или не обеспечил в установленном порядке предъявление таких вагонов для перевозки, плата за простой вагонов вне перевозочного процесса (в нормативных актах термина «внеперевозочный процесс» нет, а значит, возможна «вольность» в трактовании как перевозчиком, так и владельцем инфраструктуры — Авт.) взимается в пятикратном размере (от чего? — Авт.) за каждые последующие сутки после третьих (чем это обосновано? — Авт.) суток с момента выгрузки грузов (контейнеров)».

Последний абзац предлагаемого законопроекта Правительства РФ очень опасен при вольном толковании термина «внеперевозочный процесс». Так как нередки случаи, а практика это подтверждает, что перевозчик месяцами не выводит вагоны (контейнеры) после выгрузки с мест необщего пользования после своевременного уведомления о готовности уборки вагонов (контейнеров) грузополучателем. Тем самым перевозчик или владелец транспортных средств на основании п. 3.7 Правил эксплуатации и обслуживания железнодорожных путей необщего пользования [2] обязан убрать вагоны (транспортные средства) после вы-

грузки (погрузки) с железнодорожных путей необщего пользования «не менее чем через два часа после уведомления» о готовности к уборке. Но предельный срок после двух часов не определен. Значит, убрать вагоны перевозчик может хоть через какое время (например, через месяц), а наказания для такой задержки по уборке в Уставе не предусмотрено. Следовательно, владелец транспортных средств или перевозчик, если вагоны (контейнеры) не принадлежат грузовладельцу или перевозчику, может «безнаказанно» пользоваться железнодорожными путями необщего пользования неограниченно и бесплатно!

Опять полный конфликт правовых норм в дополнительном абзаце в ст. 58 Устава (регулирующей отношения между перевозчиком и грузовладельцем в части подачи и уборки вагонов на пути необщего пользования):

«За работу локомотивов, принадлежащих перевозчикам, по подаче и уборке вагонов перевозчиками взимается сбор с грузоотправителей, грузополучателей, владельцев железнодорожных путей необщего пользования по договору, если иное не установлено законодательством Российской Федерации.

За подачу и уборку перевозчиком вагонов по принадлежащим ему железнодорожным путям необщего пользования с грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей), владельцев других железнодорожных путей необщего пользования перевозчиком (опять?) взимается сбор, включающий плату за работу локомотива, принадлежащего перевозчику, и плату за использование железнодорожного пути необщего пользования, принадлежащего перевозчику».

Законом «О железнодорожном транспорте в РФ» [3] не предусмотрено, чтобы у перевозчика были во владении железнодорожные пути необщего пользования.

«За подачу и уборку перевозчиком вагонов по не принадлежащим ему железнодорожным путям необщего пользования с грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей) перевозчиком взимается сбор, включающий плату за работу локомотива, принадлежащего перевозчику.

Если подача и уборка вагонов по железнодорожным путям необщего пользования, принадлежащим перевозчику (???), осуществляется локомотивом владельца других железнодорожных путей необщего пользования или иного лица, с грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей) и указанных владельцев железнодорожных путей необщего пользования или иных лиц перевозчиком взимается плата за использование железнодорожного пути необщего пользования, принадлежащего перевозчику.

Размеры указанных сбора и платы устанавливаются соглашением сторон (когда для этого существует Тарифное руководство № 3, утвержденное Федеральной службой по тарифам), если иное не установлено законодательством Российской Федерации».

Также внесены дополнения в ст. 63 Устава — об использовании с согласия владельца (пользователя) железнодорожного пути необщего пользования для размещения своих вагонов (контейнеров), в части использования их путей для прохода вагонов (контейнеров) контрагентов по отдельному договору.

В связи с введением в участие перевозки грузов владельцев транспортных средств (в том числе операторов грузовых вагонов и контейнеров) изменилась кардинально ст. 94 Устава, предусматривающая ответственность грузоотправителей и перевозчика за невыполнение принятой заявки на перевозку грузов. При этом уточнено, что перевозчик несет ответственность только за неподачу вагонов, принадлежащих перевозчику, в других случаях у перевозчика «совесть чиста»:

«Основаниями для возникновения ответственности грузоотправителя за невыполнение принятой заявки являются:

- неиспользование поданных вагонов, контейнеров;
- неподача вагонов, контейнеров перевозчиком по причинам, зависящим от грузоотправителя, в том числе невнесение им платы за перевозку грузов и иных причитающихся перевозчику платежей, если иной порядок внесения этой платы не предусмотрен соглашением сторон;
- отказ грузоотправителя от предусмотренных заявкой вагонов, контейнеров;
- отсутствие собственных или арендованных и предусмотренных в заявке вагонов, контейнеров по причинам, зависящим от грузоотправителя или организации, с которой у грузоотправителя заключен договор, регламентирующий обеспечение такими вагонами, контейнерами».

Правительством РФ предлагается заменить эту часть ст. 94 Устава следующим текстом:

«Основаниями для возникновения ответственности грузоотправителя за полное или частичное невыполнение принятой заявки являются:

- *непредъявление к перевозке предусмотренного принятой заявкой количества груза в тоннах (если перевозка установлена в вагонах и тоннах) или*

количества контейнеров (если перевозка установлена в контейнерах), в том числе по причине необеспечения замены вагонов, контейнеров в случае, установленном статьей 20 настоящего Устава;

- *неподача вагонов, контейнеров перевозчиком по причинам, зависящим от грузоотправителя, в том числе по причине невнесения им платы за перевозку грузов и иных причитающихся перевозчику платежей, если иной порядок внесения этой платы не предусмотрен соглашением сторон;*
- *отказ грузоотправителя от предусмотренных заявкой вагонов, контейнеров;*
- *отсутствие не принадлежащих перевозчику и предусмотренных в заявке вагонов, контейнеров по причинам, зависящим от грузоотправителя или организации, с которой у грузоотправителя заключен договор, регламентирующий обеспечение такими вагонами, контейнерами.*

Основанием для возникновения ответственности перевозчика за невыполнение принятой заявки является *неподача по вине перевозчика грузоотправителю под погрузку вагонов, контейнеров в количестве, предусмотренном согласованной заявкой, или подача под погрузку принадлежащих перевозчику вагонов, контейнеров, непригодных для перевозок конкретного груза».*

Ст. 120 Устава расширила перечень оснований и лиц, имеющих право предъявления претензий к перевозчику в случае нарушения последним условий договора перевозки. Теперь предлагается до суда предъявлять претензии при нарушении договоров перевозки порожнего грузового вагона (контейнера) и лицам, являющимся владельцами грузовых вагонов (контейнеров) по договорам перевозки.

В итоге можно сказать, что рассмотренный проект законопроекта Правительства РФ необходим. На железнодорожном транспорте действует более 2500 владельцев (операторов) подвижного состава, и правила их функционирования не полностью урегулированы нормативно правовой базой. В новой редакции Устав в какой-то части решит ряд проблем. **ИТ**

Список литературы

1. О внесении проекта Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» и Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»: внесение на рассмотрение Государственной Думы РФ проекта федерального закона от 22.07.2013 г., № 4357п-П9.
2. Правила эксплуатации и обслуживания железнодорожных путей необщего пользования: приказ МПС России от 18.06.2003 г., № 26; зарегистрированы в Минюсте России 19.06.2003 г., пер. № 4764. — URL: <http://base.garant.ru/186037/>
3. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации: федеральный закон РФ от 10.01.2003 г., № 17-ФЗ // Российская газета. — 2003. — № 3122, 18 января. — URL: <http://www.rg.ru/2008/08/26/geldordok.html>.
4. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации от 10.01.2003 г.: вступил в силу 19.05.2003 г. // Собр. законод. РФ. — 2003. — № 2. — Ст. 170.



**Александр Владимирович
Сурин**

Aleksandr V. Surin

Автоматизация расчета оперативного сменно-суточного плана поездообразования и поездной работы железной дороги при сквозной технологии планирования

Automated calculation of operational shift-day train formation and train operation plan of a railway in the context of end-to-end planning technology

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы автоматизированного расчета оперативного сменно-суточного плана поездообразования и поездной работы железной дороги. Показаны недостатки ручного планирования, отмечена проблема нехватки информации для выполнения автоматизированного расчета. Предложена методика формирования недостающей информации, описан процесс автоматизированного расчета плана.

Ключевые слова: сменно-суточное планирование, поездообразование, поездная работа, автоматизированная система управления, исходные данные, поездопотоки, имитационная модель, результаты расчета.

Summary

The article deals with automated calculation of operational shift-day train formation and train operation plan of a railway. The drawbacks of manual planning are shown, the issue of the lack of information for automated calculation is highlighted. A method for creation of the missing information is proposed, automated plan calculation process is described.

Keywords: shift-day planning, train formation, train operation, automated control system, source data, train traffic, simulation model, calculation results.

Авторы Authors

Александр Владимирович Сурин, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: saleks-ek@yandex.ru

Aleksandr Vladimirovich Surin, PhD in Engineering, Senior Lecturer, "Management of Exploitation Work" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: saleks-ek@yandex.ru

Производством в хозяйстве движения является перевозочный процесс. Его качественные показатели во многом зависят от того, насколько слаженно сработают дирекция движения и подразделения, обеспечивающие перевозочный процесс, — дирекции тяги и инфраструктуры. Для согласования работы дирекций осуществляется оперативное сменно-суточное планирование.

В настоящее время продолжается автоматизация основных функций диспетчерского управления перевозками на железной дороге. Однако тема автоматизации такой важной функции, как оперативное сменно-суточное планирование поездообразования и поездной работы железной дороги, по-прежнему остается актуальной в виду сложности и важности проблемы.

Несмотря на автоматизированное представление информации об объекте управления, с точки зрения интеллектуальной составляющей работа диспетчера осталась на уровне ручной технологии. Из системы «ГИД-Урал» диспетчер получает информацию о дислокации поездов. Из АСУ линейных районов — информацию о наличии вагонов на сортировочных станциях и подходе к ним, о наличии вагонов на станциях маршрутной погрузки. Полученные из АСУ данные фиксируются ручкой на бумаге, так же как и результаты расчета плана. Для уточнения необходимой информации и передачи распоряжений по плану используется телефон.

Для облегчения расчета плана необходима его автоматизация. Перед автоматизацией любого процесса проводится его системный анализ. Оперативное сменно-суточное планирование поездообразования и поездной работы дороги реализуется в границах сложной системы с множеством иерархически организованных объектов. Сегодня для обследования подобных объектов используется системный анализ с применением функционального моделирования по методологии IDEF0. На железнодорожном транспорте этот подход пока не нашел широкого применения. Подробный анализ сквозной технологии оперативного сменного-суточного планирования поездообразования и поездной работы железной дороги изложен в статье [1].

В результате системного анализа выявлены недостатки существующей системы планирования; определены функции, которые необходимо автоматизировать для расчета прогноза поездообразования и продвижения поездов; определены виды моделей для автоматизации этих функций прогноза.

К недостаткам существующей системы планирования относятся следующие:

- отсутствие обобщающей информации в одной информационной системе;
- расчет плана выполняется вручную на бумаге;
- процесс планирования занимает продолжительное время;

- диспетчер в процессе планирования отвлекается от оперативного руководства перевозочным процессом;
- качество планирования зависит от опыта работника.

Анализ информации и функционала эксплуатируемых информационных систем показал, что информационную основу для планирования можно получить из них. При этом существует недостаток систем интеллектуальной обработки данных. Сократить этот дефицит должны системы, построенные на основе математических моделей.

Поскольку железнодорожная станция, а тем более дорога, являются сложными системами, это накладывает особые требования к моделям и инструментам моделирования. Они должны адекватно отображать инфраструктуру объекта моделирования, технологию работы и ее взаимодействие с инфраструктурой, стохастические процессы в моделируемой системе, а также учитывать управление. Многие математические методы, которые используются в других задачах расчета и инструментах моделирования, не учитывают или учитывают не в полной мере все вышеуказанные критерии. Для расчета прогноза работы сортировочных станций и прогноза движения поездов по участкам выбран метод имитационного моделирования.

Имитационная модель поездной работы дороги представляет собой объединение множеств моделей движения поездов по участкам, входящим в состав полигона, и моделей обработки поездов на участковых и сортировочных станциях. Принципы построения моделей поездообразования, движения поездов по участкам и принципы организации взаимодействия описаны в статье [2].

Задача наполнения имитационной модели сменного-суточного планирования исходной информацией существенно отличается от задачи текущего планирования, так как объектом является множество взаимодействующих станций на полигоне дороги, а не отдельно взятая станция. Исходные данные по поездо- и вагонопотокам для модели продвижения поездов такие же, как и для модели станции.

Рассматривая период расчета 48 часов, была обнаружена нехватка исходной информации. На рис. 1 приведены поездопотоки, по которым есть информация на момент начала расчета, на примере станции Войновка. Это информация о поездах и вагонах на станции Войновка и подходе поездов на 24 часа. Но специфика дороги такова, что информация о подходе поездов на момент начала расчета соответствует тому подходу, который реально придет на станцию, так как он будет изменен сортировочными станциями, находящимися с западной стороны на подходе к ней, со временем хода от них от 12 часов до 24 часов.

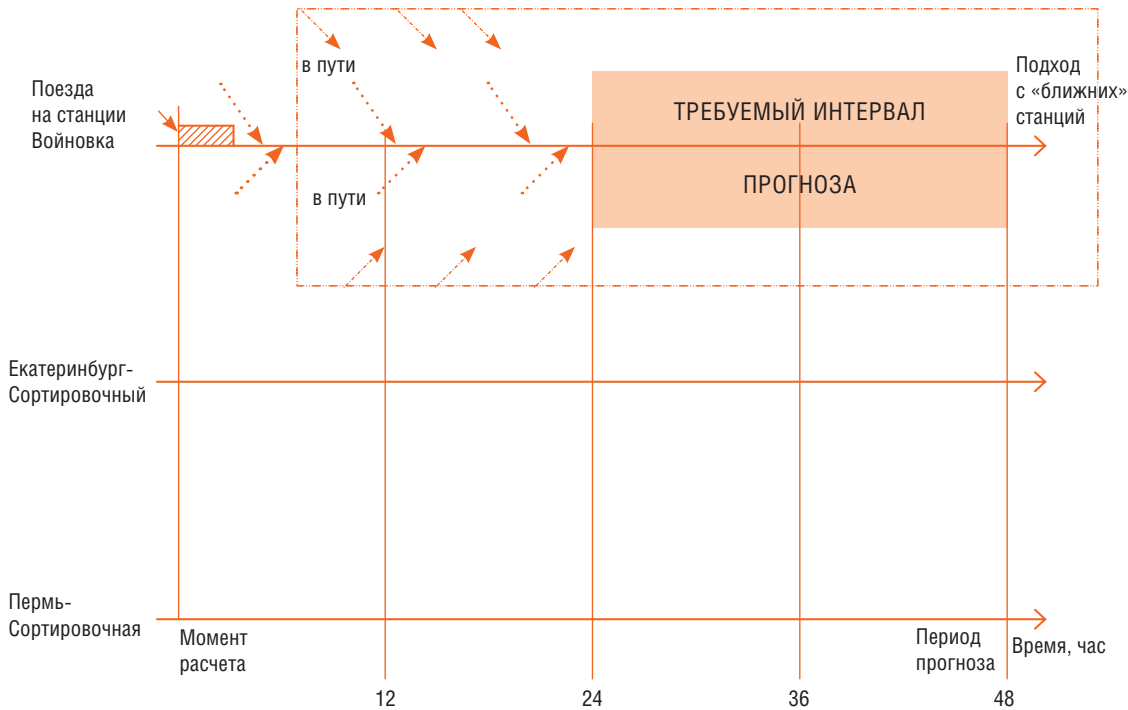


Рис. 1. Поездотоки на момент начала расчета прогноза поездообразования

Основными источниками данных являются информационные системы. Из них принимается информация о наличии поездов на подходе к дороге, поездов на полигоне дороги, вагонов на сортировочных и грузовых станциях, работающих с маршрутами. Результаты расчетов моделей являются источниками информации для пользователей и могут служить источниками информации для моделей. Таким образом, сформировался еще один источник информации для формирования моделей.

Выходной информацией из результатов расчета моделей прогноза поездообразования являются моменты отправления поездов на период расчета, прогнозные составы поездов своего формирования. Выходной информацией из результатов расчета моделей движения поездов по участку являются моменты прибытия поездов на период расчета на станции, ограничивающие участок (рис. 2).

Информация, полученная из результатов расчета моделей, позволяет увеличивать период расчета всех моделей полигона при их взаимодействии. В результате взаимодействия моделей, включенных в модель полигона, по средствам передачи информации между ними и исходной информации из информационных систем формируется модель полигона на период расчета 48 часов. Взаимосвязь данных при построении моделей прогноза поездообразования на полигоне дороги представлена на рис. 3.

На рис. 4 представлены поездотоки для расчета прогноза поездообразования на примере станции Войновка при взаимодействии моделей.

Для расчета прогноза поездообразования и поездной работы дороги необходимо выполнить в правильной по-

следовательности расчеты на частных моделях, входящих в общую модель. Таким образом, расчет плана поездообразования и поездной работы дороги выполняется в несколько этапов по ходу продвижения поездотока по полигону дороги, на каждом из этапов производятся расчеты на имитационных моделях.



Рис. 2. Входная и выходная информация имитационных моделей

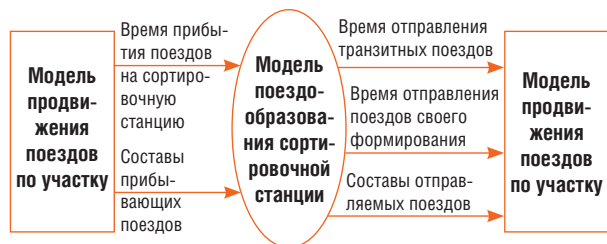


Рис. 3. Взаимосвязь данных при построении моделей прогноза поездообразования на полигоне дороги

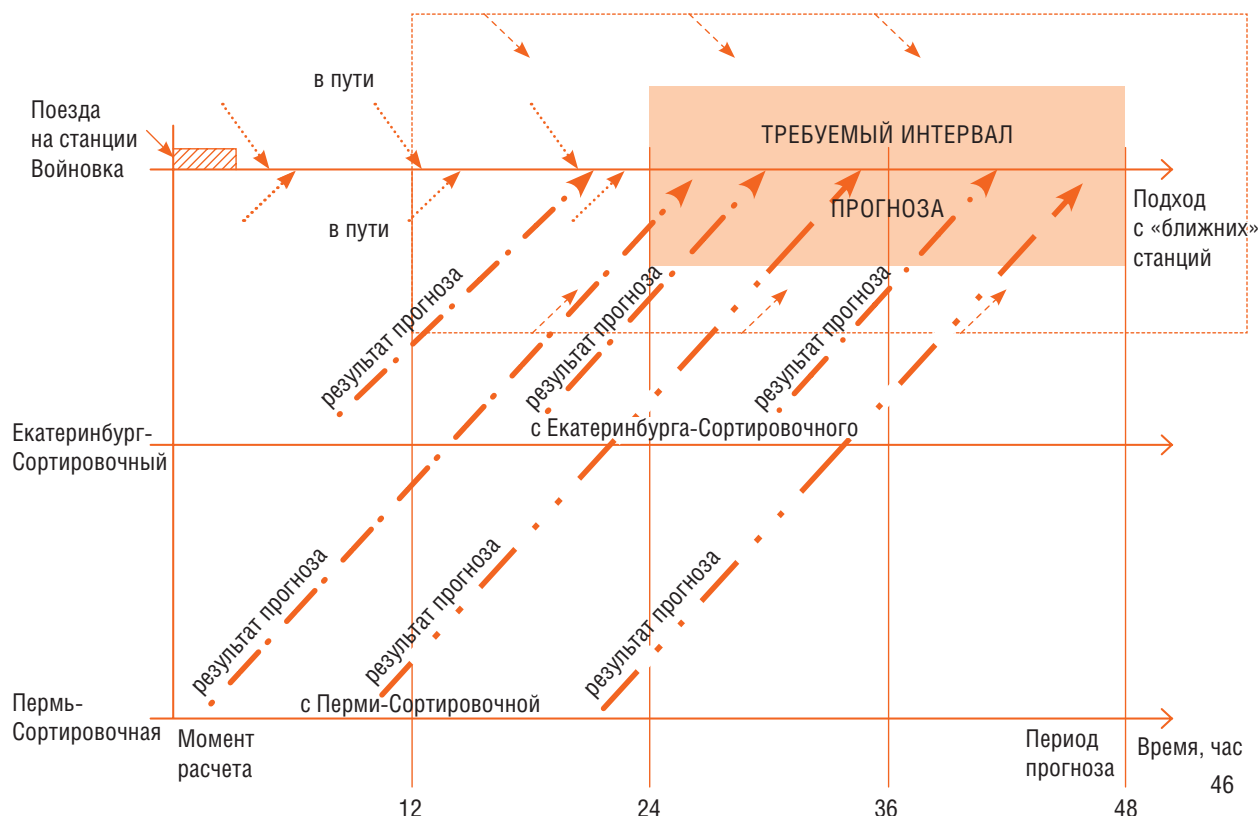


Рис. 4. Поездотоки для расчета прогноза поездообразования станции Войновка при взаимодействии моделей

Проведенные экспериментальные расчеты на моделях показали адекватность результатов реальным процессам на полигоне дороги.

Разработанная методика была положена в основу системы «Расчет сдачи поездов по стыкам». Применение данного программного средства позволило изменить технологию расчета плана поездообразования и поездной работы.

Расчет оперативного сменно-суточного плана поездообразования и поездной работы дороги начинается со сбора информации о текущем поездном положении и дислокации вагонов на сортировочных и грузовых станциях. Диспетчерский аппарат уровня управления районов может корректировать подвоз поездов к сортировочным станциям и пропуск транзитных поездов. После корректировок выполняется многоэтапный расчет плана поездообразования и поездной работы.

Результаты расчета плана могут использовать поездные диспетчеры для организации поездной работы, дорожные диспетчеры для расчета плана сдачи поездов и вагонов по стыкам, для передачи информации в центр управления тяговыми ресурсами для планирования работы локомотивов и локомотивных бригад.

Сравнительный анализ двух процессов планирования — вручную и с помощью программного средства — проводился по хронометражу более чем по 20 элементам планирования, по качеству планирования — по количеству рассчитанных поездов по каждому междорожному стыку и по дороге. Анализ показал, что автоматизированный расчет дает существенно более высокую точность по контрольному времени продвижения поездов по полигону дороги. Кроме того, диспетчерский аппарат затрачивает на ручное прогнозирование более трех часов, а автоматизированный прогноз выполняется за 15–20 минут, т. е. выигрыш во времени примерно в 10 раз. **ИТ**

Список литературы

1. Александров А. Э., Сурин А. В. Системный анализ сквозной технологии оперативного планирования поездообразования и поездной работы // Транспорт Урала. — 2011. — № 4. — С. 63–66. — ISSN 1815-9400.
2. Александров А. Э., Сурин А. В. Имитационные модели и их взаимодействие в автоматизированной сквозной технологии оперативного планирования поездообразования и поездной работы // Транспорт Урала. — Екатеринбург, 2012. — № 3 (34). — С. 54–57. — ISSN 1815-9400.



Антон Сергеевич Матушкин
Anton S. Matushkin



Дмитрий Германович Неволин
Dmitry G. Nevolin

Коррекция навигационных данных транспортного средства

Correction of vehicle navigation data

Аннотация

В статье представлен обзор существующих спутниковых систем навигации транспортных автомобильных потоков, рассмотрен алгоритм коррекции навигационных данных.

Ключевые слова: спутниковая навигация, системы управления автомобильными транспортными потоками, алгоритм коррекции данных навигации.

Summary

The article provides an overview of the existing road traffic satellite navigation systems; navigation data correction algorithm is examined.

Keywords: satellite navigation systems, road traffic control systems, navigation data correction algorithm.

Авторы Authors

Антон Сергеевич Матушкин, аспирант кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: innotrans@mail.ru

Anton Sergeevich Matushkin, Postgraduate Student, "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Dmitry Germanovich Nevolin, DSc in Engineering, Professor, full member of the RAT, Head of "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru

Введение

В настоящее время спутниковая навигация применяется в различных сферах деятельности, таких как авиация, спутниковый мониторинг движения транспорта, геодезия, картография, исследование тектоники и др. Не удивительно, что доступная на безвозмездной основе система достигла такой популярности — практически в каждом смартфоне присутствует модуль спутниковой навигации.

Однако значения погрешности измерений при помощи таких систем, которые зависят от многих условий, являются в чистом виде недостаточно точными, чтобы использовать их для некоторых целей, требующих высокой точности и стабильности входных данных.

Разработка систем управления транспортными потоками, технологии диспетчеризации авиатранспорта, интеллектуальные средства передвижения, в том числе автоматически управляемые автомобили и средства обеспечения безопасности автомобиля, требуют большой точности входных данных для лучшей работы, устойчивости функционирования навигационной системы в сложных ситуациях и приемлемого быстродействия [1].

По этой причине разработчики систем, использующих спутниковую навигацию, применяют различные математические методы и алгоритмы для приведения исходных данных с датчиков к требуемому виду, а также комбинирование различных видов навигации: спутниковой и инерциальной для движущихся объектов, лазерных датчиков для ориентирования в окружающей обстановке.

Навигационные системы

При определении местоположения такого объекта, как движущийся по дороге автомобиль, используют два вида навигации: инерциальную и спутниковую.

Каждый из видов обладает определенными качествами, параметрами и недостатками.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) имеют в своем составе датчики линейного ускорения (акселерометры) и угловой скорости (гироскопы или пары акселерометров, измеряющих центробежное ускорение). С их помощью можно определить отклонение связанной с корпусом прибора системы координат от системы координат, связанной с Землей, получив углы ориентации. Линейное отклонение координат в виде широты, долготы и высоты определяется путем интегрирования показаний акселерометров.

Принцип работы спутниковых систем навигации (СНС) основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый

приемник до начала измерений. Обычно приемник сохраняет альманах в памяти со времени последнего включения и, если он не устарел, мгновенно использует его. Каждый спутник передает в своем сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений на основе альманаха можно вычислить положение объекта в пространстве.

Типичная точность современных GPS-приемников в горизонтальной плоскости составляет примерно 6–8 м в идеальных условиях — при хорошей видимости спутников. А в случае с маломощными портативными приемниками мобильных телефонов и подобных устройств, использующих технологию A-GPS, точность определения местоположения не превышает 20 м и в затрудненных городских условиях может снижаться до сотен метров, что вызывает проблемы с определением местоположения автомобиля даже в рамках квартала.

Так, например, специалист, занимающийся расчетом городского трафика, приводит в своей статье следующую информацию: «Потребительские GPS-устройства определяют координаты с погрешностью, поэтому треки очень «шумные». Это усложняет не только расчет средних скоростей, но и привязку треков к графу, например, когда дороги проходят близко друг к другу (рис. 1). Полосы магистралей движутся с разными скоростями, поэтому на одном и том же участке треки могут одновременно показывать существенно разную скорость».

Таким образом, можно сделать вывод, что для навигации автомобиля в городе важным может быть расположение приемника с точностью до полосы движения, ширина которой редко превышает 4 м. В то же время стандартные GPS-приемники сотовых телефонов и навигаторов не могут дать достаточно ровный и незашумленный трек, чтобы его можно было в чистом виде использовать для определения местоположения и параметров движения движущегося автомобиля.

Рассмотрим **особенности инерциальной навигационной системы:**

1. Высокая точность определения положения и скорости в краткосрочном периоде.
2. Точная информация о положении в пространстве.
3. Точность уменьшается со временем.
4. Высокая скорость получения данных.
5. Автономность.
6. Отсутствие сбоя в получении данных.
7. Подвержена влиянию внешних факторов, не учитываемых датчиками.

Особенности спутниковой системы:

1. Высокая точность определения положения и скорости в долгосрочном периоде.
2. Информация о положении в пространстве с большой долей шума.
3. Постоянная точность, независимая от времени.
4. Низкая скорость получения данных.

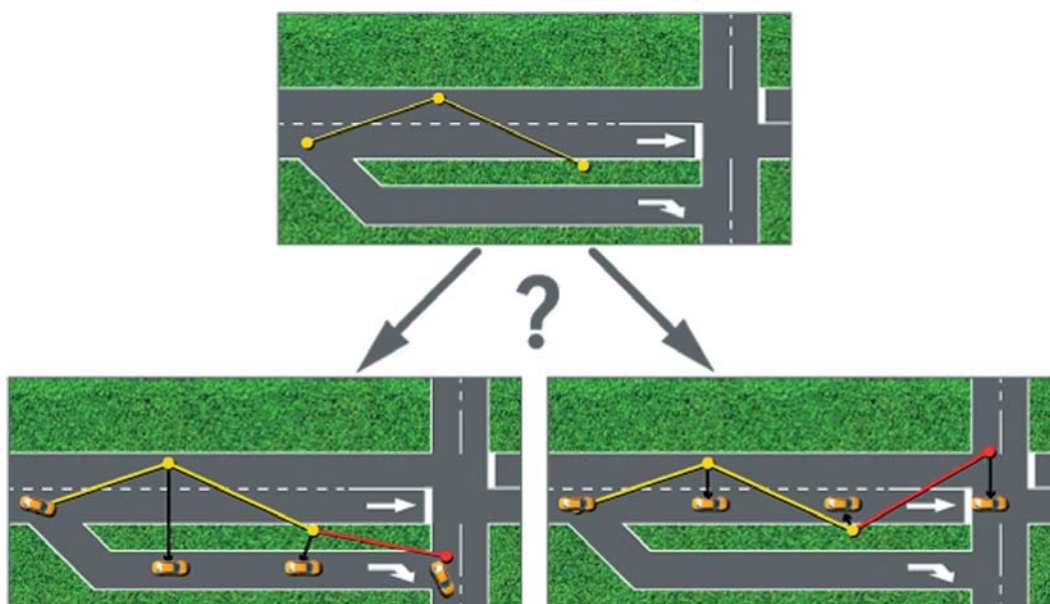


Рис. 1. Пример спутникового трека автомобиля и проблем с предсказанием его движения

5. Неавтономность.
6. «Проскальзывание цикла» и потеря синхронизации.
7. Нечувствительность к внешним факторам.

Объединенная система навигации, включающая в себя как данные инерциальной системы, так и данные спутниковых систем, комбинирует достоинства двух систем и обладает следующими особенностями:

1. Высокой точностью определения положения и скорости.
2. Высокой точностью определения положения в пространстве.
3. Высокой скоростью данных.
4. Функционированием даже в случае сбоя в получении GPS-сигнала.
5. Обнаружением потерь синхронизации и проскальзываний цикла.

Точность совмещенной системы зависит от точности обеих систем: для однократного или периодического определения абсолютного положения объекта в пространстве может использоваться спутниковая навигация, для постоянного слежения за положением объекта хорошо подходит инерциальная навигационная система, накопленная ошибка которой периодически корректируется спутниковой системой.

В таком случае мы получаем достоинства обеих систем, недостатки которых взаимно компенсируются.

1. Алгоритмы коррекции

Для коррекции данных спутниковых наблюдений часто используют фильтр Калмана, оценивающий общий вектор динамики системы, используя данные неполных и зашумленных измерений.

Фильтр Калмана — это, наверное, самый популярный алгоритм фильтрации, используемый во многих областях науки и техники. Благодаря своей простоте и эффективности его можно встретить в GPS-приемниках, обработчиках показаний датчиков, при реализации систем управления и т. д. (рис. 2).

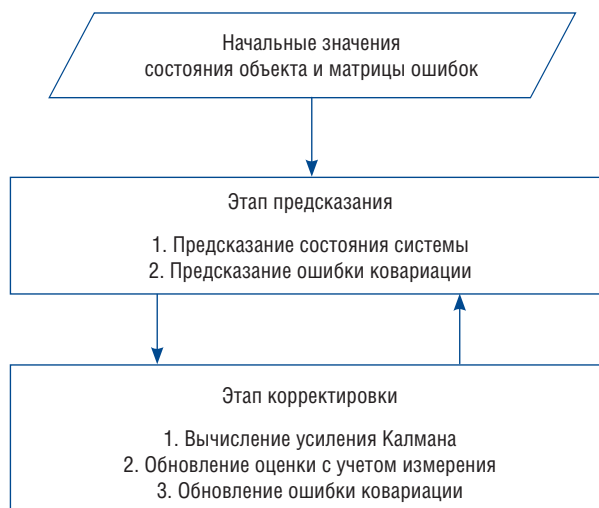


Рис. 2. Схема действия фильтра Калмана

Исследование, направленное на установление результатов компенсации потери и погрешности GPS-сигнала с помощью инерциальных датчиков при использовании фильтра Калмана, дает следующие результаты.

На рис. 3 представлены изображения зарегистрированных траекторий движения специально оборудованного транспортного средства в сложных городских условиях с использованием только модуля GPS (красный) и комбинации GPS с использованием ИНС (синий).

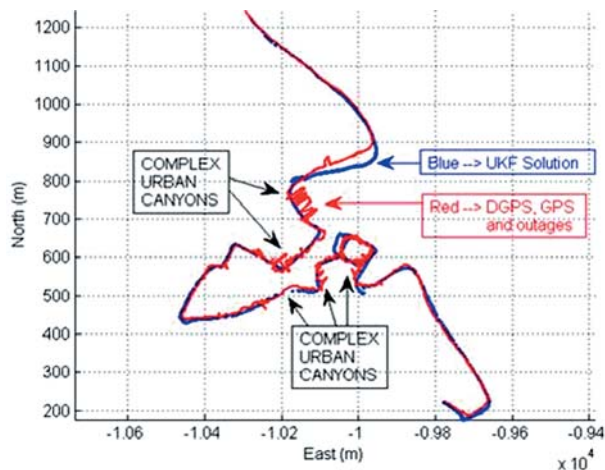


Рис. 3. График движения объекта в городских условиях

На основе исследования сделаны выводы об успешном применении комбинирования данных ИНС и СНС для обхода сложностей в использовании СНС. При помощи оборудования умеренной стоимости можно достигнуть стабильной работы навигационной системы в городских условиях, туннелях, крытых помещениях, парковках. Решение может использоваться для планирования дорожного движения, проектирования автономных транспортных средств (без участия водителя), системы предупреждения столкновений и других задач.

На приведенном рисунке невооруженным глазом видны зоны потери уверенного GPS-сигнала и компенсации его с помощью ИНС.

Заключение

Ни одна из навигационных систем, используемых в чистом виде, независимо от другой системы и без применения алгоритмов коррекции, не является универсальной и не предоставляет высокой точности данных на любом промежутке времени. Причиной тому в случае инерциальной навигационной системы служит невозможность определения изначального местоположения и ориентации в пространстве, в случае со спутниковой навигационной системой — низкая точность измерений, вызываемая множеством факторов, негативно влияющих на нее, а также большой период этих измерений.

Однако объединение систем навигации обладает выгодными свойствами, позволяющими получить результаты измерений местоположения высокой точности в любой момент времени. Улучшение свойств объединенной системы происходит за счет компенсации недостатков каждой системы преимуществами другой.

Для коррекции данных навигационных систем подходит фильтр Калмана. Алгоритм в чистом виде обладает рядом недостатков, но возможна его модификация и настройка, которые позволяют снизить влияние недостатков на результат.

Рассмотрение готовых решений в сфере корректировки навигационных данных показало, что большое их количество основано на фильтре Калмана, модифицированном под особенности каждого случая. Многие решения успешно эксплуатируются в сфере навигации как автомобилей и общественного транспорта, так и низкоорбитальных спутников, атмосферных зондов, морского транспорта, литосферных плит. **ИТ**

Список литературы

1. Неволин Д. Г., Демин А. А. Организация информационного обеспечения светофорного хозяйства крупных городов // Инновационный транспорт. — 2012. — № 1. — С. 59–62.



Дмитрий Германович
Неволин

Dmitry G. Nevolin



Владимир Леонидович
Новоселов

Vladimir L. Novosyolov

Математическое моделирование динамического процесса в тормозном приводе полуприцепа

Mathematical modeling of dynamic processes in brake actuator of a semi-trailer

Аннотация

В данной статье предложены методика и теоретические основы расчета пневматического привода тормозов полуприцепа и проверки его соответствия ведущему международному документу по автомобильным тормозным системам — правилам № 13 ЕЭК ООН.

Ключевые слова: полуприцеп, тормозная система, тормозной привод, тормозные силы.

Summary

This paper proposes the method and theoretical basis to design pneumatic actuator in semi-trailer brakes and to verify its compliance with the leading international instrument applicable to automotive brake systems — UNECE Regulation No. 13.

Keywords: semi-trailer, braking system, brake actuator, brake force.

Авторы Authors

Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: dnevolin@e1.ru | Владимир Леонидович Новоселов, старший преподаватель кафедры «Электротехника и транспортное производство» Челябинского института путей сообщения — филиала ФГБОУ ВПО УрГУПС (ЧИПС УрГУПС), Челябинск; e-mail: vladimir.l.n@yandex.ru

Dmitry Germanovich Nevolin, DSc in Engineering, Professor, full member of the RAT, Head of "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | Vladimir Leonidovich Novosyolov, Senior Lecturer, "Electrical Engineering and Transport Industry" Department, Chelyabinsk Institute of Railway Transport, a subsidiary of FSBEI HPE USURT (CHIRS USURT), Chelyabinsk; e-mail: vladimir.l.n@yandex.ru

Широкое распространение автопоездов в последние десятилетия явилось важной причиной развития и значительного усложнения пневматических тормозных приводов. Благодаря высокой надежности, простоте компоновки тормозной системы, сравнительно несложной автоматизации, легкости пополнения и аккумуляирования запасов сжатого воздуха, возможности использования пневматики для нетормозных потребителей (систем открывания дверей и регулирования давления в шинах, стеклоочистителей и т. п.), пневматический привод тормозов автопоездов является очень перспективным.

По сравнению с автомобилями, автопоезда имеют ряд конструктивных особенностей:

- большую длину трубопроводов пневматического привода;
- запаздывание торможения прицепа при опережающем торможении тягача;
- перераспределение нагрузок на колеса многоосного прицепа при торможении.

Это вносит некоторые изменения в динамические модели торможения, которые были разработаны ранее для автомобилей.

Покажем расчет пневматического привода тормозов на примере четырехосного полуприцепа производства ООО «Спец-АвтоВосток».

Рассчитаем давление в ресиверах на полуприцепе при первом торможении для 9 ресиверов: V_p — наполняемый объем; $V_p = 0,02 \cdot 9 = 0,18 \text{ м}^3$.

Повышение температуры при наполнении рабочей полости:

$$T_2 = K_1 \cdot T_T, \quad (1)$$

где K_1 — показатель адиабаты, $K_1 = 1,336025$; T_T — температура сжатого воздуха в трубопроводе на входе в емкость, $T_T = 300 \text{ К}$.

$$T_2 = 1,336025 \cdot 300 = 400,8075 \text{ К}.$$

d_n — диаметр пневмоцилиндра (тормозной камеры) на полуприцепе; $d_n = 188 \text{ мм} = 0,188 \text{ м}$:

$$dn = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_{\text{расч}}}}, \quad (2)$$

где Q — усилие на штоке пневмоцилиндра (тормозной камеры), приложенное к рычагу разжимного кулака на радиусе R и создающее на кулаке разжимные силы P_1 и P_2 , которые определяют исходя из заданного тормозного момента; $P_{\text{расч}}$ — расчетное давление в пневмомагистрали; $P_{\text{расч}} = 1\,000\,000 \text{ Па}$.

Рассчитаем усилие на штоке пневмоцилиндра перед торможением на полуприцепе. Из формулы (2)

$$Q = \frac{\pi \cdot d_n^2 \cdot P_{\text{расч}}}{4}.$$

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,188^2 \cdot 1\,000\,000}{4} = 27745,04 \text{ Н}.$$

Найдем разжимные силы P_1 и P_2 ; $P_1 = P_2$, что актуально для большинства случаев:

$$P_{1,2} = \left(\frac{Q \cdot R}{d} \right) \cdot \left(\frac{1 - f \cdot B}{A} \right), \quad (3)$$

где R — плечо действия силы Q ; $R = 128 \text{ мм} = 0,128 \text{ м}$; A и B — коэффициенты; $A = 1,2$, $B = 1,5$; $d/2$ — плечо (радиус) действия сил P_1 и P_2 со стороны разжимного кулака на тормозные барабаны; $d/2 = 0,0191 \text{ м}$; $d = 0,0382 \text{ м}$; f — площадь поперечного сечения канала дросселя; $f = 0,35 \text{ м}^2$.

$$P_{1,2} = \left(\frac{27745,04 \cdot 0,128}{0,0382} \right) \cdot \left(\frac{1 - 0,35 \cdot 1,5}{1,2} \right) = 36829,01 \text{ Н}.$$

В соответствии с правилами ЕЭК ООН № 13 [1] («Испытания типа «0» — эффективность рабочей тормозной системы»), принят следующий норматив эффективности: сумма сил, воздействующих на периферию тормозящих колес, должна соответствовать как минимум 45% от максимальной массы, приходящейся на колеса неподвижного транспортного средства.

Определим сумму сил, действующих на тормозные барабаны со стороны разжимающего кулака:

- для сдвоенных колес:

$$P_1 + P_2 = P_{1,2} \cdot 2 = 36829,01 \cdot 2 = 73658,02 \text{ Н}.$$

- суммарная сила:

$$(P_1 + P_2) \cdot 8 = 73658,02 \cdot 8 = 589264,16 \text{ Н};$$

8 — число сдвоенных колес.

$P_{(\text{бар})}$ — суммарная сила сжатия тормозных барабанов:

$$P_{(\text{бар})} = \frac{(P_1 + P_2) \cdot 8}{i}, \quad (4)$$

где i — передаточное число кулачкового механизма; $i = 2,2$.

$$P_{(\text{бар})} = \frac{589264,16}{2,2} = 267847 \text{ Н}.$$

В соответствии с правилами ЕЭК ООН № 13, испытания тормозных свойств проводятся на полностью нагруженном транспортном средстве (полуприцепе), нагруженном равномерно; распределение нагрузок на оси должно соответствовать руководству по эксплуатации и техническим условиям.

Для четырехосного полуприцепа четверть нагрузки приходится на седельно-сцепное устройство тягача, которое передается через гусачную часть полуприцепа, а три четверти нагрузки передаются через колеса полуприцепа.

$m_{(кол)}$ — максимальная масса, приходящаяся на колеса неподвижного полуприцепа, $m_{(кол)} = \frac{3 \cdot m_{(пол)}}{4}$, где $m_{(пол)}$ — полная масса груженого полуприцепа; $m_{(пол)} = 70500$ кг; $m_{(кол)} = 52875$ кг.

$P_{(кол)}$ — максимальный вес, приходящийся на колеса неподвижного полуприцепа; $P_{(кол)} = m_{(кол)} \cdot g$, $P_{(кол)} = 528750$ Н.

Проверяем на соблюдение норматива эффективности торможения: $P_{(кол)} \cdot 0,45 \leq P_{(бар)}$; $528750 \cdot 0,45 \leq 267847$; 237937 Н ≤ 267847 Н.

Условие соблюдается, значит, полуприцеп соответствует нормативам эффективности торможения рабочей тормозной системы при холодных тормозах.

В соответствии с правилами ЕЭК ООН № 13 («Испытания типа «1» (горячие тормозные механизмы)»; «Эффективность рабочей тормозной системы»), принят следующий норматив эффективности: тормозная сила на колесах должна составлять не менее 36 % от силы, соответствующей максимальной массе, приходящейся на колеса при неподвижном состоянии транспортного средства.

Рассчитаем усилие на штоке пневмоцилиндра Q , приложенное к рычагу разжимного кулака, при горячих тормозах: $Q = \frac{3,14 \cdot 0,188^2 \cdot 913139}{4} = 25335$ Н.

Рассчитаем силы P_1 и P_2 для горячих тормозов по формуле (3):

$$P_{1,2} = \left(\frac{25335 \cdot 0,128}{0,0382} \right) \cdot \left(\frac{1 - 0,35 \cdot 1,5}{1,2} \right) = 33603 \text{ Н.}$$

Аналогично рассчитаем и сумму сил, действующих на тормозные барабаны со стороны разжимающего кулака:

- для сдвоенных колес:

$$P_1 + P_2 = P_{1,2} \cdot 2 = 33603 \cdot 2 = 67206 \text{ Н.}$$

- суммарная сила:

$$(P_1 + P_2) \cdot 8 = 67206 \cdot 8 = 537648 \text{ Н.}$$

Рассчитаем суммарную силу сжатия тормозных механизмов по формуле (4):

$$P_{(бар)} = \frac{537648}{2,2} = 244385 \text{ Н.}$$

Проверяем на соблюдение норматива эффективности торможения:

$$P_{(кол)} \cdot 0,36 \leq P_{(бар)};$$

$$528750 \cdot 0,36 \leq 244385; 190350 \text{ Н} \leq 244385 \text{ Н.}$$

Условие соблюдается, значит, полуприцеп соответствует нормативам эффективности торможения рабочей тормозной системы при горячих тормозных механизмах.

В соответствии с правилами ЕЭК ООН № 13: Испытания пневматического тормозного привода: «Норматив эффективности: запас сжатого воздуха в ресиверах тормозного привода автотранспортного средства должен быть таким, чтобы после восьмикратного полного приведения в действие органа управления рабочей тормозной системы тягача давление сжатого воздуха в питающей части тормозного привода не опускалось бы ниже половины значения, достигнутого после первого торможения».

После каждого торможения давление в питающей части тормозного привода снижается в 1,095 раз. Следовательно, давление в питающей части будет:

- при третьем торможении: 833 825 Па.
- при четвертом торможении: 761 400,5 Па.
- при пятом торможении: 695 266 Па.
- при шестом торможении: 634 877 Па.
- при седьмом торможении: 579 733 Па.
- при восьмом торможении: 529 378 Па.
- при девятом торможении: 483 397 Па.
- при десятом торможении: 441 410 Па.
- при одиннадцатом торможении: 403 070,7 Па.

При проведении расчетов давления до восьмого торможения включительно получили показатель давления в питающей части, равный 529 378 Па, что больше половины, допускаемой после первого торможения (500 000 Па). Исходя из этих показаний делаем вывод, что установка пневматического тормозного привода и подвески на четырехосный автомобильный полуприцеп соответствует испытаниям типа «0» и испытаниям типа «1» правил ЕЭК ООН № 13. Проведя дополнительные расчеты 9-го, 10-го и 11-го торможений, видим, что уже после девятого торможения давление в питающей части пневматического тормозного привода значительно уменьшается. Данный факт указывает на то, что торможение после одиннадцатого включения и далее будет обладать очень низкой эффективностью. **ИТ**

Список литературы

1. ГОСТ Р 41.13-2007 (Правила ЕЭК ООН № 13). Единообразные предписания, касающиеся транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – М. : Стандартинформ, 2009.



Михаил Николаевич
Смердов

Mikhail N. Smerdov



Екатерина Олеговна
Селиванова

Yekaterina O. Selivanova

Отечественный опыт экспериментальных исследований долговечности железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами

National experience of experimental research of durability of concrete elements reinforced by polymer composites

Аннотация

В данной статье рассматривается влияние внешних факторов на долговечность железобетонных элементов, усиленных композиционными материалами. С годами в мостовых сооружениях появляются различного рода нарушения в работе конструктивных элементов, чаще всего это связано с агрессивным воздействием окружающей среды.

Ключевые слова: автодорожный мост, пролетное строение, композиционный материал, углеродное волокно, железобетонная балка, долговечность, дефект, повреждение, попеременное замораживание и оттаивание.

Summary

This article examines the impact of external factors on the durability of concrete elements reinforced by composite materials. Over the years, various kinds of irregularities in structural elements appear in bridge structures, most often associated with aggressive environmental impacts.

Keywords: road bridge, span, composite material, carbon fiber, reinforced concrete beam, durability, defect, damage, alternate freezing and thawing.

Авторы Authors

Михаил Николаевич Смердов, старший преподаватель кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: mikhail_smerdov@mail.ru | Екатерина Олеговна Селиванова, аспирант кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: eorukomoykina@mail.ru

Mikhail Nikolayevich Smerdov, Senior Lecturer, "Railway Construction and Railway Track" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: mikhail_smerdov@mail.ru | Yekaterina Olegovna Selivanova, Postgraduate Student, "Bridges and Tunnels" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: eorukomoykina@mail.ru

На сети автомобильных дорог России эксплуатируется более 29 тысяч железобетонных мостов, это примерно 70% от общего количества капитальных мостов. Многие из них имеют различного рода дефекты и повреждения, которые могут снижать их нормативный срок эксплуатации, а в худшем случае — и несущую способность. Причины образования дефектов и повреждений могут быть разными: ошибки проектировщиков, нарушение технологии изготовления конструкций, агрессивное воздействие окружающей среды на несущие конструкции, действие временных нагрузок и т. д. Для увеличения нормативного срока эксплуатации и восстановления несущей способности конструкций мостов могут выполняться различного рода работы, связанные с их ремонтом, усилением или реконструкцией, с заменой старых конструкций на новые.

Основными проблемными элементами железобетонных мостов являются пролетные строения, которые чаще всего становятся очагом снижения несущей способности моста в целом. Для восстановления несущей способности и продления срока эксплуатации пролетных строений мостов эффективно использовать современные технологии усиления композитными материалами (КМ) вместо замены пролетных строений на новые конструкции или использования старых технологий усиления. О целесообразности применения КМ при усилении железобетонных элементов говорят результаты многих экспериментальных исследований зарубежных и отечественных специалистов [1, 2].

Применение композитных материалов (КМ) в строительной практике стало известно с начала 80-х годов XX века. Первое же применение КМ выявило ряд их преимуществ по сравнению с традиционными материалами. В целях усиления конструкций в строительстве КМ стали применяться в виде ламинатов и тканевых полотен различного плетения. Все эти материалы изготавливались на основе стеклянных, арамидных и угольных волокон. В последнее время чаще используют КМ на основе угольных волокон, что связано с лучшими физико-механическими характеристиками, по сравнению с другими волокнами [3]. До недавнего времени все экспериментальные исследования в области применения КМ для усиления железобетонных конструкций проводились в зарубежных странах.

Железобетон в мостовых конструкциях подвергается неблагоприятному воздействию окружающей среды: увлажнению и высушиванию, попеременному замораживанию и оттаиванию, действию низких температур и др. Основным разрушающим фактором для бетона в процессе эксплуатации является попеременное замораживание и оттаивание [4]. Железобетонный элемент, усиленный композитным материалом, представляет собой конструкцию, для которой композит является внешней «арматурой», приклеенной на поверх-

ность бетона и находящейся во взаимодействии с окружающей средой. В 1999 г. институтом «УралНИИАС» были проведены экспериментальные исследования влияния длительного воздействия среды, климатических факторов и нагрузок на физические, прочностные и деформативные характеристики композитных полимерных материалов [5]. Испытаниям подвергалась стеклопластиковая арматура, предварительно «состаренная» до 62 лет в условиях умеренного климата по методике ускоренного старения, разработанной на основе ГОСТ 16350 и результатов исследований Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. Воздействие знакопеременных температур моделировали путем попеременного замораживания образцов арматуры во влажном состоянии и последующего оттаивания в воде по режимам, соответствующим ГОСТ 10060.1-95. Испытания 12 групп образцов, по пять образцов в каждой группе, показали, что попеременное замораживание и оттаивание стеклопластиковой арматуры мало влияет на ее физические, прочностные и деформативные характеристики. Снижение всех характеристик в процессе испытаний составляло не более 7%.

Влияние попеременного замораживания и оттаивания на адгезию композитного материала к бетону железобетонных конструкций мало изучено, отсутствуют экспериментальные данные по определению морозостойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами. В НИЛ «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) были проведены экспериментальные исследования, целью которых являлось изучение влияния попеременного замораживания и оттаивания на изменение прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами. На первом этапе для достижения поставленной цели была разработана методика определения морозостойкости усиленных элементов, в соответствии с которой была запроектирована и изготовлена партия железобетонных балок полной длиной 1000 мм, прямоугольного поперечного сечения, шириной 120 и высотой 140 мм. Проектный класс бетона всех балок В30, марка бетона по морозостойкости F300 и водонепроницаемости W6. Схема армирования балок приведена на рис. 1, а. Все элементы арматурного каркаса расположены в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84* [6]. Для усиления балок была использована ткань из углеродных волокон SikaWrap® 530 C (VP). Наклейку тканевых полотен на бетон осуществляли при помощи двухкомпонентного эпоксидного клея марки Sikadur®-330 [3]. Серия «А» — неусиленные железобетонные балки (рис. 1, а) и серия «Б» — железобетонные балки, усиленные одним слоем композитного материала шириной 120 мм по нижним граням (рис. 1, б).

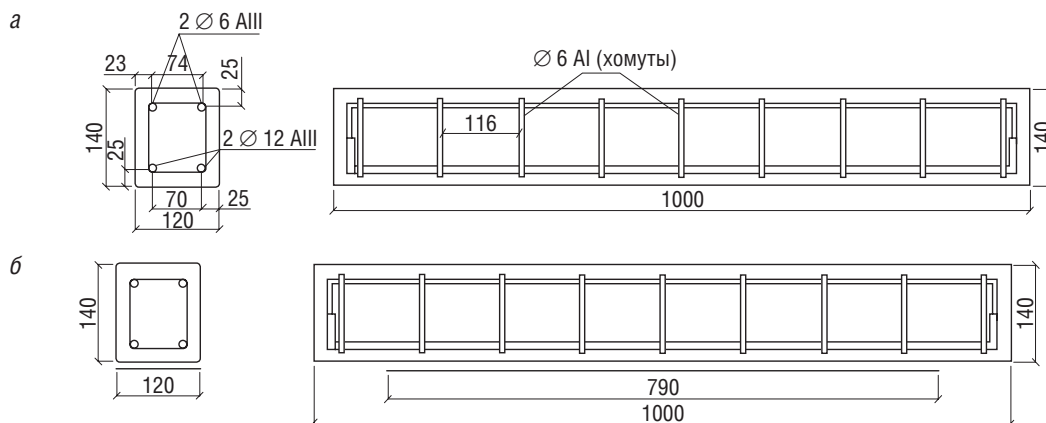


Рис. 1. Конструкции балок: а — серии «А»; б — серии «Б»

Балки были разделены на контрольные и основные образцы. Контрольные образцы не подвергали замораживанию в морозильной камере. Основные образцы перед испытанием на прочность были подвергнуты соответственно 4, 8 и 12 циклам замораживания и оттаивания. Все образцы подвергали насыщению 5%-ным водным раствором хлористого натрия при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ в специальных емкостях, изготовленных из оцинкованной стали. Для насыщения их полностью погружали в жидкость на 96 ч таким образом, что уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм. Контрольные образцы через 2–4 ч после извлечения из раствора подвергали испытаниям на прочность на прессе WPM-300. Основные образцы, насыщенные 5%-ным водным раствором хлористого натрия, помещали в заполненные таким же раствором емкости для испытания образцов на морозостойкость. Попеременное замораживание и оттаивание основных образцов осуществляли в морозильной камере WEISS WT1¹⁰⁰⁰. Температурный режим при замораживании и оттаивании соответствовал требованиям ГОСТ 10060.2-95 по третьему ускоренному методу определения морозостойкости с замораживанием до -50°C . Основные образцы после замораживания и оттаивания также испытывали на прочность на прессе WPM-300. Нагрузку образцов осуществляли через металлическую пластину, установленную в середине пролета, а опирание — через металлические цилиндры. Способ приложения нагрузки на балку и опирания показан на рис. 2. Прогиб образцов в середине пролета фиксировали на каждом этапе нагружения при помощи тензометрического датчика перемещения. Нагрузку прикладывали ступенями по 500 кгс, со средней скоростью нагружения 100 кгс/мин. Значение испытательной нагрузки на балку фиксировали тензодинамометром (мессдозой) и по шкале пресса WPM-300. Тензометрический датчик перемещения и тензодинамометр входят в состав мобильного измерительного комплекса «Тензор-МС», разработанного в СГУПС [9].

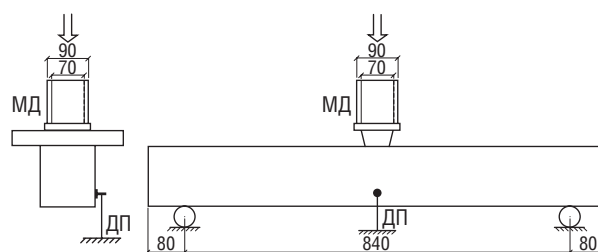


Рис. 2. Схема нагружения образцов и установки приборов при проведении испытаний ДП — тензометрический датчик перемещения; МД — мессдоза

Разрушение всех неусиленных образцов (серия «А») происходило по сжатию бетону от действия изгибающего момента в середине пролета. Разрушение усиленных образцов (серия «Б») до и после 4 циклов замораживания и оттаивания происходило вследствие отслоения композитного материала по контакту «клей — бетон» в зоне образования наклонной трещины от действия поперечной силы и изгибающего момента. Четыре цикла попеременного замораживания и оттаивания образцов к снижению их несущей способности не привели. На поверхности всех образцов было обнаружено незначительное морозное разрушение бетона.

После 8 циклов замораживания и оттаивания не менее 70% площади поверхности бетона образцов было подвержено морозному разрушению в виде шелушения поверхностного слоя. У образцов после 12 циклов было обнаружено значительное морозное разрушение поверхности бетона с оголением крупного заполнителя.

Разрушение усиленных образцов (серия «Б») после 8 и 12 циклов замораживания и оттаивания происходило вследствие образования наклонной трещины от действия поперечной силы и изгибающего момента с разрушением бетона защитного слоя рабочей арматуры.

Негативного влияния попеременного замораживания и оттаивания на адгезию эпоксидного клея к бетону по результатам испытаний обнаружено не было. Ком-

позитный материал защищал поверхность бетона от увлажнения, что положительно сказывалось на его сопротивляемости морозному разрушению.

Все усиленные образцы разрушались от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы. Отличались схемы отслоения композита. После 4 циклов композит отслаивался в зоне действия момента и поперечной силы по контакту «клей — бетон», после 8 и 12 циклов по контакту «бетон — арматура». Отслоение по контакту «бетон — арматура» говорит о том, что адгезия клея достаточная, а бетон, из-за падения его прочности, имеет недостаточную способность воспринимать сдвигающие усилия по податливому слою «композитный материал — бетон».

Проведенное исследование показало, что снижение прочности бетона марки F300 по морозостойкости в процессе замораживания и оттаивания приводит к незначительному падению несущей способности усиленных балок по изгибающему моменту (3%) и к более существенному падению несущей способности усиленных балок по поперечной силе (10%). Для выявления причин такого неравного падения несущей способности рассмотрим влияние изменения прочности бетона на сжатие и растяжение при переменном замораживании и оттаивании и влияние этих изменений на особенности разрушения образцов при изгибе по моменту и по поперечной силе [7].

Известно, что попеременное замораживание и оттаивание оказывает существенно разное влияние на изменение прочности бетона при сжатии и растяжении [8].

В этой же работе было выявлено, что при одном и том же количестве циклов замораживания и оттаивания

падение прочности бетона при растяжении существенно (в два раза) опережает падение прочности при сжатии.

По результатам экспериментальных исследований, проведенных в «УралНИИАС» и НИЛ «Мосты» СГУПС, могут быть сделаны следующие выводы:

1. Попеременное замораживание и оттаивание композитных материалов мало влияет на их физические, прочностные и деформативные характеристики.

2. Попеременное замораживание и оттаивание железобетонных элементов, усиленных композитными материалами, не оказывает негативного влияния на адгезию композитного материала к бетону, а снижение их несущей способности происходит в результате уменьшения прочностных и деформативных характеристик бетона.

3. Композитный материал защищает поверхность бетона от увлажнения, что положительно сказывается на его сопротивляемости морозному разрушению.

4. Для пролетных строений, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, проверку прочности сечений наклонных к продольной оси элемента на действие поперечной силы следует производить не только с учетом коэффициента условий работы бетона m_b , что предусмотрено СНиП 2.05.03-84* [6], но и с учетом коэффициента m_{bt} [7].

Представленные выше результаты экспериментальных исследований подтверждают эффективность применения полимерных композиционных материалов при усилении железобетонных элементов, работающих в суровых климатических условиях. С целью пополнения экспериментальных данных необходимо проводить дальнейшие исследования на опытных образцах другой конструкции. **ИТ**

Список литературы

1. Разработка рекомендаций по применению композитных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений : отчет о НИР / ФГУП «РОСДОРНИИ»; рук. В. И. Шестериков; контракт № 5-Н от 24.09.2007 г.; этапы № 2 и № 3. — М., 2007. — 100 с.
2. CNR-DT 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. — Rome, 2004. — 144 с.
3. Шилин А. А., Пшеничный В. А., Картузов Д. В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. — М., Стройиздат, 2004. — 139 с.
4. Бокарев С. А. Управление техническим состоянием искусственных сооружений на основе новых информационных технологий. — Новосибирск, 2002. — 281 с.
5. URL: www.steklo-tech.ru.
6. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы / Минстрой России. — М.: ГП ЦПП, 1996. — 214 с.
7. Бокарев С. А., Смердов Д. Н. Исследование многократного замораживания и оттаивания на изменение несущей способности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композиционными материалами // Транспорт Урала : научно-технический журнал. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2010. — № 3. — С. 98–104.
8. Бокарев С. А. Учет пластических свойств бетона и влияние попеременного замораживания и оттаивания на изменение его прочностных и деформативных характеристик в расчетах бетонных опор мостов : дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск : НИИЖТ, 1986. — 214 с.
9. Бокарев С. А., Яшнов А. Н., Снежков И. И., Слюсарь А. В. Малогабаритные автоматизированные системы для диагностики ИССО // Путь и путевое хозяйство. — 2007. — № 9. — С. 25–26.
10. Смердов Д. Н. Оценка несущей способности железобетонных пролетных строений мостов, усиленных композитными материалами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2010.



**Владимир
Евгеньевич
Кошкар**

**Vladimir Y.
Koshkarov**



**Дмитрий
Германович
Неволин**

**Dmitry G.
Nevolin**



**Василий
Евгеньевич
Кошкар**

**Vasily Y.
Koshkarov**

Разработка технологии обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно-полимерных материалов

Development of dust control technology for pit roads based on bitumen-polymer materials

Аннотация

Статья посвящена разработке технологии обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно-полимерных материалов. Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний по обеспыливанию автодорог.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, обеспыливание автодорог, битумно-полимерные вяжущие материалы.

Summary

The article is dedicated to the development of dust control technology for pit roads based on bitumen-polymer materials. The results of laboratory and industrial testing of pit roads dust control are provided.

Keywords: road transport, road dust removal, bitumen-polymer binding material.

Авторы Authors

Владимир Евгеньевич Кошкар, канд. техн. наук, специалист ГКУ СО «Управление автомобильных дорог», Екатеринбург | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Василий Евгеньевич Кошкар**, аспирант Уфимского государственного нефтяного технического университета

Vladimir Yevgenyevich Koshkarov, PhD in Engineering, expert at GKU SO "Automobile Roads Department", Ekaterinburg | **Dmitry Germanovich Nevolin**, DSc in Engineering, Professor, full member of the RAT, Head of "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: innotrans@mail.ru | **Vasily Yevgenyevich Koshkarov**, Postgraduate Student of the Ufa State Oil Technical University

На интенсивность пылеобразования на карьерных автодорогах влияют физико-механические свойства материалов верхних слоев дорожной одежды, скорость движения, масса и тип автомобиля, размеры дороги и метеорологические условия. Известные способы закрепления пылящей поверхности дорог имеют ряд недостатков:

- низкая когезионная прочность применяемых органических пылесвязующих веществ и устраиваемых слоев покрытий;
- пожаро-, взрывоопасность и токсичность компонентов пылесвязующих веществ, использование углеводородных разбавителей;
- не отработана технология нанесения вяжущих и устройство слоев покрытий (закрепляющих поверхностей), отсутствуют требования контроля качества.

Исследованиям, связанным с разработкой полимерно-битумных материалов, технологий поверхностной обработки автодорог на основе органических вяжущих и эмульсий, посвящены труды ряда отечественных и зарубежных ученых: Алферова В. И., Безрука В. М., Бобака О. Г., Васильева А. П., Валиева Н. Г., Гохмана Л. М., Калгина Ю. И., Дмитриева В. Н., Кондратова В. К., Плотниковой И. А., Олькова П. Л., Соколова Ю. В., Шумчика В. К., Шамбара П., Хученройтера Ю. и других авторов. В основе разработки данных технологий и материалов лежит теория физико-химической механики дисперсных систем академика П. А. Ребиндера.

Битумно-полимерные композиции характеризуются более развитой пространственно-молекулярной структурой, которая предопределяет их высокие адгезионно-когезионные и прочностные свойства.

Объект исследования — карьерные дороги и пылесвязующие вещества органической природы.

Предмет исследования — полимерно-битумные вяжущие и эмульсии, органоминеральные смеси для профилактики пылеобразования на карьерных дорогах.

Цель выполненной работы — исследование и разработка технологии обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно-полимерных материалов.

Идея работы заключалась в том, что покрытия (слои износа) карьерных автомобильных дорог на основе битумно-полимерных вяжущих обладают более высокими прочностными и эксплуатационными свойствами по сравнению с другими органическими вяжущими веществами.

Новизна представленных исследований:

1. Обоснована методика определения физико-механических свойств закрепленных пылящих поверхностей слоев износа методом ударно-пенетрирующего зондирования.

2. Получены новые эмпирические зависимости эксплуатационных свойств закрепленных пылящих поверхностей на основе битумно-полимерных материалов, ис-

пользуемые для разработки технологии обеспыливания карьерных дорог.

3. Разработаны композиционные битумно-полимерные материалы для закрепления пылящих поверхностей карьерных дорог и устройства слоев износа. Исследованы физико-механические и химические свойства композиций

Методы исследования включали экспериментальные работы в лабораторных и полевых условиях, опытно-промышленные испытания, системный анализ научных результатов и опыта закрепления пылящих поверхностей, математическое моделирование, физико-химические методы анализа.

Практическая значимость работы состоит в разработке методических и технологических рекомендаций для проектных организаций, предприятий, работающих в сфере дорожного строительства и эксплуатации карьерных автомобильных работ, по эффективному применению битумно-полимерных материалов для обеспыливания дорог и профилактики пылеобразования. Применение неразрушающего метода испытаний позволяет определить физико-механические свойства материала при различных температурах, используя малое количество образцов, что значительно сокращает затраты времени на подбор состава битумно-минеральной смеси.

Разработаны следующие основные предложения:

1. Метод оценки физико-механических характеристик закрепленных пылящих поверхностей карьерных дорог и слоев износа методом ударно-пенетрирующего зондирования.

2. Эмпирические зависимости прочностных и эксплуатационных свойств покрытия карьерной дороги от содержания вяжущих и вводимых модифицирующих добавок полимеров и резиновой крошки.

3. Способ приготовления смеси битумно-минеральной композиции для закрепления пылящих поверхностей, основанный на отдельной подаче компонентов непосредственно в смеситель приготовления и устройство слоев износа карьерных автодорог.

Основные положения работы обсуждались на международных и региональных научно-технических конференциях и форумах, в их числе:

- XIV Международная конференция «Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов» (Москва, 2010 г.);
- «Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Охрана окружающей среды» (Пермь, 2010 г.);
- «Инновации в дорожном строительстве. УрФО» (2010–2014 гг.);
- «ИННОПРОМ» (Екатеринбург, 2011–2013 гг.);
- «ДОРОГА» (Москва, 2011–2014 гг.);

Содержание исследований

На долю автомобильного транспорта приходится 97,2 % суммарного выделения пыли в атмосферу карьера. Уровень запыленности воздуха вблизи автодорог достигает $0,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, а интенсивность пылевыведения составляет 0,014 кг/с, дисперсность витающей пыли чрезвычайно высокая: 90–98% пылинок имеют размер менее 10 мкм, т. е. они являются потенциально пневмоконииозоопасными, ввиду того что содержание свободного кремнезема в виде кварца достигает до 40–42 %.

Результаты замеров концентрации пылевого аэрозоля внутри шлейфа от автомобиля показывают, что уровень запыленности воздуха по длине шлейфа изменяется от $1 \cdot 10^{-3}$ (на расстоянии в 1 м за движущимся автомобилем) до $2 \cdot 10^{-5}$ кг/м³ в конце шлейфа.

Из-за высокой запыленности воздуха при движении автомобилей резко ухудшается видимость, что приводит к увеличению интервала между идущими машинами и уменьшению скорости движения. При безветренной погоде время осаждения пыли в шлейфе до улучшения видимости составляет 10–15 с, в результате чего требуемый интервал движения между автомобилями составляет 100–150 м при скорости движения автомобиля 20–30 км/ч. Из-за этого провозная способность автодорог уменьшается в 2–3 раза. Кроме того, высокая запыленность воздуха вызывает повышенный износ двигателей автомобилей.

Проведенный анализ различных способов и средств пылеподавления на автодорогах показал, что на открытых горных работах используют для борьбы с пылью разнообразные вяжущие неорганические и органические материалы. Применяются как отходы, так и продукты промышленности. Время обеспыливания карьерных автодорог составляет: полив водой — 0,5–2,0 ч; раствор лигносульфаната — 1–2 суток; универсин — 7 дней — 1 месяц; полимерно-битумные покрытия — до 2 лет.

Применяемые обеспыливающие средства по своей природе не предназначены для борьбы с пылью на автодорогах. Отсутствуют требования к устраиваемым закрепленным пылящим поверхностям (слоям износа). Поэтому существует необходимость разработки эффективных способов и средств борьбы с пылеобразованием на карьерных дорогах.

Проведено определение свойств вязкоупругих сред битумно-минеральных композиций для закрепления пылящих поверхностей карьерных автомобильных дорог. Предложена методика определения физико-механических характеристик (в том числе динамического модуля упругости) вязкоупругих сред методом ударно-пенетрирующего зондирования (индентирования) с непрерывной регистрацией процесса удара.

Последовательность выполнения методики заключается в следующем:

1. Для определения динамического контакта (модуля упругости) использован метод ударно-пенетрирующего зондирования образца битумно-минеральной композиции с помощью прибора «ИПМ-1А». На основании проведенных экспериментов строятся зависимости изменения скорости, глубины внедрения и контактного усилия и модуля упругости от скорости внедрения индентора.

2. Проводится сравнительная оценка экспериментального динамического контакта с динамическим контактом базового образца (эталоны) на основании значений модуля упругости битумно-полимерной композиции при различных температурах.

3. Производится выбор наилучшего состава закрепляемой пылящей поверхности с учетом поровой структуры минерального материала и адгезионной способности вяжущего.

На рис. 1 показан общий вид и структурная схема предложенной испытательной установки.

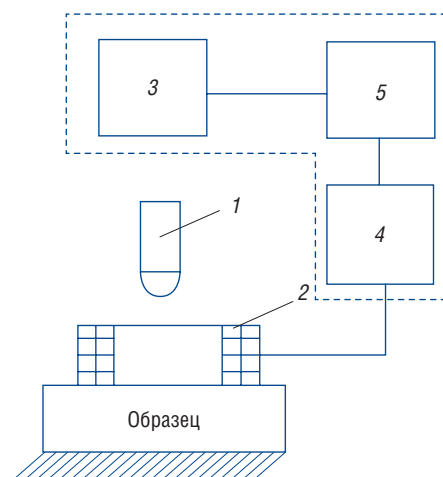


Рис. 1. Прибор «ИПМ-1А» ударно-пенетрирующего зондирования образца битумно-минеральной композиции: 1 — индентор, производящий испытательный удар по контролируемому покрытию (образцу); 2 — магнитоиндукционный датчик; 3 — механизм разгона индентора; 4 — устройство аналогово-цифрового преобразования (АЦП) сигнала; 5 — персональный компьютер

На рис. 2–3 показан характерный вид зависимостей, получаемый при индентировании битумно-минеральных композиций.

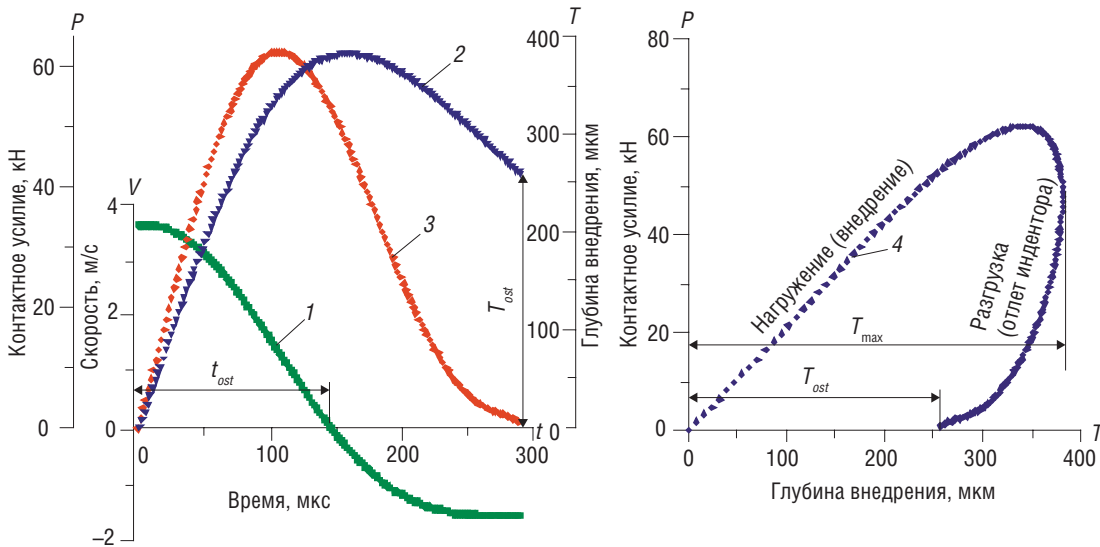


Рис. 2. Типичное изменение скорости $V(t)$ (кривая 1), глубины внедрения $\alpha(t)$ (кривая 2) и контактного усилия $P(t)$ (кривая 3) индентора в процессе испытательного удара, зависимость «контактное усилие — перемещение» (кривая 4)

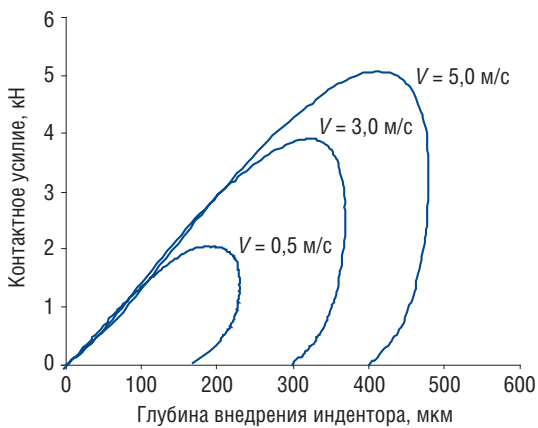


Рис. 3. Характерные зависимости: «контактное усилие — глубина внедрения» при различных предударных скоростях индентора

Количественно изменение модуля упругости по сечущим значениям можно проследить, принимая, что каждая точка пассивного этапа удара принадлежит некоторой кривой упругого вдавливания, которую можно описать уравнением (1):

$$E = \frac{3}{4} \frac{P_y (1 - \mu^2)}{\sqrt{R} (\alpha - \alpha_{ost})^{3/2}}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости, ГПа; R — радиус сферического наконечника индентора, мм; P_y — контактная сила, кН; μ — коэффициент Пуассона (принимаемый равным 0,3); $\alpha(t)$ — текущая глубина внедрения индентора, мм; α_{ost} — глубина невосстановленного отпечатка после разрыва контакта между индентором и материалом, мм.

При выводе формулы (1) допускается, что модуль упругости индентора значительно превышает модуль упругости испытуемых материалов. На рис. 4 показаны типичные зависимости динамического модуля упругости $E = f(t)$ при различных предударных скоростях и температурах для битумно-минеральных композиций. $T_{red} = 200$ мкс при температуре 20°C — среднее время активного этапа удара; T_1, T_3 — фактическое время нанесения удара с учетом температуры, мкс.

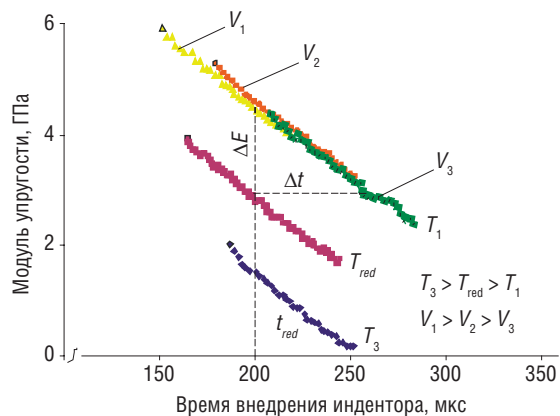


Рис. 4. Зависимость динамического модуля упругости $E(t)$ при различных предударных скоростях и температурах для битумно-минеральных композиций $V_1 = 0,5$ м/с, $V_2 = 2,0$ м/с, $V_3 = 5,0$ м/с

На рис. 5 приведены результаты испытаний при температуре $0, 10$ и 20°C образца № 1, приготовленного с использованием 1%-ной резиновой крошки (оптимальный состав).

Коэффициент адгезии вяжущих определяется по формулам (2–4):

$$K_{\text{Ад}}^{\text{В}} = \sum_i m_i \cdot K_{\text{Ад}_i}^{\text{УВ}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{Ад}}^{\text{В}}$ — коэффициенты адгезии вяжущих; m_i — соответствующее содержание парафино-нафтеновых углеводородов (ПНУ), легких ароматических соединений (ЛАС), средних ароматических соединений (САС), тяжелых ароматических соединений (ТАС), смол 1 (С1), смол 2 (С2), асфальтенов (А) и карбен-карбоидов (КК) в вяжущем, доли ед.; $K_{\text{Ад}_i}^{\text{УВ}}$ — коэффициенты адгезии ПНУ, ЛАС, САС, ТАС, С1, С2, А и КК.

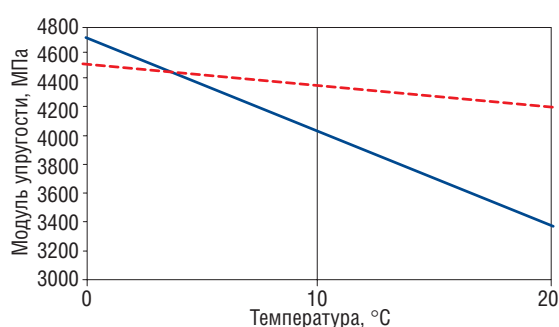


Рис. 5. Значения модуля упругости битумно-полимерной композиции при различных температурах: — состав № 1; - - - состав № 1 + 1% резина

$$K_{\text{Ад}} = \frac{\Delta H_{\text{К}}}{\Delta H_{\text{Ц}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{Ад}}$ — коэффициент адгезии; $\Delta H_{\text{К}}$ — изменение мольной энтальпии при адсорбции модельного соединения на кварце (К), кДж/моль; $\Delta H_{\text{Ц}}$ — изменение мольной энтальпии при адсорбции циклогексана (Ц) на кварце (К), кДж/моль.

$$-\Delta H = K \frac{\Delta \lg V_m \cdot R}{\Delta \left(\frac{1}{T} \right)}, \quad (4)$$

где ΔH — изменение мольной энтальпии при адсорбции, кДж/моль; K — коэффициент пропорциональности, учитывающий физико-химические параметры, постоянные в условиях опыта; V_m — время удерживания, мин.; T — температура испытуемого материала, град; R — универсальная газовая постоянная, 8,13 Дж/моль·град.

В табл. 1 представлены коэффициенты адгезии вяжущих к твердым материалам.

Из табл. 1 следует, что склонность вяжущих к адгезии (по коэффициентам адгезии) уменьшается в ряду: 1, 2, 3, 4, т. е. наибольшими коэффициентами адгезии обладает окисленный компаунд для обеспыливания карьерных дорог (по типу БН 90/130), а меньшие коэффициенты адгезии имеют битум БН 70/30, что связано с высоким содержанием в них парафино-нафтеновых и моноароматических соединений, характеризующихся низкой адгезией по отношению к твердым материалам.

Проведены исследования по влиянию резиновой крошки на битумные и битумно-минеральные смеси. Одним из путей повышения долговечности закрепленных пылящих поверхностей (слоев износа) карьерных автодорог, предложенных авторами, является использование полимеров, резиновой крошки в качестве модифицирующей добавки в составе смесей для устройства слоев износа карьерных дорог.

Резиновая крошка при определенных условиях эксплуатации (повышенная или пониженная температура, концентрация кислорода и озона, влажность) осуществляет перераспределение химического группового состава вяжущего, вследствие чего изменяется его структурное строение.

Влияние резиновой крошки (полимеров) на физико-механические свойства закрепляющей поверхности представлено на рис. 6.

Таблица 1

Коэффициенты адгезии вяжущих к твердым материалам

Вяжущие материалы	Коэффициент адгезии на твердых материалах			
	Кварц	Эбонитовая резина	Шинная резина	Резина РТИ
Окисленный компаунд (битумное вяжущее БН 90/130 для битумно-минеральных смесей)	2,095	2,075	1,997	2,013
БН 70/30	1,961	1,978	1,916	1,909
БН 90/10	1,947	1,961	1,902	1,891
БНД 60/90	1,880	1,917	1,870	1,849

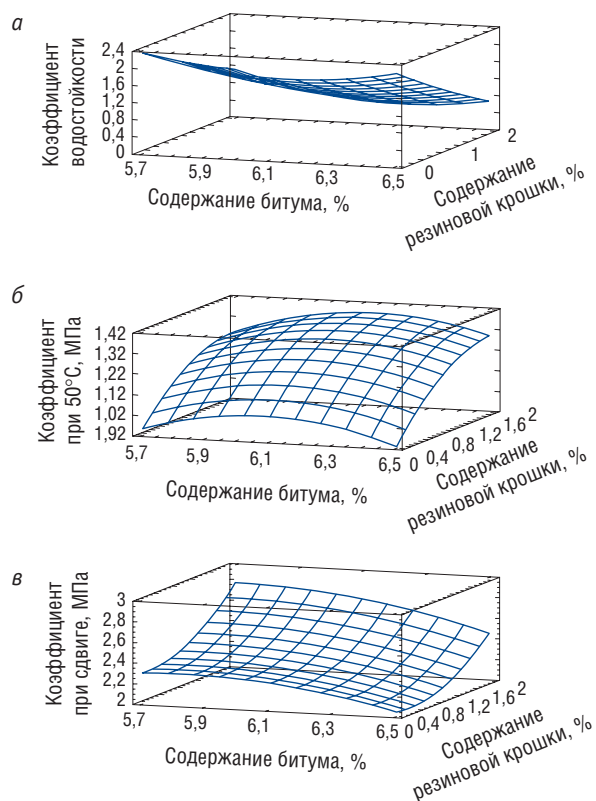


Рис. 6. Влияние резиновой крошки (полимеров) на физико-механические свойства закрепляющей поверхности:
 а — водостойкость закрепленной пылящей поверхности;
 б — прочность при 50 °С закрепленной пылящей поверхности;
 в — прочность при сдвиге закрепленной пылящей поверхности

В процессе приготовления смеси частицы резины набухают, поглощая жидкие фракции и увеличивая вязкость вяжущего, до момента наступления равновесного состояния. Часть жидких углеводородных фракций после уплотнения структуры битумно-полимерной минеральной композиции выходит из объема резины в объем закрепленной пылящей поверхности, повышая его деформативную устойчивость и адсорб-

ционную способность закрепленной поверхности карьерной дороги.

Таким образом, введение резиновой крошки в структуру битумно-полимерной минеральной композиции существенно повышает физико-механические и эксплуатационные свойства закрепленной поверхности, что существенно увеличивает их долговечность.

Разработана технология приготовления и использования битумно-минеральной композиции для обеспыливания карьерных автомобильных дорог с использованием резиновой крошки (фракция до 2 мм) в качестве модифицирующей добавки.

Предложено полимерно-битумное вяжущее (ПБВ) и асфальтобетонная смесь (АС) на его основе, патент № 229790 Российской Федерации. ПБВ содержит битум, полимер, пластификатор, индустриальное масло и высокомолекулярное поверхностно-активное вещество.

Технологическая схема закрепления пылящей поверхности битумно-минеральными композициями (рис. 7) состоит из двух этапов.

На первом этапе происходит рыхление и снятие существующей поверхности карьерной дороги; полученную песчано-гравийную смесь (ПГС) засыпают в бункер-дозатор специального укладчика (с возможностью разделения ПГС на 2 фракции: 0–5 и 5–20). Вторая стадия состоит в приготовлении смеси закрепляющей поверхности. Готовая смесь подается в короб укладчика, где она окончательно домешивается и распределяется по поверхности карьерной дороги.

Существенными факторами регулирования процессов структурообразования слоя износа являются технологические приемы различных вариантов очередности введения компонентов смеси в смеситель.

Готовую смесь предлагается приготавливать по раздельной схеме подачи компонентов с возможностью дозирования модифицирующей добавки полимеров или резины при непосредственном приготовлении смеси битумно-минеральной композиции (рис. 8).

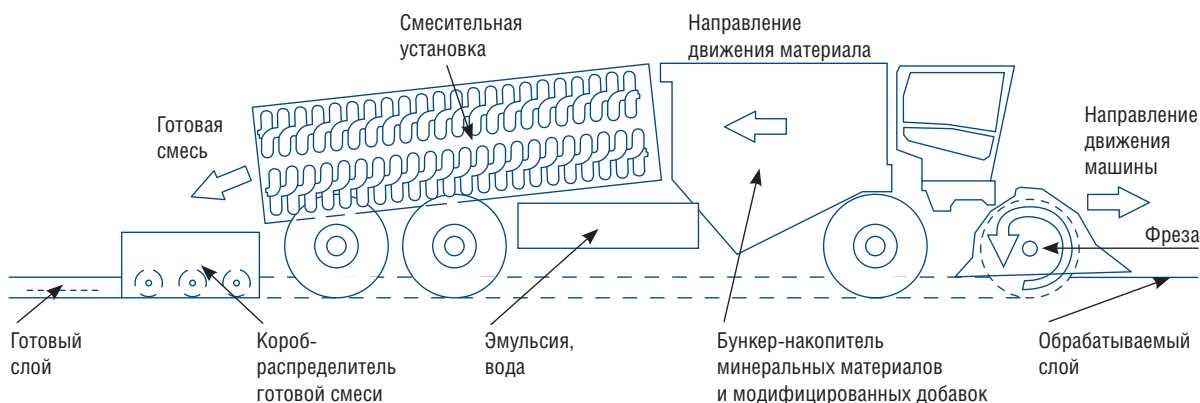


Рис. 7. Принципиальная технологическая схема закрепления пылящей поверхности битумно-минеральными композициями

Данная схема позволяет реализовать принцип однородности обработки вяжущим веществом как заполнителя, так и наполнителя. То есть введение в смеситель сначала крупного заполнителя и его перемешивание с эмульсией позволяет создать пленку вяжущего на крупной фракции минерального материала, на следующем этапе вводится мелкая фракция, которая взаимодействует с вяжущим и закрепляется на заполнителе.

Существует возможность приготовления данной смеси в стационарных смесителях (рис. 8).

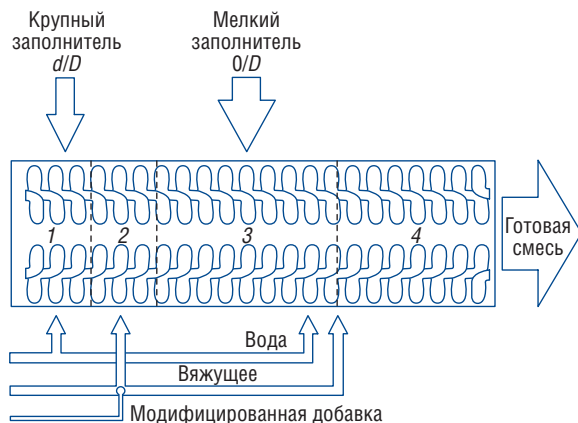


Рис. 8. Принципиальная схема холодного смесителя материалов в стационарных смесителях:
d — минимальный размер фракции заполнителя (щебня), мм;
D — максимальный размер фракции заполнителя (щебня), мм;
 1 — зона смешения с вяжущим крупного заполнителя;
 2 — зона подачи модифицированной добавки;
 3 — зона ввода мелкого заполнителя;
 4 — окончательное домешивание компонентов в смеси

Данная схема позволяет максимально реализовать структурирующие возможности эмульсии, не допуская ее перерасхода, а также способствует лучшему взаимодействию зерен минерального материала, покрытых пленкой вяжущего друг с другом. Введение модифицирующих добавок полимеров или резины непосредственно в смеситель («сухой ввод») позволяет избежать технологических проблем, связанных с повышением вязкости вяжущих (если модифицированную добавку вводить непосредственно в вяжущее — «мокрый ввод»).

На рис. 9 показана конструкция профиля слоев карьерной автодороги до (рис. 9, а) и после (рис. 9, б) обработки автодороги битумно-минеральной композицией.

Разработаны и предложены к применению на карьерных автомобильных дорогах технологии устройства тонкослойных износостойких покрытий из модифицированных полимерами и резиновой крошкой битумно-минеральных смесей, рекомендованы технологические режимы приготовления битумно-полимерных и битумно-минеральных композиций на основе «мокрого» и «сухого» способа ввода полимеров и резины в композиции.

а

Пылящая поверхность
Дорожная одежда
2-й слой основания
1-й слой основания
Насыпь

б

Слой износа из битумно-минеральной композиции
Укрепленная дорожная одежда
2-й слой основания
1-й слой основания
Насыпь

Рис. 9. Конструкция профиля слоев карьерной автодороги: а — до обработки автодороги битумно-минеральной композицией; б — после обработки автодороги битумно-минеральной композицией

В заключение выполнено технико-экономическое обоснование (ТЭО) применения технологии закрепления пылящих поверхностей.

Разработанная методика ТЭО основана на определенном расчетном сроке службы слоев износа по критериям устойчивости к пластическим деформациям, температурной и усталостной трещиностойкости, коррозионной стойкости при нормальных условиях эксплуатации и содержания дорог.

За расчетный срок службы битумно-минеральной композиции выбран временной период $T_{расч}$, который представляет собой срок безотказной работы материала покрытия (без появления сдвиговых деформаций, усталостных трещин, коррозионных разрушений) в течение всего расчетного срока службы. $T_{расч}$ принимают как наименьший срок службы из всех по перечисленным выше критериям (5):

$$T_{расч} = \min (T_{пласт}, T_{уст}, T_{кор}), \quad (5)$$

где $T_{расч}$ — срок службы битумно-минеральной композиции, лет; $T_{пласт}$ — срок службы битумно-минеральной композиции по критерию устойчивости к пластическим деформациям, лет; $T_{уст}$ — срок службы битумно-минеральной композиции по критерию устойчивости к пластическим деформациям, лет; $T_{кор}$ — срок службы битумно-минеральной композиции по критерию коррозионных разрушений, лет.

Экономический эффект от применения битумно-минеральных композиций для закрепления пылящих поверхностей (и слоев износа) карьерных автодорог определяется по формуле (6):

$$\mathcal{E} = 3_1 \cdot \varphi - 3_2, \quad (6)$$

где \mathcal{E} — экономический эффект, руб.; 3_1 — стоимость исходных материалов для приготовления 1 т битумно-минеральной смеси базового состава, руб.; 3_2 — стоимость исходных материалов для приготовления 1 т битумно-минеральной смеси, приготовленной с использованием высококачественных исходных материалов, руб.; φ — коэффициент изменения расчетного срока службы покрытия из композиции, приготовленной с использо-

ванием высококачественных и дорогих исходных материалов, по сравнению с базовым вариантом.

Экономический эффект от применения битумно-минеральных композиций для закрепления пылящих поверхностей (и слоев износа) составил 7,35 млн руб. на примере опытного участка закрепления пылящей поверхности на автомобильной дороге Антоновка — Чаур в Гаринском районе Свердловской области.

Таким образом, разработана, теоретически и экспериментально обоснована современная технология обеспыливания карьерных автомобильных дорог на основе битумно-полимерных материалов и эмульсий на их основе. Технология рекомендуется к применению при открытой разработке месторождений и перевозке полезных ископаемых карьерным автотранспортом. **ИТ**

Список литературы

1. Зиновьев А. П., Купин А. Н., Ольков П. Л. и др. Борьба с пылеобразованием на карьерных автодорогах нефтяными вяжущими. — Уфа : Башкирское кн. изд., 1990. — 95 с.
2. Кошкарлов В. Е., Валиев Н. Г. Опыт и перспективы применения битумных эмульсий при строительстве и эксплуатации карьерных дорог // Известия вузов. Горный журнал. — 2011. — № 5. — С. 13–20.
3. Полимерно-битумное вяжущее и асфальтобетонная смесь на его основе : пат. 2297990 РФ : МПК С04В 26/26; С08L 95/00 / Кошкарлов В. Е., Дмитриев В. Н., Тишкина Л. Н. и др. — № 2006103189/04; заявл. 03.02.06; опубл. 27.04.07, Бюл. № 12. — 8 с.
4. Научные основы организации инновационной деятельности на транспорте и в дорожном хозяйстве (теория, методология, практика) / А. Г. Галкин, В. М. Самуйлов, В. Е. Кошкарлов и др. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. — 189 с.
5. Кошкарлов В. Е., Петленко С. В., Кошкарлов Вас. Е. Проблема обеспыливания грунтовых автомобильных дорог и оценка применения углеводородных эмульсий при их эксплуатации // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог : сб. науч. трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ». — 2012. — Вып. 3 (62). — С. 105–113.



**Никита Михайлович
Домашов**

Nikita M. Domashov



**Евгений Сергеевич
Сикорский**

Yevgeny S. Sikorsky

Основы проектирования подвески гоночного болида

Race car suspension design basics

Аннотация

Статья посвящена этапам проектирования подвески гоночного автомобиля студенческой команды Formula Student USURT.

Ключевые слова: этапы проектирования, подвеска болида, соревнования Formula Student.

Summary

The article describes suspension design stages of the race car of the Formula Student USURT student team.

Keywords: design stages, race car suspension, Formula Student competition.

Авторы Authors

Никита Михайлович Домашов, студент группы ЭМА-411, кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Евгений Сергеевич Сикорский**, студент группы ЭМА-411, кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Nikita Mikhailovich Domashov, student of EMA-411 Group, "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Yevgeny Sergeyeovich Sikorsky**, student of EMA-411 Group, "Design and Operation of Automobiles" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg



Рис. 1. Прохождение поворота болидом

Мир автоспорта очень разнообразен: от картинга до гонок по бездорожью. Для победы в соревнованиях команда автогонщиков постоянно трудится, а команда — это не просто механики в гараже и пилот за рулем, это еще и руководители, менеджеры и, конечно, инженеры, которые придумывают самые лучшие автомобили. В современном мире самую большую популярность имеет спортивный класс «Формула-1». Попасты туда трудно, а удержаться еще труднее. Там работают лучшие умы планеты, для того чтобы присоединиться к ним, у студентов есть отличная возможность получить практику в соревнованиях Formula Student.

В кольцевых гонках существует множество вариантов трасс. Большинство людей, далеких от мира автоспорта, думают, что для победы важен лишь двигатель. Чем больше у тебя мощность — тем ты быстрее. На прямых участках возможно. В классе Formula Student и во многих других гонку выигрывает не тот, кто быстрее разгоняется, а тот, кто быстрее проходит множество поворотов (рис. 1). А при движении в повороте мощность двигателя играет вторую роль, в основе всего лежит подвеска автомобиля, с нее и начинается гоночный болид.

Подвеска, являясь промежуточным звеном между кузовом автомобиля и дорогой, должна быть легкой и наряду с высокой комфортабельностью обеспечивать максимальную безопасность движения. Для этого необходимы точная кинематика колес, легкость поворота управляемых колес, а также изоляция кузова от дорожных шумов и жесткого качения радиальных шин. Кроме того, надо учитывать, что подвеска передает на кузов силы, возникающие в контакте колеса с дорогой, поэтому она должна быть прочной и долговечной.

Проектирование подвески — это начало создания болида. Прежде всего, необходимо определиться, какой тип подвески использовать. Для спортивных автомобилей в любом случае передняя подвеска будет независи-

мой на двух А-образных рычагах. В большинстве случаев и задняя подвеска остается того же типа, но иногда выполняется в зависимом варианте. Это лишь первый шаг на пути к цели. Инженер, собравшийся проектировать подвеску для болида, прежде всего, должен много про нее узнать.

Необходимо знать, что в подвеске существует множество углов и значений, влияющих на поведение автомобиля: развал колес, схождение колес, кастор, кингпин, аккерман и т. д. Необходимо не просто знать, какой угол за что отвечает, но и понимать, как меняется тот или иной показатель в зависимости от изменения любого угла или значения в положительную и отрицательную стороны, например, как будет меняться усилие на рулевом колесе с увеличением или уменьшением кастора, каким образом развал колес компенсируется их сходимостью.

Шаг 1. Формирование технического задания

Изучив много литературных источников и усвоив необходимую информацию, можно переходить к следующему шагу — постановке задач. Инженер должен определить, к чему он будет стремиться во время проектирования, т. е. сформировать техническое задание, где будут представлены все углы и параметры, которыми должен обладать болид. Эти углы должны быть определены для статического состояния. Под статическим состоянием подразумевается полное снаряженное состояние автомобиля со среднестатистическим пилотом внутри. Поэтому надо учитывать, что подвеска автомобиля (пружины, амортизаторы) уже имеет деформацию под весом поддрессоренной части авто и пилота. Необходимо понимать и максимально допустимое изменение этих углов при движении автомобиля. Все эти данные лучше свести в таблицу (табл. 1).

Пример технического задания

Параметры	Ход оси, мм			Крен авто, град			Ход рулевой рейки, мм		
	-30	0	+35	-7	0	+7	-33	0	+33
Центр крена Z, мм	160	140	120	130	130	130	140	140	140
Центр крена Y, мм	0	0	0	-180	0	180	0	0	0
Развал колес, град	-1,2	0,8	1,5	-1,2	0,8	2,5	0,8	0,8	0,8
Аккерман, %	0	0	0	0	0	0	100	0	100
Кастор, град	-8,5	-9	-9,8	-7,8	-9	-10,3	-9	-9	-9

Из-за большого количества показателей добиться идеального состояния всех практически не представляется возможным. Поэтому необходимо расставить приоритеты и выбрать 5–6 показателей, которые будут на 90% приближены к техническому заданию, — над ними и нужно начинать работать. Рекомендуется учитывать следующие углы и параметры:

- схождение колес;
- развал колес;
- положение центра крена;
- кастор;
- аккерман;
- плечо обкатки колес;
- кингпин.

Во время движения по трассе автомобиль совершает многократные повторения трех основных движений:

- поворот управляемых колес;
- крен автомобиля влево и вправо;
- вертикальное движение левого и правого колеса одной оси.

Во всех вышеперечисленных случаях углы подвески меняются по-разному. В реальной жизни отдельно каждое из движений не существует, они постоянно суммируются. Яркий тому пример — это поворот с изменением скорости. Во время такого поворота передние колеса повернуты в сторону, под действием центробежной силы автомобиль имеет крен, а в результате изменения скорости автомобиль «клюет» или «приседает». Учесть изменение углов в таком движении сложно, именно поэтому его разбивают на простые, описанные выше.

Шаг 2. Кинематика подвески

В настоящий момент гораздо удобнее проектировать подвеску при помощи различного программного обеспечения. Для удобства лучше работать в двух программах. Одна из них — любая САПР-программа: Autodesk Inventor,

AutoCad, SolidWorks, Kompas 3D. Вторая программа — позволяющая работать с простыми кинематическими схемами, например Lotus Suspension Analysis (рис. 2).

Изначально создается простейшая кинематическая схема подвески. Создавая ее, не обязательно сразу пытаться соблюсти все углы. Далее идет редактирование положений каждой точки. Для стандартной подвески класса Formula Student примерное количество точек 15. Прежде всего, необходимо выставить колеса: колея, база, развал, схождение, затем определиться с рычагами. Вариантов огромное количество. Далее нужно определить точки крепления рычагов на раме и на поворотном кулаке, стремясь добиться максимального приближения к техническому заданию. Расположение амортизатора и передаточное число рокера подвески нужно выставлять в последний момент, поскольку в большинстве случаев их расположение влияет только лишь на усилия, возникающие в них. На кинематику подвески они оказывают косвенное влияние, изменяя наклон некоторых графиков зависимости, например график зависимости изменения схождения рулевых колес от угла поворота рулевого колеса (рис. 3). Во время проектирования кинематики подвески графическое представление всех параметров гораздо удобнее для восприятия.

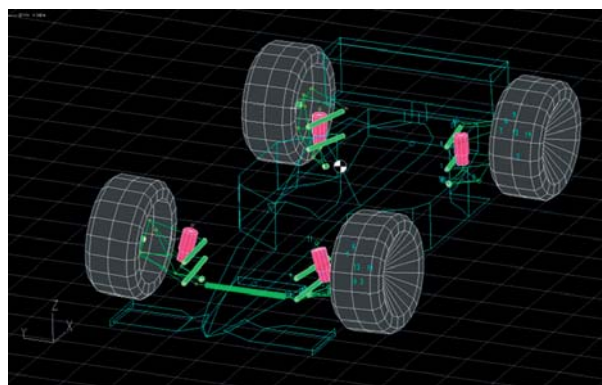


Рис. 2. Кинематическая схема подвески

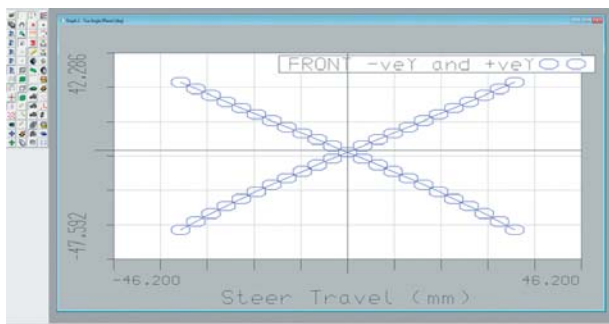


Рис. 3. Зависимость изменения схождения рулевых колес от хода рейки

Шаг 3. Создание пространственной 3D-модели

Определив расположение всех точек, можно перенести кинематическую схему в твердотельную модель. Все начинается с расстановки основных элементов: колесо, ступица, шаровые соединения, амортизаторы. Далее необходимо спроектировать рычаги, поворотные кулаки, уши крепления, рокера. Этот процесс полон творчества. Все элементы могут быть самой различной формы и размеров.

Создается простая грубая 3D-модель, соединяющая все точки. Например, рычаг (рис. 4) должен иметь крепление шаровых соединений и соединять эти крепления между собой, в большинстве случаев это металлические кольца, соединенные между собой приваренными или приклеенными трубками. Во время проектирования подключается еще несколько аспектов работы инженера. Необходимо спроектировать деталь максимально дешевой для производства, легкой, но в то же время выдерживающей действующие на нее нагрузки. Для удешевления производства деталь должна обладать довольно простыми формами и большой унификацией, так как серийное производство всегда дешевле.

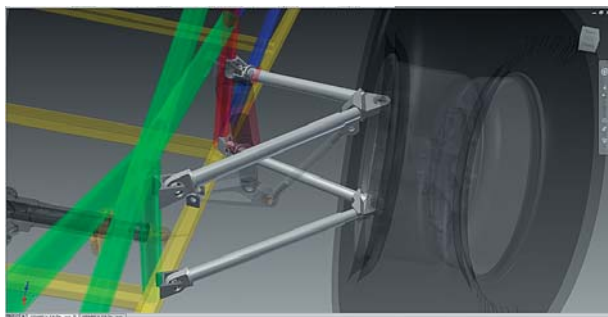


Рис. 4. 3D-модель рычагов передней подвески болида

Параллельно должна проходить работа по созданию рамы автомобиля как основной несущей конструкции.

Шаг 4. Проверка и «шлифовка»

Черновой 3D-вариант подвески необходимо также проверить в динамике. Не должно быть никаких лишних заклиниваний, ничего не должно мешать движению всех элементов. Если есть какие-либо конфликты, необходимо их устранить. Есть несколько путей: изменение формы детали, ее геометрических размеров или изменение всей кинематической схемы. Последнее делать не рекомендуется, поскольку это откинет вас на пару шагов назад.

Когда вся подвеска «ходит» свободно, пришло время проверить, выдерживают ли элементы нагрузку, возникающую во время движения. Это опять же удобно делать при помощи САПР-систем, в которых вы работаете. Проверке подвергается вся система целиком. Это делается для того, чтобы понять, какие места надо усилить, а какие можно ослабить, и убрать лишний материал для облегчения конструкции (рис. 5). Так, проверку можно проводить от трех раз и более, пока не будет достигнуто равновесие между прочностью и весом подвески. В результате «шлифовки» — устранения лишнего металла и корректировки форм и размеров — подвеска приобретет окончательный вид.

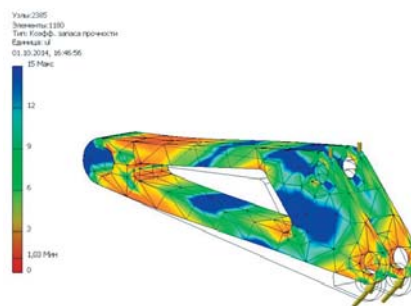


Рис. 5. Расчет коэффициента запаса прочности

Для такой ответственной системы, от которой зависит 60–70 % вашей безопасности, коэффициент запаса прочности элементов подвески должен составлять 2–2,5.

Шаг 5. Согласование и производство

Когда все готово, необходимо оформить конструкторскую документацию и предоставить ее исполнителю на согласование. В документации должны быть указаны основные характеристики деталей: базовые размеры, предельные отклонения, необходимая шероховатость, режимы возможной химической или термической обработки (рис. 6). Исполнитель оценит ваши детали с точки зрения возможности изготовления, сроков и стоимости производства, возможно, предложит внести некоторые изменения. Вносить эти изменения или нет — решает инженер.

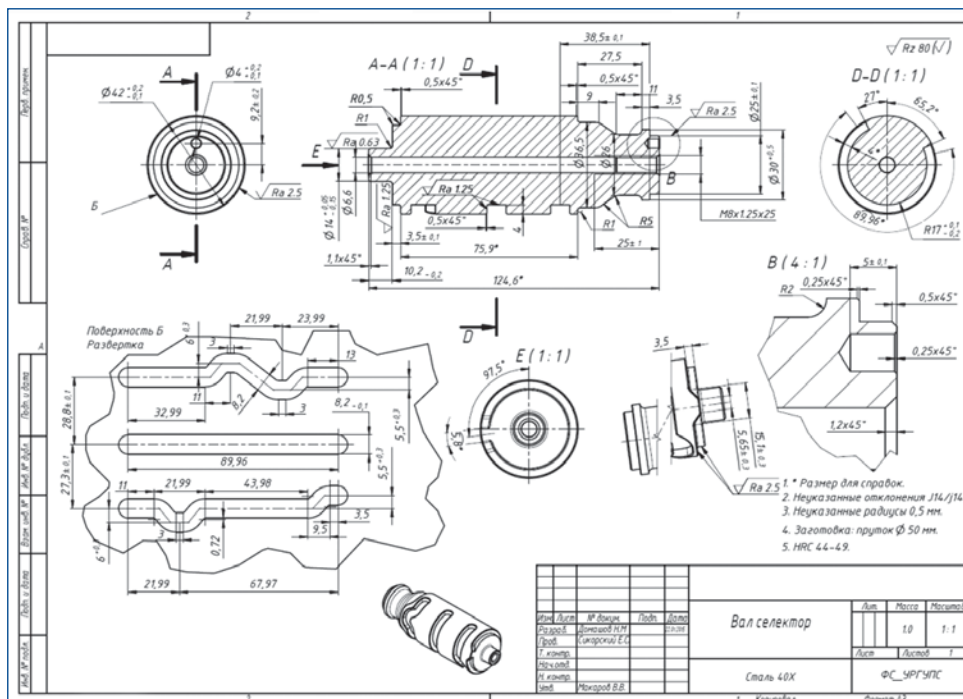


Рис. 6. Чертеж вала переключения передач

Все согласованные чертежи передаются в производство. После изготовления деталей остается проконтролировать основные размеры, правильность сборки и установки всей системы.

В заключение хочется сказать, что не существует идеальной подвески. Всегда есть пространство для творчества, постоянно можно что-либо улучшать, тем самым двигая прогресс вперед. Formula Student рождает новые таланты, способные изменить мир. **ИТ**

Список литературы

1. Шасси автомобиля / сокр. пер. с нем. В. П. Агапова; под ред. И. Н. Зверева. — М. : Машиностроение, 1983. — 356 с., ил.
2. Хаммилл Д. Подвеска и тормоза / пер. с англ. — М. : Легион-Автодата, 2005. — 96 с., ил.
3. Автомобили: Основы проектирования : учеб. пособие для вузов / М. С. Высоцкий, А. Г. Выгонный, Л. Х. Гиллес, С. Г. Херсонский; под ред. М. С. Высоцкого. — Минск : Выш. шк., 1987. — 152 с., ил.
4. URL: www.lotuscars.com
5. URL: www.rc-auto.ru
6. Неволин Д. Г., Домашов Н. М., Сикорский Е. С. Формула успеха // Инновационный транспорт. — 2014. — № 4 (14). — С. 45–49.