

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 3 (17)

сентябрь 2015

А. С. Мишарин
о проекте высокоскоростного
транспортного коридора
«Москва – Пекин»

和谐号

G.3
CRH



Организация и развитие
мультимодальных
перевозок

Принципы реализации
контроля целостности
рельсовой линии

Перспективные направления
проектирования
пешеходных мостов

Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 3 (17), 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. 52-79.
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 30.09.2015. Печать офсетная.

Тираж 1000 экз. Заказ № 1517.

© 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, Екатеринбург (Россия).

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

Денис Викторович Ломотко, доктор технических наук, академик Транспортной академии Украины, профессор Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков (Украина).

Маргарита Булатовна Имандосова, доктор технических наук, профессор по научной работе Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау (Казахстан).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Сергей Алексеевич Румянцев, доктор физико-математических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

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

Игорь Александрович Тараторкин, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Гусеничные машины» Курганского государственного университета, заведующий Курганским отделом механики транспортных машин Института машиноведения УрО РАН, Курган (Россия).

Елена Николаевна Тимухина, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, заведующая кафедрой «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 3 (17), 2015

Published since November 2011

Founders: Russian Academy of transport (РАТ),
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 30.09.2015. Offset printing.

Circulation 1000 copies. Order No. 1517.

© 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. Lomoto, DSc in Engineering, Academician of the Transport Academy of Ukraine, professor of the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov (Ukraine)

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

EDITORIAL BOARD

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

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

Sergey A. Rumyantsev, Doctor of Physico-mathematical Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor of “Higher and Applied Mathematics” at Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg (Russia).

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

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

Elena N. Timukhina, Doctor of Technical Sciences, professor, member of Russian Academy of Transport, Head of “Field operation management” department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, (Russia).

СОДЕРЖАНИЕ

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

Мишарин А. С.

Особенности развития инфраструктурного проекта «Евразийский высокоскоростной транспортный коридор „Москва — Пекин“» (по материалам доклада на Международной промышленной выставке «ИННОПРОМ-2015») 3

Организация производства (транспорт)

Самуйлов В. М., Галкин А. Г., Харин В. В., Кравченко И. В.

Теория формирования модулей функционального соответствия для повышения эффективности организации производства на транспорте региона 6

Тарасян В. С., Полушкин А. Я.

Транспортная задача с посредником и ее решение эволюционными методами 13

Журавская М. А., Смородинцева Е. Е.,

Морозова О. Ю., Уткина Г. В.

Организация и развитие мультимодальных пассажирских перевозок — важная часть экологической стратегии ОАО «РЖД» 18

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Ковалев А. А., Окунев А. В.

Оценка состояния опор контактной сети на протяжении жизненного цикла 23

Сергеев Б. С., Сисин В. А.

Принципы реализации контроля целостности рельсовой линии 30

Аккерман Г. Л., Скутина М. А.

Бализа как способ контроля напряженного состояния рельсовых плетей, выброса и разрыва пути 34

Аккерман Г. Л., Щепин К. М.

Основные причины возникновения отказов в работе железнодорожного пути 38

Управление процессами перевозок

Плахотич С. А., Плахотич И. С.

Станции с удлиненными приемно-отправочными путями 41

Коваленко В. Н., Катаев М. Н.

Современные тенденции автоматизации переездов на железнодорожном транспорте 54

Козлов П. А., Чернышев К. А.

Построение интеллектуальной информационной среды на железнодорожном транспорте 59

Попов В. Е., Брылин А. Ю., Шабардин А. Г.

Иновационные средства для профессиональной подготовки работников железнодорожного транспорта 64

Эксплуатация автомобильного транспорта

Моисеев О. Ю., Парышев Д. Н., Овчинников И. Г.,

Копырин В. И., Харин В. В., Яковлев Л. С.

Применение металлических гофрированных конструкций в малом мостостроении 68

Овчинников И. Г., Овчинников И. И., Караханян А. Б.

Перспективные направления проектирования на примере современных пешеходных мостов 73

Неволин Д. Г., Смердов Д. Н., Смердов М. Н., Клементьев А. О.

Предложения по учету влияния положительных температур в методике расчета нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами 80

CONTENTS

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

Aleksandr S. Misharin

Specifics of the development of infrastructure project «Eurasian High-speed Transport Corridor “Moscow — Beijing”». (based on the report at the International Industrial Exhibition «INNOPROM-2015»). 3

The organization of production (transport)

Valeriy M. Samuylov, Aleksandr G. Galkin,

Valeriy V. Kharin, Irina V. Kravchenko

Improving management efficiency of transport industry in the region using functional correspondence modules theory 6

Vladimir S. Tarasyan, Aleksey Y. Polushkin

Transportation problem with a mediator and its solution using evolutionary methods 13

Marina A. Zhuravskaya, Elena E. Smorodintseva,

Olga Y. Morozova, Galina V. Utkina

Organization and development of multi-modal passenger transportation as an important part of the environmental strategy of Russian Railways JSC 18

Rolling stock, hauling operation and electrification

Aleksey A. Kovalev, Aleksandr V. Okunev

Assessment of serviceability of catenary supports throughout the life cycle 23

Boris S. Sergeev, Valeriy A. Sisin

Rail line integrity monitoring implementation principles 30

Gennady L. Akkerman, Mariya A. Skutina

Balisa as a way to control stress state of rail bars, track distortion and break 34

Gennady L. Akkerman,

Konstantin M. Schepin

Main causes of railway track failure 38

Management of transportation processes

Sergey A. Plakhotich, Irina S. Plakhotich

Stations with elongated receiving and departure tracks 41

Vladimir N. Kovalenko, Maksim N. Kataev

Modern trends in automation of level crossings on railway transport 54

Pyoer A. Kozlov, Konstantin A. Chernyshev

Building a smart information environment in railway transport 59

Valeriy E. Popov, Aleksey Y. Brylin,

Aleksandr G. Shabardin, Oleg Y. Moiseev

Innovative tools for training of railway industry workers. 64

Operation of motor transport

Dmitriy N. Paryshev, Igor G. Ovchinnikov,

Vladimir I. Kopyrin, Valeriy V. Kharin, Lev S. Yakovlev

Use of corrugated metal structures in small bridge construction 68

Igor G. Ovchinnikov, Ilya I. Ovchinnikov, Artur B. Karakhanyan

Promising areas of design by the example of modern pedestrian bridges 73

Dmitry G. Nevolin, Dmitriy N. Smerdov,

Mikhail N. Smerdov, Aleksey O. Klementyev

Proposals for taking into account the effect of positive temperatures in the design methodology of normal sections of bending concrete elements reinforced by polymer composites. 80



Александр Сергеевич
Мишарин

Aleksandr S. Misharin

Особенности развития инфраструктурного проекта «Евро-азиатский высокоскоростной транспортный коридор „Москва — Пекин”»

(по материалам доклада на Международной промышленной выставке «ИННОПРОМ-2015»)

Specifics of the development of infrastructure project «Eurasian High-speed Transport Corridor “Moscow — Beijing”»

(based on the report at the International Industrial Exhibition «INNOPROM-2015»)

Аннотация

Представлена информация о реализации проекта высокоскоростной магистрали (ВСМ) Москва — Пекин и сотрудничестве с китайскими партнерами.

Ключевые слова: Международная промышленная выставка «ИННОПРОМ-2015», высокоскоростная магистраль, ВСМ «Москва — Пекин», сотрудничество с Китаем, реализация проекта, эффективность проекта.

Summary

The report informs about the progress of Moscow — Beijing high-speed line (HSL) project and cooperation with Chinese partners.

Keywords: International Industrial Exhibition “INNOPROM-2015”, high-speed line, HSL “Moscow — Beijing”, cooperation with China, project implementation, project effectiveness.

Авторы Authors

Александр Сергеевич Мишарин, д-р техн. наук, профессор, президент Российской академии транспорта, первый вице-президент ОАО «Российские железные дороги», Москва

Aleksandr Sergeevich Misharin, DSc in Engineering, Professor, President of the Russian Academy of Transport, First Vice-President of Russian Railways JSC, Moscow

Создание и развитие новых видов транспорта, к которым относится и высокоскоростное движение, является неотъемлемой частью развития экономики, промышленности и государства в целом и существенно влияет на нашу жизнь.

Развитие высокоскоростного движения, создание новых видов транспорта, железных дорог всегда вызывало огромный общественный интерес как в России, так и в других странах. ВСМ сегодня — обязательный атрибут всех высокоразвитых государств — это один из элементов конкурентности экономики. Россия в этом плане не исключение. Проект реализации высокоскоростной железнодорожной сети в России, включенный в Транспортную стратегию Российской Федерации на период до 2030 г., предусматривает строительство сети протяженностью 4200 км линий со скоростью более 200 км/ч, модернизацию 7000 км линий со скоростью 160–200 км/ч, создание новой экономической и социальной карты страны.



Развитие транспортных систем в мире

Всего в мире построено более 30 тыс. км высокоскоростных железных дорог. Несомненным лидером в этом вопросе является КНР, которая в 2008 г. ввела первую линию между городами Пекин и Чанджоу. Сегодня сеть ВСМ в Китае насчитывает 16 тыс. км, а к концу года достигнет 20 тыс. км.

Неслучайно возникла идея строительства высокоскоростного железнодорожного транспортного коридора «Москва — Пекин». В августе 2014 г. во время заседания межправительственной комиссии в присутствии премьеров стран был подписан меморандум о начале реализации этого проекта. В мае 2015 г. между Министерством транспорта РФ, ОАО «РЖД», Комитетом по реформам и развитию Китая, Китайскими железными дорогами в присутствии глав государств подписан меморандум об условиях и этапах реализации проекта высокоскоростного железнодорожного коридора «Москва — Пекин» и реализации первого пилотного участка Москва — Казань на территории Российской Федерации.

Проект включает в себя строительство железной дороги протяженностью 8 тыс. км, обеспечивает сокра-

щение времени в пути в 4 раза, является крупнейшим проектом в мире — по масштабам его можно сравнить со строительством Суэцкого и Панамского каналов.

Проект создает новые условия для транзита, соединения и связи между европейскими и азиатскими государствами и, несомненно, имеет продолжение. На сегодняшний день идет проектирование, заключены договоры между ОАО «РЖД» и консорциумом крупных проектных институтов «Мосгипротранс», «Нижегород-метропроект» и «Вторым проектным китайским институтом». Это самый большой проектный договор за всю историю России. При подготовке документации, проектных технических заданий и условий мы работали совместно с немецкой компанией «Сименс», французскими коллегами из компании «Систра», здесь заложены самые передовые решения.

При сокращении времени хода между Москвой и Казанью важным моментом является то, что мы даем точки возможного роста еще в 11 городах России: Нижнем Новгороде, Чебоксарах, Владимире, Дзержинске, Орехово-Зуеве и др., которые по сути дела становятся одной агломерацией. При этом агломерационный эффект, как правило, превышает эффект от транзитных перевозок. Важным подтверждением являются расчеты по строительству проекта «Москва — Казань». Прирост валового регионального продукта за первые 12 лет эксплуатации составит более 11 трлн руб., что даст дополнительный доход в бюджеты в размере 3,4–3,8 трлн руб.

Еще один пример расчета реализации участка высокоскоростного коридора «Москва — Пекин» — магистрали Екатеринбург — Челябинск. За счет сокращения времени хода от Екатеринбурга до Челябинска до 1 часа формируется новая агломерация, что дает колоссальный экономический эффект (в течение 10 лет — 500 и более млрд руб.).

Можно сделать вывод, что такие проекты являются проектами «не нефтегазового пути развития» и влияют на все сферы бизнеса и жизни. По исследованиям аналитиков мирового банка, к 2030 г. инвестиционная потребность мировой транспортной инфраструктуры, включая аэро- и морские порты, железные дороги, трубопроводы, автомобильные дороги, составит 11,3 трлн долларов в стратегических программах развития, из которых 5 трлн долларов, или 44 %, планируется направить на модернизацию железных дорог.

Россия с ее значительными расстояниями должна воспользоваться мировыми трендами этого развития, при этом среднегодовой объем вложений в смежные виды транспорта до 2030 г. должен увеличиться в 1,6 раза, а в железные дороги — в два раза.

ВСМ — это борьба за скорость, драйвер развития технологий. Главный тренд последнего времени — импортозамещение, и здесь у нас есть уникальная возможность создать совместные предприятия и применить

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



Единый транспортный коридор евро-азиатского экономического сотрудничества

— скоростные грузопассажирские перевозки (до 200 км/ч); — планируемые сети ВСМ (до 360 км/ч);
 — существующие СМ; ■ — ТПУ — пассажирский комплекс, распределяющий пассажиропотоки между видами транспорта и направлениями движения

ИНВЕСТИЦИИ В ТРАНСПОРТ

\$ 11,3 трлн

инвестиционные потребности мировой транспортной инфраструктуры к 2030 г.

\$ 5 трлн

инвестиции в железнодорожную инфраструктуру

железнодорожный транспорт — приоритетное направление развития транспортной инфраструктуры в мире

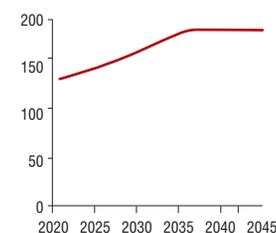
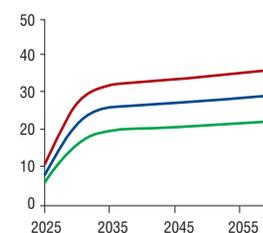
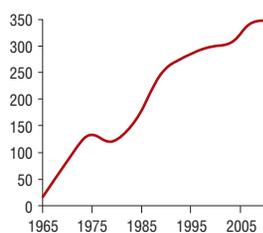
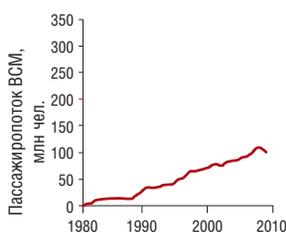


Франция (факт)

Япония (факт)

США (прогноз)*

Великобритания (прогноз)**



Мировая потребность инвестиций к 2030 г.

эти технологии во многих отраслях промышленности: в строительной индустрии, производстве новых материалов, машиностроении, при создании систем автоматики, новых элементов по электроснабжению, включая сверхпроводимость. Следующий этап — организация движения в разряженной среде (вакуумирование), что позволяет повысить скорость от 400 до 600–800 км/ч. Таким образом, ВСМ фактически может перезапустить нашу экономику.

От продвижения этого проекта мы перешли к его реализации. На Петербургском экономическом форуме подписан договор о начале проектирования, сегодня ведутся конкретные проектные работы. В текущем году мы должны выполнить инженерные изыскания и стадию проекта до Нижнего Новгорода, а к концу следующего года выполнить полностью проект до Казани, согласовать технические условия, сформировать финансовую модель и приступить к строительству.



**Валерий
Михайлович
Самуйлов**

Valeriy M. Samuylov



**Александр
Геннадьевич
Галкин**

Aleksandr G. Galkin



**Валерий
Васильевич
Харин**

Valeriy V. Kharin



**Ирина
Викторовна
Кравченко**

Irina V. Kravchenko

Теория формирования модулей функционального соответствия для повышения эффективности организации производства на транспорте региона

Improving management efficiency of transport industry in the region using functional correspondence modules theory

Аннотация

В статье показано, что жизненный цикл процессов можно рассматривать как комплексный критерий для установления функционального соответствия.

Жизненный цикл процесса, который рассмотрен как комплексная характеристика, позволяет представить состояние всего агрегата в заданный момент времени. В качестве агрегата можно представить производственный или транспортный кластер региона.

Ключевые слова: транспорт, жизненный цикл, системный анализ, моделирование, организация производства, модуль функционального соответствия, кластер.

Summary

The article shows that lifecycle of a process can be regarded as a comprehensive criterion for establishing functional correspondence.

The lifecycle of a process, taken as a complex characteristic, allows us to represent the state of the entire aggregate at a given time.

The aggregate can be understood as production or transport cluster of the region.

Keywords: transport, lifecycle, systems analysis, modeling, production management, functional correspondence module, cluster.

Авторы Authors

Валерий Михайлович Самуйлов, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | **Александр Геннадьевич Галкин**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: rector@usurt.ru | **Валерий Васильевич Харин**, канд. техн. наук, действительный член РАТ, заместитель директора по научной работе и инновационному развитию Курганского института железнодорожного транспорта — филиала ФГБОУ ВПО УрГУПС, Курган; e-mail: uralakademia@mail.ru | **Ирина Викторовна Кравченко**, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), преподаватель Челябинского института путей сообщения — филиала ФГБОУ ВПО УрГУПС; e-mail: 101kravciv@mail.ru

Valeriy Mikhaylovich Samuylov, DSc in Engineering, full member of the RAT, Professor, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: Samuilov-sv@convex.ru | **Aleksandr Gennadievich Galkin**, DSc in Engineering, full member of the RAT, Professor, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: rector@usurt.ru | **Valeriy Vasilyevich Kharin**, PhD in Engineering, full member of the RAT, Deputy Director for Science and Innovative Development, Kurgan Institute of Railway Transport, a branch of FSBEI HPE USURT, Kurgan; e-mail: uralakademia@mail.ru | **Irina Viktorovna Kravchenko**, PhD Student, Ural State University of Railway Transport (USURT), teacher of the Chelyabinsk Institute of Railway Transport — a branch of FSBEI HPE USURT; e-mail: 101kravciv@mail.ru

Все развивающиеся процессы можно считать таковыми тогда и только тогда, когда их функциональные характеристики включают в себя и информативные, и стохастически изменяющиеся параметры. Таким образом, для всех групп процессов всегда есть необходимость выделения таких интервалов времени, в которых они могут быть представлены параметрами, не претерпевающими существенных изменений и относящимися к возможности рассмотрения самого процесса их соответствия. Соответствие и сертификация рассматриваются как отдельные локальные задачи, непрерывно выдвигающие потоки взаимодействия различных решений, которые обычно объединять и сопоставлять нельзя.

В статье представлены результаты системного анализа тенденций в развитии транспорта. Для важнейших противоречий между научно-техническим прогрессом (НТП) и динамикой функционирования отрасли региона (в том числе транспортного комплекса в условиях кластеризации экономики), а нередко и командно-административными методами организации и управления, сформулированы модели. Поиск источника противоречий привел авторов к формированию модели развития НТП с прямыми и обратными связями (рис. 1), которая послужила основой для всех последующих теоретических и экспериментальных исследований.

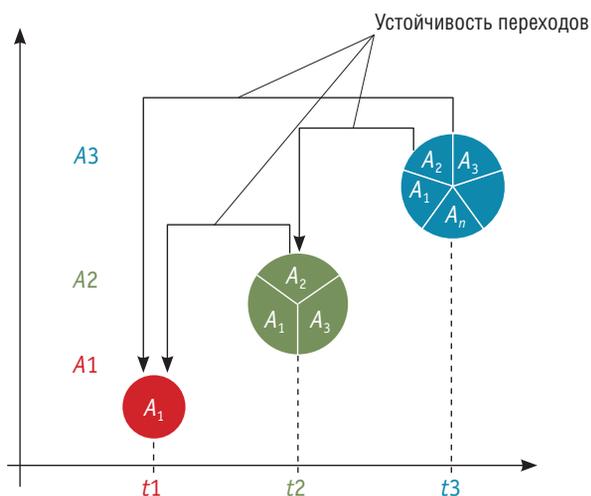


Рис. 1. Модель развития НТП в соответствии с динамикой организации и управления производством

По мере роста показателя агрегативности происходит усложнение технических, организационно-управленческих решений и возрастает роль обратных связей: чем выше уровень сложности агрегативности (переход от A_1 к A_n), тем выше требования к качеству обратных связей. Последние можно считать индикатором управляемости

процессом. Одним из главных свойств технологий и решений по организации и управлению является свойство инвариантности проявления обратных связей в качестве комплексного показателя устойчивости и надежности.

Ретроспективный анализ генезиса орудий труда и развития технологических процессов был основой для выделения структурно-содержательных составляющих процессов деятельности на основных этапах НТП (табл. 1). В. М. Самуйлов в 1999 г. предложил пять этапов НТП [1], а сами этапы автор рассматривал в качестве переходов от одной формы организации к другой, более сложной и многокомпонентной. Последнее позволило представить каждый из этапов НТП в виде следующих структур:

- I этап **Ч - О - П**
- II этап **Ч - Д - О - П**
- III этап **Ч - Д - О - Орг - П**
- IV этап **Ч - Д - С - Орг и У - П**
- V этап **Ч - Д - АС - Орг и У - П**

Дополнительно введем VI этап, который согласуется с современным технико-технологическим укладом производства, основанном на всеобщей компьютеризации и автоматизации производства и транспортного комплекса [4]:

- VI этап **Ч - Д - АС - К - Орг и У - П,**

где **Ч** — человек; **О** — рабочая машина; **Д** — двигатель; **С** — система машин; **АС** — автоматическая система машин (пятизвенная); **Орг и У** — система организации и управления производством; **П** — продукт процесса производства; **К** — компьютеризация.

Системный анализ содержания этапов НТП позволил сформулировать одну из самых сложных задач по организации и управлению производством и в первую очередь — транспортным комплексом в условиях кластеризации экономики региона — задачу типизации модулей. Такие модули должны иметь одновременно два признака. С одной стороны, модули должны быть типовыми для структуризации и обработки информации, а с другой — иметь свойство формализовать содержание самих модулей при принятии решений. Одновременно два этих признака выполнить достаточно сложно в силу разнохарактерности и переменности функциональных структур транспортного комплекса региона. Поэтому авторы предложили формировать технологию принятия решений, включив в нее процедуры имитационного моделирования и алгоритмы установления взаимосвязей. Эти решения рассматриваются на фоне типизации жизненных циклов процессов транспортного комплекса региона как одного из критериев функционального соответствия.

Структурно-содержательные составляющие процессов деятельности на основных этапах НТП

Этапы НТП	Человек	Орудие труда	Организация	Продукт
Первый. Первобытнообщинный способ производства, общественное разделение труда, выделение охотников, скотоводов и ремесленников	Выполняет все функции самостоятельно, кроме технологической	Простейшие орудия выполняют частично технологическую функцию	Отсутствие организации, процесс труда носит локальный и индивидуальный характер	Минимум продуктов питания и одежды для удовлетворения элементарных физиологических потребностей человека
Второй. Появление простейших инструментов и механизмов	Передает функции: двигательную (частично) и технологическую (частично)	Инструменты и простейшие механизмы, механизировано ручное производство	Носит коллективный характер, появляются элементы организации труда	Продукты питания, одежда, изготовление инструментов и элементов механизмов
Третий. Изобретение двигателя, паровой машины, электричества, суппорта Нартова	Передает функции: двигательную и технологическую	Машина, система машин (трехзвенная), механизированное производство	Появление мануфактуры и переход к крупной промышленности. Формирование организации производства	Продукты питания изготавливаются в пищевой промышленности. Элементы машин и оборудования создаются с помощью самих рабочих машин
Четвертый. Автоматизация	Передает функции: двигательную и технологическую, транспортирующую и управляющую (контрольно-направляющую)	Развитая система машин (четырёхзвенная), автоматическая система машин (пятизвенная), комплексно механизированные и частично автоматизированные производства	Крупная промышленность, монополии, транснациональные корпорации. В России — комбинаты, объединения, фирмы. Системы организации управления производством	Продукт изготавливается в комплексно механизированных цехах и участках, на автоматах и автоматических линиях. Продуктом становится информация
Пятый. Комплексная автоматизация	Передает функции: двигательную и технологическую, транспортирующую и две управляющие (контрольно-направляющую и регулирующую)	Развитая автоматическая система машин — автоматизированное и комплексно автоматизированное производства	Транснациональные корпорации, межотраслевые объединения и промышленные финансовые группы. Система организации производства	Производится с помощью автоматизированных линий, робототехнических комплексов, гибких производственных систем
Шестой. Интегрированные интеллектуальные технологии. Компьютеризация. Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы управления (ИСУ)	Передает функции: двигательную, технологическую, транспортирующую и три управляющие (контрольно-направляющую, саморегулирующую и интеллектуальную)	Развитая интегрированная интеллектуальная система машин и компьютерных систем управления производством. Широкое использование геоинформационных и электронных информационных систем. Нанотехнологии и робототехника	Межнациональные информационные и спутниковые навигационные системы и базы данных (Интернет, GPS, ГЛОНАСС). Межгосударственные объединения по созданию интеллектуальных технологий нового поколения	Интегрированные интеллектуальные технологии, компьютеризированные производства и системы (программные продукты), их обеспечивающие, регулирующие в интерактивном режиме. Логистические системы транспорта

Результаты, полученные авторами, а также методология и технология устойчивого развития являлись исходными предпосылками для концептуальной модели процедур технологии организации процессов производства в транспортном комплексе в условиях кластеризации экономики региона. Модель обеспечивает возможность применения процедур соответствия, формирования систем координат НТП, установления возможности рассмотрения границ жизненного цикла и собственно технологии организации. Названные процедуры авторы предложили включить в сквозной целевой процесс (рис. 2).

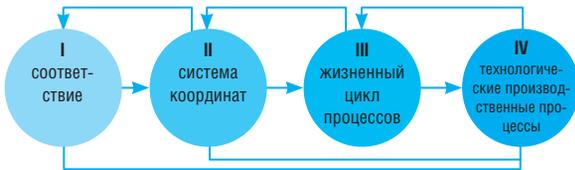


Рис. 2. Модель функционального соответствия организации производственного технологического процесса для промышленных и транспортных кластеров: I, II, III, IV — элементы модели

Все указанные выше последовательные действия — это строго заданные функции, которые должны соответствовать целям и представлять собой задаваемые и ограниченные алгоритмы формирования технологии организации и управления (рис. 3.)

Целью процедуры соответствия (рис. 2, элемент I) является обеспечение всех действий по модели в целом, по каждой отдельной составляющей (элементы I–IV) и любой их сочетаемости, задаваемых в модели. Процедура соответствия может быть достаточной только в том случае, если она предусматривает системный комплекс технологических процессов, определяющих содержание технологии. Как видно из схемы (рис. 2, элемент IV), таким процессом может быть автоматизация и т. д.

В качестве основного формального критерия обеспечения соответствия авторы предложили применить критерий соответствия основных параметров жизненного цикла в зависимости от поставленных целей для транспортного комплекса региона. Исследования в этой области позволили сформулировать следующие основные задачи:

- моделирование всех структур функции соответствия целям;
- постоянно действующий анализ и непрерывное выявление тесноты взаимосвязей между параметрами;
- выявление развития структур типажей, входящих в состав модели.

Таким образом, найденное авторами решение позволило рассматривать технологию организации производства как технологию взаимодействия типовых функцио-

нальных модулей, что является единственно возможным условием для формирования основных структур. Последнее, как известно, выступает главным условием для выбора расчета вариантов решений.

Функциональные модули, идея которых была сформулирована авторами, позволили реализовать два принципиально новых и важных момента: типовую систему координат НТП (рис. 2) и типовые функциональные алгоритмы (рис. 3). Система координат представляет собой гибкую, открытую динамическую структуру, составляющие элементы которой рассматриваются как переменные, позволяющие на единой основе строить композиционные и декомпозиционные решения функции целей на заданный период времени. Следовательно, система координат может служить единой информационной структурой для установления различных сочетаний содержательных характеристик, с которыми можно осуществлять действия, соответствующие выбранному варианту.

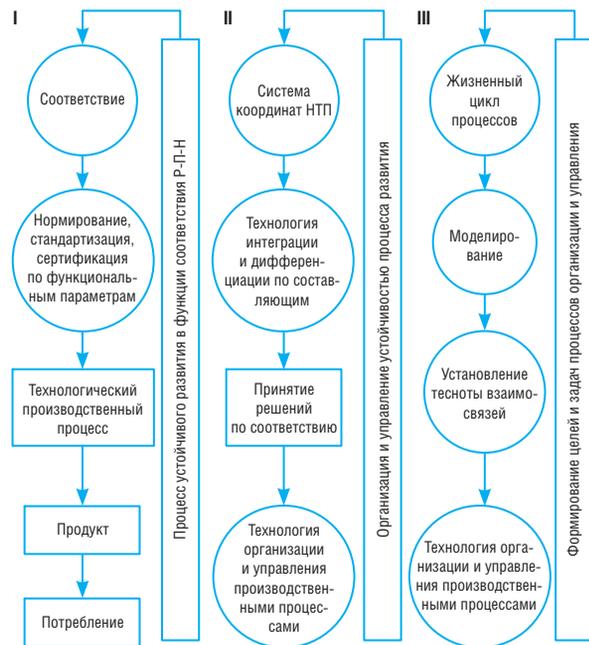


Рис. 3. Типовые функциональные алгоритмы

Выделяется главное свойство развития — структуризация этого процесса во взаимосвязи с критериями устойчивости в соответствии с этапами НТП. При этом реализуется возможность разработки модели формирования типовых модулей функционального соответствия. На рис. 4 представлена система координат информационного пространства как структура переменных состояний ($A_1 — A_n$), из сочетания которых формируются все задачи композиции. Содержание композиционных и декомпозиционных структур во времени ($A_1, A_2, … A_n$) или по сочетаниям содержательных составляющих (человек, орудия труда и т. п.).

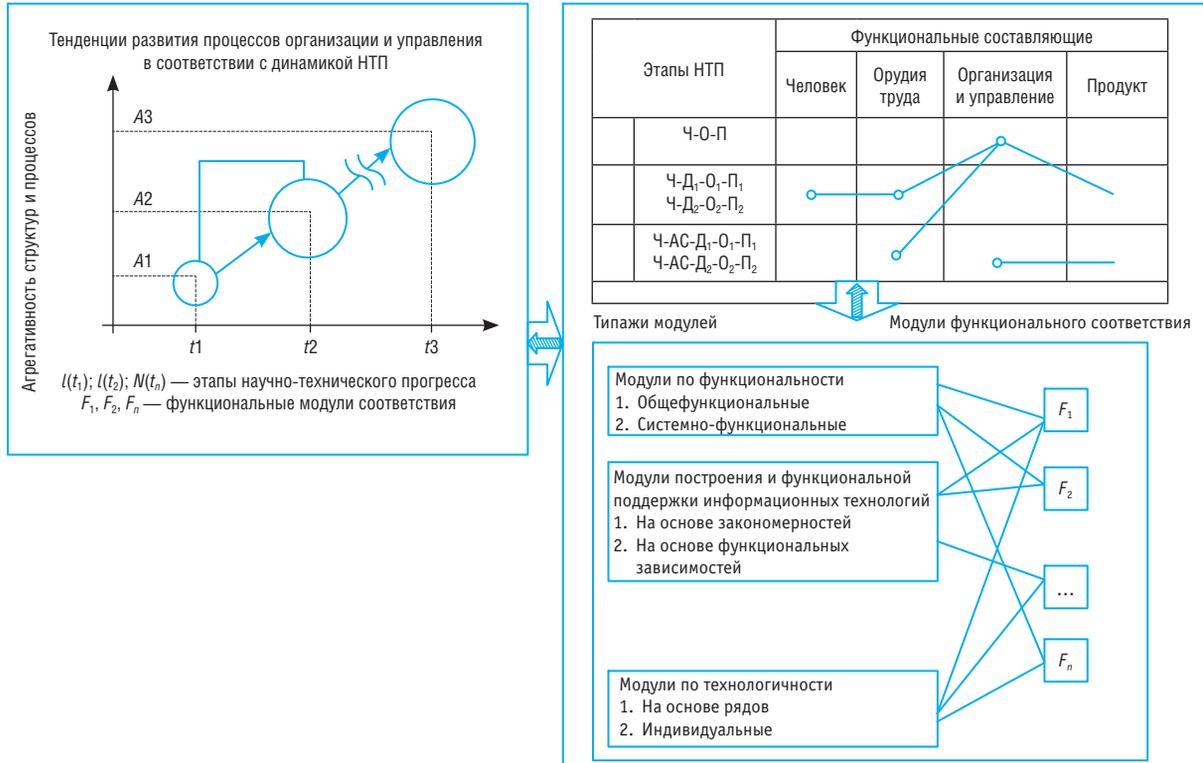


Рис. 4. Модули функционального соответствия для промышленных и транспортных кластеров

Самуйловым В. М. в работах [1, 2] сформулировано основное понятие — **модуль функционального соответствия**, который может отражать многофункциональные характеристики любого процесса на единой методической основе. В настоящей работе рассматриваются открытые технологические процессы. В результате проведенных исследований авторами была сформулирована концепция технологии решения и повышения эффективности процессов организации деятельности. Установлено, что модули функционального соответствия, основываясь только на исходных положениях концепции, получить крайне сложно. Главной причиной этого является исторически сложившаяся специализация, т. е. на уровне традиционных одномерных понятий. Эти понятия, хотя и участвуют в n -мерных системах, не нашли системного отражения в функциональных характеристиках.

Однако опыт, накопленный в экономике и технологии производства, способствует решению этой сложной проблемы. Так, синтезируя знания по производственным технологическим процессам различного назначения, авторами сформулированы и систематизированы следующие группы технологических модулей (в рамках кластеризации экономики, рис. 4):

- I. Модули по функциональности:
 - 1) общесистемные;
 - 2) системно-функциональные;

- 3) неформальные (для которых в данный момент времени сложно установить определенный типаж).
- II. Модули построения и функциональной поддержки:
 - 1) решаемые на основе закономерностей;
 - 2) решаемые на основе функциональных зависимостей;
 - 3) решаемые на основе локальных несистематизированных данных.
- III. Модули по технологичности решений:
 - 1) на основе построения параметрических рядов;
 - 2) индивидуальные и смешанные;
 - 3) по уровню нормируемости (стандартизация, сертификация).

Системный взгляд на решение этой сложной проблемы позволил предложить пакет технологических решений формализованного вида, включая имитационное моделирование, а также установление тесноты взаимосвязи между параметрами и соответствием жизненному циклу развития системы (в том числе транспортного комплекса).

Изучение возможности применения методов имитационного моделирования для формирования модулей функционального соответствия показало, что современные языки моделирования не в полной мере соответствуют требованиям при решении поставленных задач. Модули функционального соответствия имеют раз-

личный структурно-содержательный состав, набор параметров, их размерность и т. п. По этой причине авторы адаптировали математический аппарат и формальные технологические процедуры, а также сформулировали следующий комплекс требований к модулям:

1. Разработчик задачи на всех этапах ее решения должен применять средства ВТ, даже не обладая знаниями в области программирования.
2. Взаимосвязь между ЭВМ и пользователем должна осуществляться посредством предметно-ориентированного языка.
3. Набор модульных программ для моделирования должен обладать свойствами сжатия и расширения, что будет обеспечивать возможность включения новых модулей и получение комбинаций модулей для различных пользователей.
4. Система должна располагать алгоритмом для выдачи результатов в форме, необходимой в данной предметной области.
5. Система должна обеспечивать возможность корректировки структуры и параметров модели (включения и замены части модели или отдельных параметров).

При разработке имитационной модели необходимо выбрать концептуальную схему для описания моделируемой системы. Эта схема базируется на определенном методологическом подходе, в рамках которого воспринимаются и описываются функциональные взаимосвязи системы. Следовательно, применяя для создания модели тот или иной имитационный язык, разработчик тем самым уже определяет методологический подход. Модели систем могут быть дискретными или непрерывными (аналоговыми), а также дискретно-континуальными.

Под моделью понимается определенное отношение между двумя системами, одну из которых называют моделируемой системой (оригиналом), а другую — моделирующей системой (моделью).

Имитационная модель — это набор (Z_1, Z_2, m, M, Tr, R) , для которого справедливы следующие условия:

1. Z_1 и Z_2 — динамические системы, предположим, (C_1, V_1, b_1) и (C_2, V_2, b_2) ; Z_2 — моделирующая имитирующая система, а Z_1 — моделируемая или имитируемая система.
2. m — отображение замыкания X области системы Z_1 на характеристику системы Z_2 (элементная часть).
3. M — отображение характеристики G_1 системы Z_1 на характеристику Z_2 (атрибутная часть).
4. Tr — неубывающее отражение существования T_1 системы Z_1 на существование T_2 системы Z_2 (временная часть).
5. R — отображение множества U на некоторое множество бинарных отношений объединения всех стандартных множеств (часть отношений модели). U определено как множество всех (a, x, t) ,

где a — стандартный атрибут из G_1 , x — принадлежит области атрибута a и $C_1(x, t) = true$.

6. Если x принадлежит области динамического атрибута a из G_1 , то $m(x)$ — область динамического атрибута Ma .
7. Если a и b принадлежат характеристике одного и того же динамического класса из V_1 , то Ma и Mb — характеристике одного и того же динамического класса из V_2 .
8. Пусть $x \in XI, t \in TI$. Тогда, если $C_1(x, t) = true$, то $C_2(m(x), Tr(t)) = true$.
9. Если a — динамический стандартный указательный атрибут из G_1 , то Ma — также динамический указательный атрибут. Если x является элементом области атрибута a , $t \in TI$ и $C_1(x, t) = true$, то $m\{a(x, T)\} = Ma\{m(x), Tr(t)\}$.
10. Если a — динамический стандартный атрибут из G_1 , то Ma — также динамический стандартный атрибут. Если x является элементом области атрибута a , то $t \in TI$ и $C_1(x, t) = true$, то выполняется отношение $Ra, x, t, \{a(x, t)\}, Ma[m(x), Tr(t)]$.

Пусть t — элемент существования динамической системы. Определим $S(t)$ как множество, содержащее пары вида $\langle P, G \rangle$, каждой из которых соответствует динамический класс A из каркаса динамической системы, так что P содержит пары вида $\langle n, f \rangle$, где f — функция, заданная на P , для которой существует динамический атрибут a из характеристики A , так что его имя равно n и $f(x) = a(x, t)$ для всех $x \in P$. Будем называть $S(t)$ состоянием системы.

Обычно различают три типа бинарных отношений между экземплярами информационных элементов:

- 1) один к одному (1:1). Будем изображать это отношение, как показано на рис. 5. В виде прямоугольника изображается информационный элемент. Такие информационные элементы могут быть агрегированы, т. е. объединены в один элемент;
- 2) один ко многим (1:n);
- 3) много ко многим ($m:n$). Информационные элементы, находящиеся в таком отношении, на схеме никак не будем связывать. Отношения более высоких порядков могут быть представлены в виде бинарных отношений. Если проблемная область все же имеет какие-то связи, то их следует представлять простыми или составными отношениями.

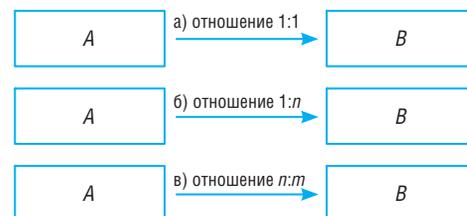


Рис. 5. Отношения между информационными элементами

Организация производства (транспорт)

Наиболее часто применяются три модели данных: иерархическая, сетевая и реляционная.

Важным моментом является жизненный цикл (ЖЦ) процесса, который следует рассматривать как комплексную характеристику, позволяющую представить состояние всего агрегата (в т. ч. кластера) в заданный момент времени. Очевидно, что само понятие в рамках рассматриваемой здесь проблемы ЖЦ чрезвычайно сложно и требует структуризации, а также выявления зон соответствия нормируемости.

Все эволюционные процессы, как известно, проходят следующие этапы развития: становление (развитие), функционирование (стабилизация), затухание.

Эти этапы объединены условным понятием «жизненный цикл процесса». С позиции информационного отображения три указанных этапа существенно различаются по следующим признакам:

- источники информации;
- возможность обработки информации;
- оценка состояния объекта.

По мнению авторов, жизненный цикл процессов в производственных и транспортных кластерах следует рассматривать как комплексный критерий для установления функционального соответствия. Если изучаемые объекты (или их составляющие) относятся к различным видам или этапам ЖЦ, то совершенно очевидно, что рассматривать их как единое целое и измерять в одном времени нельзя. Поэтому процедуру соотнесения конкретного процесса к ЖЦ можно условно считать первым технологическим этапом установления функционального соответствия, а типаж ЖЦ может служить комплексным критерием оценки этого соответствия. **ИТ**

Список литературы

1. Самуйлов В. М. Методология и технология формирования модулей функционального соответствия для повышения эффективности организации производства на железнодорожном транспорте. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 1999. — 228 с.
2. Самуйлов В. М. Методология и технология формирования модулей функционального соответствия для повышения эффективности организации производства на железнодорожном транспорте : дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.28. — М., 1999. — 274 с.
3. Кошкарлова Т. В. Управление инновационной деятельностью на транспорте (На примере дорожного хозяйства) : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 : Екатеринбург, 2003. — 215 с.
4. Мосесов С. К. Концептуальное проектирование комплексов устойчивого развития жизнедеятельности территорий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.12. — М., 1998. — 259 с. — Библиогр. : с. 218–230.
5. Научные основы организации инновационной деятельности на транспорте и в дорожном хозяйстве (теория, методология, практика) : монография / А. Г. Галкин, В. М. Самуйлов, В. Е. Кокшаров, Е. В. Кокшаров. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. — 189 с.
6. Самуйлов В. М., Галкин А. Г., Парышев Д. Н., Харин В. В., Кравченко И. В. Концепция кластерно-модульного развития транспортно-логистических и промышленных систем Курганской области // Инновационный транспорт. — 2015. — № 1. — С. 8–12.



Владимир Сергеевич
Тарасян

Vladimir S. Tarasyan



Алексей Яковлевич
Полушкин

Aleksey Y. Polushkin

Транспортная задача с посредником и ее решение эволюционными методами

Transportation problem with a mediator and its solution using evolutionary methods

Аннотация

В данной работе предложено расширение классической транспортной задачи, достигаемое введением посредника между поставщиками и потребителями. Приведена постановка задачи, предложен метод ее решения при помощи непрерывных генетических алгоритмов.

Ключевые слова: транспортная задача, оптимизация, генетический алгоритм.

Summary

This paper proposes an extension of the classical transportation problem, achieved by introducing an intermediary between suppliers and consumers. The formulation of the problem is given, and a method to solve it is proposed by means of continuous genetic algorithms.

Keywords: transport problem, optimization, genetic algorithm.

Авторы Authors

Владимир Сергеевич Тарасян, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VTarasyan@gmail.com | Алексей Яковлевич Полушкин, аспирант кафедры «Мехатроника» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: impisib@gmail.com

Vladimir Sergeevich Tarasyan, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, "Mechatronics" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: VTarasyan@gmail.com | Aleksey Yakovlevich Polushkin, PhD Student, "Mechatronics" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: impisib@gmail.com

Введение

Логистика является одной из основных отраслей науки, обеспечивающих жизнедеятельность человеческого общества. Основная ее задача — транспортировка людей и грузов различного вида. Необходимость постановки и решения такого рода задач связана с минимизацией затрат на перевозку, определяется экономическим эффектом при нахождении лучшего решения. В математической логистике рассматриваются так называемые «модельные» задачи, имеющие небольшую размерность, но полностью описывающие логистические процессы. Для них разрабатываются аналитические методы, позволяющие найти оптимальное решение при помощи каких-либо математических методов. Но в реальности имеет место эффект «проклятия размерности», который заключается в существенном росте требуемых вычислений при небольшом увеличении размерности задачи. Поэтому в реальной жизни нет альтернативы применению компьютерных методов решения поставленных задач. Они позволяют многократно увеличить скорость нахождения оптимальных решений.

Одной из таких задач является хорошо известная «транспортная задача». Однако она обладает одним существенным недостатком: в ней рассматриваются перевозки напрямую от продавца до покупателя. В действительности практически все перевозки товаров выполняются при наличии некоторого посредника. Это может быть склад либо некая посредническая фирма. Классическая транспортная задача позволяет найти оптимальное решение для каждого этапа перевозок. Но основная сложность заключается в том, что совокупность решений, оптимальных на каждом этапе, не всегда дает оптимальное решение для всей системы перевозок. В данной статье предлагается метод решения сложной задачи, состоящей из цепочки связанных транспортных задач. Этот метод заключается в определении такой загрузки посредников, которая обеспечит минимальную стоимость перевозок по всей транспортной цепочке.

1. Постановка классической транспортной задачи

Пусть n поставщиков располагают $a_i, i = \overline{1, n}$ единицами некоторой продукции, которая должна быть доставлена m потребителям в количествах $b_j, j = \overline{1, m}$. Известна стоимость c_{ij} перевозки единицы продукции от i -го поставщика к j -му потребителю, задаваемая неотрицательной матрицей C размерности $n \times m$. Требуется определить такие объемы перевозок x_{ij} от каждого поставщика к каждому потребителю, чтобы суммарные затраты на перевозки были наименьшими и потребности всех потребителей были бы удовлетворены.

Составим математическую модель замкнутой транспортной задачи. Поскольку от i -го поставщика к j -му потребителю планируется перевезти x_{ij} единиц продукции, стоимость такой перевозки составит $c_{ij}x_{ij}$. Стоимость всех перевозок выражается двойной суммой $z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij}$.

Таким образом, математическая модель замкнутой транспортной задачи имеет следующий вид:

$$z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}.$$

В такой постановке транспортная задача известна с 30–40-х годов XX века [1]. За прошедшее время разработаны различные эффективные способы ее решения, в частности метод потенциалов [2] и другие методы.

2. Постановка транспортной задачи с посредником

Рассмотрим расширение классической транспортной задачи. Введем в задачу посредника, являющегося потребителем для производителя товара и поставщиком для конечного потребителя.

Пусть n поставщиков располагают $a_i, i = \overline{1, n}$ единицами некоторой продукции, которая должна быть доставлена m потребителям в количествах $b_j, j = \overline{1, m}$. При этом перевозки производятся при помощи посредников $d_k, k = \overline{1, s}$. Известны стоимости перевозки единицы продукции c_{ik}^1 (от i -го поставщика к k -му посреднику) и c_{kj}^2 (от k -го посредника к j -му потребителю), задаваемые матрицами C^1 и C^2 размерностями $n \times s$ и $s \times m$ соответственно. Требуется установить такие объемы перевозок x_{ik}^1 и x_{kj}^2 , чтобы суммарные затраты на перевозки были наименьшими при полном удовлетворении всех потребителей.

Таким образом, минимизируемая функция принимает вид

$$z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^s c_{ik}^1 x_{ik}^1 + \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^m c_{kj}^2 x_{kj}^2,$$

а сама задача может быть записана в виде

$$z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^s c_{ik}^1 x_{ik}^1 + \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^m c_{kj}^2 x_{kj}^2 \rightarrow \min,$$

$$x_{ik}^1, x_{kj}^2 \geq 0, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, s}, j = \overline{1, m}.$$

Задача представляет собой две связанные матрицы, для которых решается классическая транспортная задача, т. е. определяются оптимальные маршруты перевозок, и вычисляются связанные с ними суммарные затраты. Сама по себе транспортная задача является

достаточно простой оптимизационной задачей, но добавление второй матрицы и возможность вариации распределения продукта на складах посредника значительно усложняет ее. Основной проблемой в этой задаче становится определение такого распределения грузов у посредника, которое обеспечит минимизацию суммарной стоимости перевозок. Для этой цели предлагается использовать непрерывные генетические алгоритмы, а решение полученных при этом на каждом из двух этапов классических транспортных задач производить любым известным способом, например методом потенциалов.

3. Генетические (эволюционные) алгоритмы

Генетические алгоритмы основаны на принципах естественного отбора, описанных еще Чарльзом Дарвином. Они возникли в результате наблюдения естественных процессов, происходящих в мире живых организмов, в частности, эволюции и связанной с ней селекции популяций живых существ [3].

С точки зрения математики генетические алгоритмы являются алгоритмами случайного поиска, применяемыми в основном для решения задач оптимизации. В них применяются аналоги механизма генетического наследования (создания следующего поколения) и естественного отбора (операции скрещивания и мутации). При этом используется упрощенная биологическая терминология, а также основные понятия линейной алгебры.

Генетические или эволюционные алгоритмы представляют собой идеологию, отражающую естественную эволюцию методов решения проблем. В первую очередь генетическими алгоритмами хорошо решаются задачи оптимизации. Они являются алгоритмами поиска, основанными на механизмах естественного отбора и наследования. Основная идея — эволюционный принцип выживания особей, наиболее приспособленных к заданным условиям.

От традиционных аналитических методов оптимизации генетические алгоритмы отличаются следующими базовыми элементами. Во-первых, они осуществляют поиск решения исходя не из единственной начальной точки, а из их некоторой совокупности (начальной популяции). Во-вторых, они используют только саму целевую функцию и не используют никакой дополнительной информации, например о ее структуре, производных или какую-либо иную. В-третьих, они применяют вероятностные правила выбора, а не детерминированные.

Основным понятием в генетических алгоритмах считается функция приспособленности (*fitness function*). Она описывает меру приспособленности данной особи в популяции. Эта функция играет важнейшую роль, поскольку позволяет некоторым наперед заданным образом оценить степень приспособленности конкретных

особей в популяции и выбрать среди них те особи, которые наиболее приспособлены (т. е. имеют наибольшие значения функции приспособленности) в соответствии с принципом выживания сильнейших. Функция приспособленности получила свое название непосредственно из генетики. Она оказывает основное влияние на функционирование генетических алгоритмов и должна иметь точное и корректное определение. Например, в задачах оптимизации функция приспособленности является целевой функцией (при решении задач максимизации, при минимизации целевая функция меняет знак). При решении задач теории управления функция приспособленности может принимать вид функции погрешности [4–7].

Генетические алгоритмы применяются во многих отраслях науки и техники, в частности в системах искусственного интеллекта, оптимизации структуры сложных систем, в том числе логистических [5, 7–12].

Классический генетический алгоритм, который часто называют элементарным или простым генетическим алгоритмом, состоит из следующих шагов:

1. Инициализация, или выбор начальной популяции особей (хромосом).
2. Оценка приспособленности особей в популяции.
3. Проверка условия прекращения работы алгоритма.
4. Селекция хромосом, т. е. выбор элитных особей.
5. Применение генетических операторов, обычно — скрещивание, мутация, если возможно — сдвиг, инверсия.
6. Формирование следующей популяции или поколения.
7. Выбор «наилучшей» хромосомы, представляющей решение задачи.

Блок-схема элементарного генетического алгоритма изображена на рис. 1.

Наиболее популярным приложением генетических алгоритмов является оптимизация многопараметрических функций. Многие практические задачи могут быть сформулированы как поиск оптимального значения, где значение описывается сложной функцией, зависящей от входных параметров. На практике основной интерес представляет нахождение значений параметров, при которых достигается точное наилучшее значение этой функции. В некоторых случаях не требуется точный оптимум, тогда решением может считаться любой набор параметров, который обеспечит достижение некоторого порогового значения оптимизируемой функции. В этом случае генетические алгоритмы часто являются наиболее приемлемым методом для поиска решения.

Основное преимущество генетического алгоритма заключено в его способности работать одновременно с большим числом параметров. Эта особенность генетических алгоритмов использовалась в сотнях прикладных программ, включая настройку параметров алгоритмов и поиск устойчивых состояний решений систем нелинейных дифференциальных уравнений.

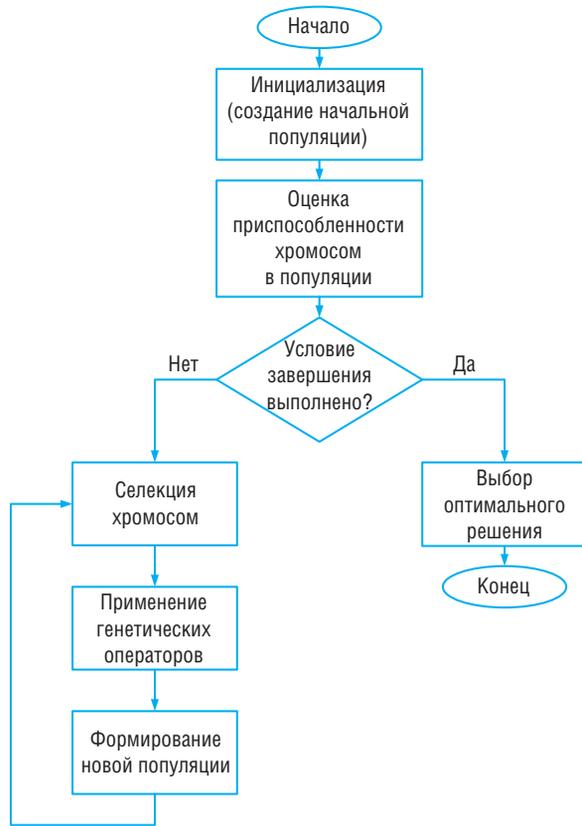


Рис. 1. Блок-схема генетического алгоритма

4. Решение задачи и обсуждение результатов

В среде Matlab было построено решение задачи и создан интерфейс для удобства использования. На первом шаге пользователь вводит количество поставщиков, посредников и потребителей. По введенным числам определяются необходимые количества столбцов и строк матриц стоимости перевозок, которые вводятся в следующем окне. Также в нем вводятся мощности поставщиков, потребителей и начальное распределение продукта среди посредников (рис. 2).

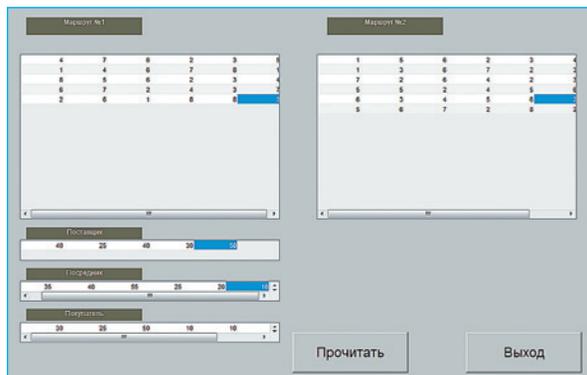


Рис. 2. Задание параметров простых транспортных задач

В итоговом окне (рис. 3) показываются: оптимальный посредник, итоговая сумма и две матрицы перевозок.

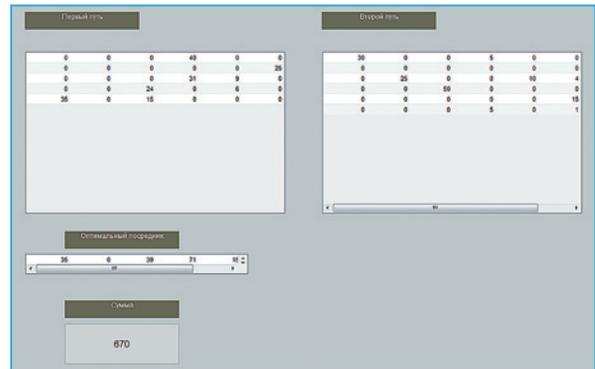


Рис. 3. Результаты расчетов

В качестве примера рассмотрим решение для 6 поставщиков, 6 посредников и 6 покупателей.

Пусть заданы мощности поставщиков

$$A = \{30 \ 40 \ 50 \ 60 \ 30 \ 25\}$$

и потребителей

$$B = \{70 \ 20 \ 50 \ 50 \ 15 \ 30\}.$$

Стоимости перевозок задаются матрицами

$$C^1 = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 2 & 1 & 6 & 3 \\ 4 & 5 & 3 & 4 & 5 & 1 \\ 2 & 3 & 4 & 7 & 2 & 5 \\ 1 & 4 & 5 & 1 & 2 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & 5 & 3 & 5 \\ 5 & 4 & 6 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix} \text{ и } C^2 = \begin{pmatrix} 4 & 5 & 2 & 4 & 3 & 5 \\ 1 & 4 & 3 & 2 & 5 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 2 & 2 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 4 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 2 & 2 & 5 \\ 6 & 1 & 3 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

В качестве начального распределения продукта среди посредников принят вектор

$$D_0 = \{30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 85\}.$$

В результате выполнения программы получены оптимальное распределение продукта среди посредников

$$D = \{50 \ 36 \ 0 \ 24 \ 60 \ 65\}$$

и оптимальные маршруты перевозок

$$X^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 24 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 50 & 0 \\ 50 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 25 \end{pmatrix}$$

$$X^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 50 & 0 & 0 & 0 \\ 36 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & 0 & 15 & 30 \end{pmatrix}.$$

Стоимость перевозок при таком их распределении составляет 736 единиц.

Заключение

Полученные результаты позволяют предложить метод моделирования транспортных цепочек с любым количеством поставщиков и посредников на основе транспортной задачи линейного программирования. Основная проблема, заключающаяся в определении оптимального распределения груза у посредников, как показано в работе, решается при помощи непрерывного генетического алгоритма, который был реализован авторами в среде MatLab. **ИТ**

Список литературы

1. Schrijver A. Combinatorial optimization. — Springer-Verlag, 2003. — ISBN 3-540-44389-4.
2. Канторович Л. В., Гавурин М. К., Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков // Проблемы повышения эффективности работы транспорта: сб. статей. — М.: АН СССР, 1949. — С. 110–138.
3. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Физматлит, 2003. — 432 с. — ISBN 5-9221-0337-7.
4. Тарасян В. С., Куликова И. В. Разработка процедуры построения нечеткого регулятора и ее применение для управления движением перевернутого маятника // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2013. — № 1 (17). — С. 34–42.
5. Тарасян В. С., Куликова И. В., Мезенцев И. С. Построение системы нечеткого управления в мехатронных системах при помощи генетических алгоритмов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6. — URL: <http://www.science-education.ru/120-16429> (дата обращения: 23.12.2014).
6. Тарасян В. С., Мезенцев И. С., Охохонин Г. К. Применение методов искусственного интеллекта в управлении дорожными светофорными объектами // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. — 2013. — № 3. — С. 81–88.
7. Тарасян В. С., Куликова И. В. Влияние структуры термножеств лингвистических переменных на точность работы нечеткого регулятора // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. — 2013. — № 1. — С. 53–60.
8. Журавская М. А., Тарасян В. С. Искусственный интеллект в некоторых задачах моделирования и планирования логистических систем // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. — 2012. — № 3. — С. 84–92.
9. Тарасян В. С., Тен Д. О. Оптимизация транспортной инфраструктуры при помощи генетических алгоритмов // Инновационный транспорт. — 2013. — № 3 (9). — С. 29–32.
10. Журавская М. А., Тарасян В. С. Обоснование оптимальной конфигурации региональной транспортной сети с учетом логистической инфраструктуры // Транспорт: наука, техника, управление. — 2014. — № 2. — С. 22–27.
11. Zhuravskaya M. A., Tarasyan V. S. Forming of the regional core transport network taking into account the allocation of alternative energy sources based on artificial intelligence methods // Transport Problems. — 2014. — Т. 9, № 4. — С. 121–131.
12. Петров М. Б., Тарасян В. С., Журавская М. А. Моделирование оптимальной сети железных дорог с учетом развития транспортно-логистической системы региона // Экономика региона. — 2013. — № 4. — С. 181–189.



**Марина
Аркадьевна
Журавская**

Marina A. Zhuravskaya



**Елена
Егоровна
Смородинцева**

Elena E. Smorodintseva



**Ольга
Юрьевна
Морозова**

Olga Y. Morozova



**Галина
Васильевна
Уткина**

Galina V. Utkina

Организация и развитие мультимодальных пассажирских перевозок — важная часть экологической стратегии ОАО «РЖД»

Organization and development of multi-modal passenger transportation as an important part of the environmental strategy of Russian Railways JSC

Аннотация

В статье определена ведущая роль железнодорожного транспорта при организации мультимодальных пассажирских перевозок. Изучен опыт организации таких перевозок в России и за рубежом, предложена мультимодальная технология для местного сообщения на примере Свердловской железной дороги.

Ключевые слова: зеленая логистика, мультимодальные перевозки, виды транспорта, пассажирские перевозки, местное сообщение.

Summary

The paper defines the leading role of rail transport in multimodal passenger transportation. The experience in multimodal transportation management in Russia and abroad is studied, a multimodal technology for local transport by the example of Sverdlovsk Railways is proposed.

Keywords: green logistics, multimodal transportation, means of transport, passenger transport, local transport.

Авторы Authors

Марина Аркадьевна Журавская, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: MZhuravskaya@usurt.ru | **Елена Егоровна Смородинцева**, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: ESmorodintseva@usurt.ru | **Ольга Юрьевна Морозова**, старший преподаватель кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: OMorozova@usurt.ru | **Галина Васильевна Уткина**, ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: Utkina@usurt.ru

Marina Arkadyevna Zhuravskaya, PhD in Engineering, Associate Professor, "World Economy and Logistics" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: MZhuravskaya@usurt.ru | **Elena Egorovna Smorodintseva**, Associate Professor, "Operations Management" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: ESmorodintseva@usurt.ru | **Olga Yuryevna Morozova**, Senior Lecturer, "World Economy and Logistics" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: OMorozova@usurt.ru | **Galina Vasilyevna Utkina**, Assistant of "Operations Management" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: Utkina@usurt.ru

Главной целью ОАО «РЖД» в области экологии на период до 2017 г. и перспективу до 2030 г. остается сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности [1]. Наиболее значимые меры экологической стратегии приведены в табл. 1 [2].

Все перечисленные меры носят актуальный характер, но внедрение мультимодальных технологий перевозки грузов и пассажиров является, по мнению авторов, не только наиболее значимым элементом экологической стратегии ОАО «РЖД», но и эффективным инструментом зеленой логистики для всей транспортной отрасли в целом. При этом роль железнодорожного транспорта становится ведущей, поскольку это наиболее экологически эффективный вид транспорта, его преимущество перед другими — низкое загрязнение воздуха. На рис. 1 показано, что минимальное влияние на окружающую среду оказывает рельсовый (железнодорожный) транспорт, а самое негативное влияние от выбросов углекислого газа идет от автомобильного транспорта, и эта тенденция характерна как для России, так и для стран Европы. Негативное влияние автотранспорта на окружающую среду отягощается еще

и тем, что автотранспорт не содержит собственную инфраструктуру (дороги, устройства сигнализации и связи и др.), в отличие, например, от железнодорожного.

Целью настоящей статьи стало изучение возможности организации мультимодальных пассажирских перевозок, где главная роль отводится именно железнодорожному (рельсовому) транспорту, а использование автотранспорта будет минимальным.

В современном значении под мультимодальной перевозкой груза понимают перевозку двумя и более видами транспорта, по единому транспортному документу, по единой тарифной ставке и под ответственностью одного оператора перевозки [5]. В настоящее время термин «мультимодальные перевозки» распространяется и на пассажирское сообщение, но в этом случае единая тарифная ставка и единый документ объединяются в едином (сквозном) билете [6]. Таким образом, под мультимодальной пассажирской перевозкой понимается перевозка пассажиров двумя и более видами транспорта, под ответственностью одного оператора и по единому билету, с целью удовлетворения потребности населения в перевозках (рис. 2).

Таблица 1

Экологическая политика ОАО «РЖД»

Меры, направленные на реализацию экологической стратегии ОАО «РЖД»			
Инфраструктурные	Технические	Технологические	Культурные
Переооружение инфраструктуры	Устройства для возобновления энергии солнца и ветра	Применение энергооптимальных графиков движения поездов	Формирование корпоративной культуры путем вовлечения персонала холдинга в дело сохранения природы
Модернизация подвижного состава	Акустические системы отпугивания животных	Безбумажные технологии документооборота	
	Шумозащитные экраны	Внедрение мультимодальных технологий	

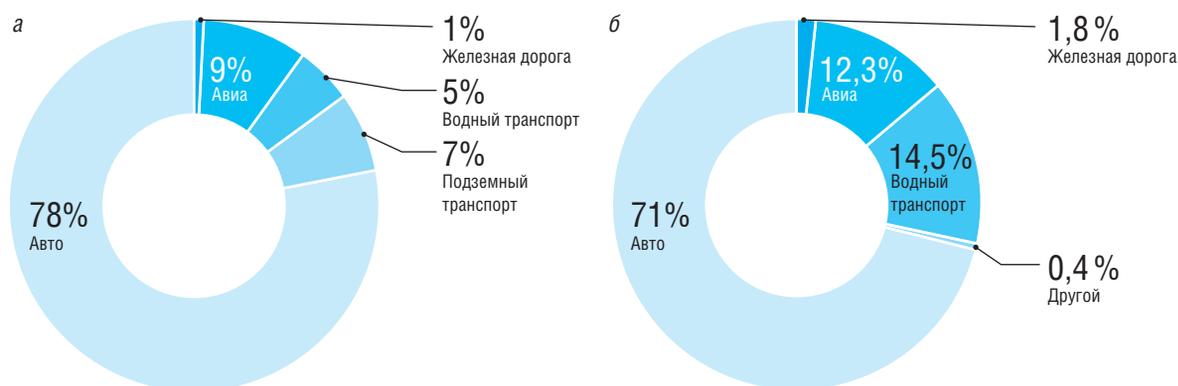


Рис. 1. Выбросы CO₂ различными видами транспорта: а — в России [3]; б — в ЕС [4]



Рис. 2. Основные признаки мультимодальных перевозок

Важно отметить, что мультимодальные перевозки можно организовать для любых пассажирских сообщений (дальних, местных, пригородных, городских). Такой способ перевозки, в отличие от традиционного, позволяет грамотно комбинировать деятельность различных видов транспорта, а главное, наиболее полно удовлетворять запросы потребителей как в перевозке, так и в сохранении окружающей среды. Их главный плюс заключается в том, что перевозка осуществляется с максимальным использованием преимуществ разных средств доставки. А в настоящее время также важно, чтобы соблюдался принцип зеленой логистики — снижение автомобильного плеча и увеличение плеча рельсового транспорта. Рассмотрим схему организации мультимодальной перевозки в пригородном/городском сообщении (рис. 3).

На схеме показано время пассажира в движении, назовем его время следования ($T_{\text{сп}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{сп}}$), и логистическое время ($T_{\text{лог}}$). Видно, что логистическое время появляется в месте смены пассажиром способа передвижения — это время на подход ($t_{\text{под}}$) и ожидание ($t_{\text{ож}}$) следу-

ющего вида транспорта ($T_{\text{лог}} = t_{\text{под}} + t_{\text{ож}}$). Анализ отдельных составляющих суммарной затраты времени показал, что на разных видах транспорта они имеют разные значения. При этом на железнодорожном транспорте наибольшая доля (56%) приходится на время ожидания транспортного средства, а на автотранспорте наибольшую долю времени (почти 90%) занимает следование в пути (рис. 4).

Очевидно, что, находясь в автотранспортном средстве, управлять временем следования автотранспорта на маршруте пассажир не может, а значит, будет находиться в пробках, вдыхать углекислый газ и снижать качество своей жизни. А вот временем ожидания на железнодорожном транспорте пассажир управлять может (например, зная расписание движения электропоездов, подходить к графиковому времени). В зарубежных странах, благодаря внедрению информационных технологий в процесс организации мультимодальных перевозок, это время сведено к минимуму [7]. Данный опыт необходимо использовать и в России. Тем более что опыт организации мультимодальных пассажирских перевозок в России хотя и не большой, но уже имеется (табл. 2).

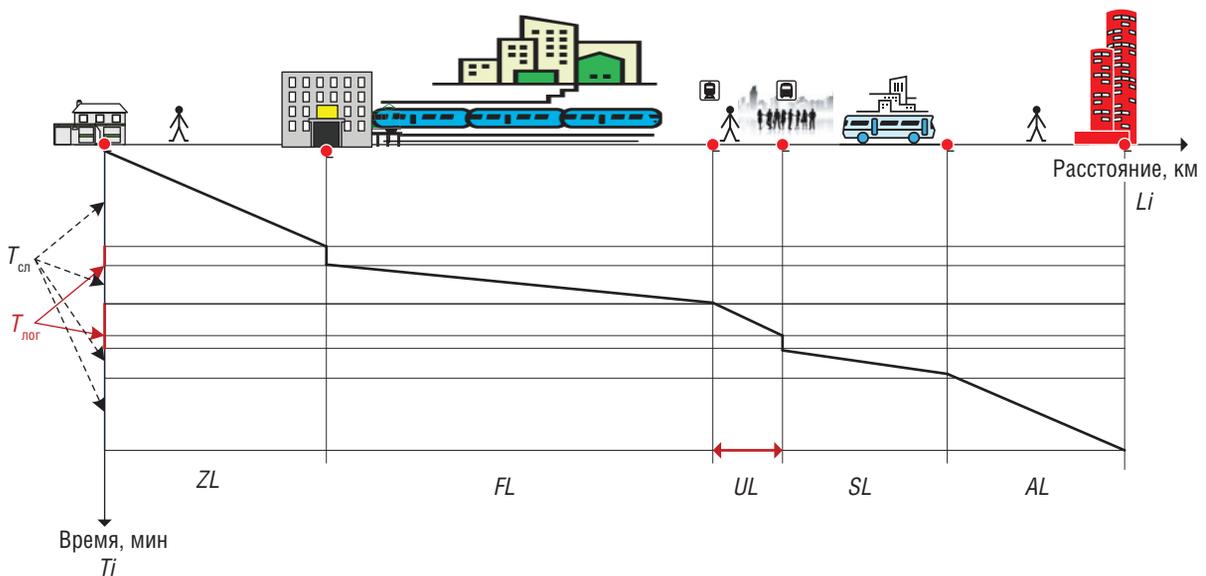


Рис. 3. Схема организации мультимодальной пассажирской перевозки

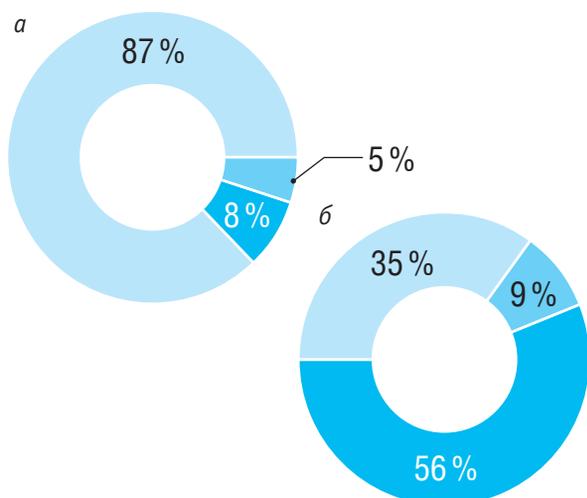


Рис. 4. Отдельные составляющие суммарной затраты времени при поездке: а — на автотранспорте; б — на железнодорожном транспорте; $t_{под}$ — $t_{ожк}$ — $t_{сл}$

Таблица 2

Опыт организации мультимодальных пассажирских перевозок в РФ

Регион	Год	Сообщение	Опыт
Москва	2013	Городское	Введение единого билета на автобусы, троллейбусы, метро и монорельсовую дорогу
Владивосток	2013	Пригородное	Смешанная схема доставки пассажиров из районов городского округа во Владивосток с использованием пассажирских автобусов и пригородных электропоездов
Крым — РФ	2014	Дальнее	Оформление посадочного талона типа «автобус — паром — автобус» или «автобус — катамаран — автобус» производится в пункте первоначального отправления пассажира после оформления проездного документа на проезд по железной дороге

Среди перечисленных в табл. 2 примеров организации мультимодальных перевозок колоссальное значение имеет сообщение между Россией и Крымом, и не только потому, что в сложной политической ситуации организовано регулярное пассажирское сообщение и эти перевозки экономически обоснованы, но и потому, что сделаны решительные шаги в сторону экологизации

транспортной отрасли, и в первую очередь ОАО «РЖД». В качестве единого оператора мультимодальной перевозки в направлении «Крым — РФ» выступила «Единая транспортная дирекция», учредителями которой стали Правительство РФ и Министерство транспорта РФ. Подробно об этом рассказано в статье [6], а в данной работе авторы рассмотрели возможность организации мультимодальных пассажирских перевозок в местном сообщении Свердловской железной дороги.

На участке «Екатеринбург — Приобье» в обращении находятся три пассажирских поезда, курсирующих ежедневно: два до станции Приобье и один до станции Бокситы. Анализ пассажиропотоков этих поездов выявил их невысокую населенность (табл. 3).

Таблица 3

Населенность пассажирских поездов

№ поезда	Количество вагонов в составе поезда	Населенность, %
337/338	14	75,3
343/344	10	58,4
607/608	8	52,8

Самая низкая населенность отмечена у пассажирского поезда местного сообщения № 607/608, при том что в составе поезда находится всего 8 вагонов. Дальнейший анализ показал, что динамика пассажиропотоков на этом направлении отрицательная. Так, за последние 7 лет количество пассажиров на направлении «Екатеринбург — Бокситы» снизилось на 24%. Сделан вывод о неэффективности существующего сценария транспортного обслуживания населения на данном направлении. Необходимо разработать другой сценарий, на основе принципов зеленой логистики, который бы обеспечивал необходимый уровень рентабельности и экологичности.

Выявлено, что порядка 40% пассажиров в поезде «Екатеринбург — Бокситы» едут до станции Серов, которая является станцией-развилкой, а 60% (около 80 тыс. пассажиров в год, примерно 200 пассажиров в сутки) — до остальных станций бокситского направления. Участок «Серов — Бокситы» составляет 90 км, значит, суточный пассажирооборот на этом участке равен 18–20 тыс. пасс.-км. Точка смены сценария транспортного обслуживания с автомобильного транспорта на железнодорожный [8] в местном сообщении равна примерно 400 тыс. пасс.-км. Это значит, что пассажиропоток «Серов — Бокситы» необходимо перевести на автотранспорт, а пассажиропоток, следующий до станции Серов, мы можем безболезненно пересадить на поезда, следующие до Приобья.

М. А. Журавская, Е. Е. Смординцева, О. Ю. Морозова, Г. В. Уткина | Организация и развитие мультимодальных пассажирских перевозок...

Для этого после отмены поезда № 607/608 предлагается внедрить мультимодальные перевозки с железнодорожным обслуживанием на направлениях «Екатеринбург — Серов» и «Серов — Приобье» и с автомобильным обслуживанием пассажиров на направлении «Серов — Бокситы». На станции Серов необходимо создание транспортно-пересадочного узла, при этом единый проездной документ пассажиры будут приобретать на станции Екатеринбург-пассажирский в кассах железнодорожного вокзала. По прибытии на станцию Серов пассажиров будут ждать комфортабельные автобусы, независимо от того, опоздал поезд или нет. Подвод автобусов будет происходить с учетом высадки пассажиров на станции Серов и последующим развозом их на остановочных пунктах направления «Серов — Бокситы». Остановочные пункты будут подобраны с учетом наибольшей высадки/посадки пассажиров.

Такое комплексное решение проблемы позволит сохранить основной пассажиропоток на направлении «Екатеринбург — Бокситы», увеличить населенность двух оставшихся на маршруте «Екатеринбург — Приобье» пассажирских поездов № 337/337 и № 343/344 почти на 25 % (рис. 5) и снизить экологическую нагрузку в регионе обслуживания.

Таким образом, преимуществами мультимодальных пассажирских перевозок в местном сообщении становятся высокое качество и комплексный характер услуг (гарантированная скорость, регулярность, безопасность

и бесперебойность движения) и, как следствие, прогнозируемость времени поездки при высоком уровне сопутствующего сервиса (единое оформление сквозных проездных документов на весь маршрут следования, развитая система информационного обслуживания пассажиров, дополнительный сервис по обустройству в узлах пересадок и местах прибытия и т. п.).

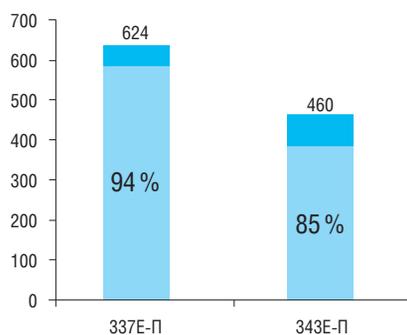


Рис. 5. Соотношение вместимости и населенности пассажирских поездов № 337/337 и № 343/344 после внедрения мультимодальных перевозок

■ — вместимость; ■ — населенность

Организация и развитие мультимодальных пассажирских перевозок на сети ОАО «РЖД» позволяет не только гармонизировать транспортный процесс, но и сохранить экологический баланс региона обслуживания населения. **ИТ**

Список литературы

1. Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» на период до 2017 года и на перспективу до 2030 года : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2014 г. № 1143р. — URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704.
2. Журавская М. А. «Зеленая» логистика — стратегия успеха в развитии современного транспорта // Вестник УрГУПС. — Екатеринбург, 2015. — № 1 (25). — С. 38–48.
3. Solntsev A. Sustainable development in Logistics // The RZD-Partner international. — 2014. — № 3 (39). — С. 31–32.
4. UNIFE. Facts on the rail supply industry // The European Rail Industry Association. — 2014. — С. 8.
5. Журавская М. А., Макаренко И. О. Роль и задачи железнодорожного транспорта при организации мультимодальных перевозок (на примере лесных грузов) // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2012. — № 3 (4). — С. 47–52.
6. Журавская М. А., Морозова О. Ю., Гашкова Л. В. Перспективы развития мультимодальных пассажирских перевозок в России (на примере направления «РФ — полуостров Крым») // III международная научно-практическая конференция «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» (Россия, г. Новосибирск, 18–20.08.2014). — Новосибирск, 2014. — С. 143–146.
7. Gero Scholz. IT-Systeme für Verkehrsunternehmen // IVU Traffic Technologies AG. — Berlin, 2009. — 348 p.
8. Журавская М. А., Казаков А. Л., Парсюрлова П. А. О размещении остановочных пунктов при осуществлении мультимодальных пассажирских перевозок // Транспорт Урала. — 2012. — № 4 (35). — С. 50–53.



**Алексей Анатольевич
Ковалев**

Aleksey A. Kovalev



**Александр Владимирович
Окунев**

Aleksandr V. Okunev

Оценка состояния опор контактной сети на протяжении жизненного цикла

Assessment of serviceability of catenary supports throughout the life cycle

Аннотация

Опоры контактной сети на железнодорожном транспорте играют важную роль. На опорах крепятся линии электропередачи, поэтому электроснабжение подвижного состава на данный момент технически без них неосуществимо. В связи с этим обслуживание опорного парка является актуальной задачей. Для повышения надежности работы поддерживающих конструкций требуется проводить комплексную оценку их текущего состояния, прогнозировать оставшийся срок эксплуатации и определять необходимость продления назначенного срока службы на основе действующих методик и предлагаемых математических моделей.

Ключевые слова: опора, контактная сеть, жизненный цикл, срок службы.

Summary

Catenary supports play an important role in rail transport. The supports are used for mounting power lines; hence the rolling stock power supply today is not technically feasible without them. In this connection, maintenance of catenary supports is a crucial task. To improve reliability of support structures, a comprehensive assessment of their current status shall be carried out to predict remaining service life and determine the need to extend their service life, based on existing methods and mathematical models.

Keywords: support, catenary, lifecycle, lifetime.

Авторы Authors

Алексей Анатольевич Ковалев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Александр Владимирович Окунев, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» 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 | Aleksandr Vladimirovich Okunev, PhD Student, "Transport Power Supply" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Основными проблемами, с которыми приходится сталкиваться при эксплуатации и обслуживании опорного хозяйства, являются:

1. Метеоусловия. Большие перепады температур отрицательным образом сказываются на железобетонных конструкциях. Поскольку металл в бетоне сужается и расширяется ввиду своей теплопроводности, возможно появление трещин.
2. Зоны установки опор бывают анодные и катодные. Это сильно влияет на состояние фундаментов металлических опор или нижнюю часть железобетонных опор, установленных в грунт. При отсутствии соответствующей защиты возможна электрокоррозия металла у основания опоры, примерно на глубине 1–0,5 м в грунте, что влечет за собой падение опор.
3. Нарушение правил установки (выправки) опор в порядке текущей эксплуатации. Из-за нарушений действий персонала опора может подвергнуться механическим нагрузкам, таким как удары или излишняя поперечная нагрузка, по причине выправки угла наклона опор.
4. Несогласованная работа служб электрификации и пути. При установленных опорах, жестких поперечинах начинается ремонт пути, не согласованный с расположением опор контактной сети. Вследствие этого возникают негабаритные места, которые могут нести угрозу безопасности движения поездов. При возникновении таких негабаритных мест необходимо устанавливать новые опоры контактной сети и переводить нагрузку на них, затем демонтировать старые, что, в свою очередь, влечет значительные затраты.

Современные технические возможности позволяют моделировать физические процессы, протекающие в опорных конструкциях, и прогнозировать сроки управляющих воздействий.

Рассмотрим такую модель на примере опоры контактной сети. Состояние опоры контактной сети как несущей конструкции зависит от состояния бетона и арматуры. В работах по диагностике опора контактной сети рассматривается как объект, имеющий сосредоточенные параметры и по бетону, и по арматуре. Например, арматура характеризуется единственным параметром — степенью коррозии. Это объясняется тем, что часто используемые на практике средства диагностирования контролируют не прямые, а косвенные параметры.

В действительности несущая способность опоры определяется пространством состояний с большим числом фазовых координат. Основных причин большой размерности пространства состояний три:

- 1) опора имеет конечные (отличные от нуля) геометрические размеры и, следовательно, непостоянную по протяженности прочность (под протя-

женностью в общем случае понимаются три измерения);

- 2) нагрузки, включая климатические, по протяженности опоры также различны;
- 3) степень и скорость коррозии арматуры под действием токов и трещин бетона по протяженности различны.

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что потенциал грунта убывает по экспоненте от заземленного электрода [1]. При незаземленной опоре потенциал грунта со стороны пути будет выше, а со стороны поля ниже, чем потенциал арматуры. Это вызовет втекание блуждающего тока в опору со стороны пути и стекание его со стороны поля. Следовательно, условия для возникновения коррозии наиболее благоприятны со стороны поля. Степень влияния блуждающих токов будет определяться крутизной экспоненты и, следовательно, свойствами грунта. Поперечные размеры опоры при средних значениях крутизны кривой недостаточно велики для интенсивной коррозии, но пассивация арматуры может быть нарушена. Известно, что однажды активированная арматура не перестает корродировать никогда, даже после прекращения стекания тока.

Результаты исследований прокорродировавших опор показывают, что крайне редко наблюдается равномерная по протяженности подземной части опоры коррозия [2]. Значительно чаще степень коррозии существенно неравномерна. Следовательно, и прочность прокорродировавшей опоры пространственно неравномерна.

В действительности несущая способность опоры определяется пространством состояний с большим числом фазовых координат. Основных причин большой размерности пространства состояний три:

- 1) опора имеет конечные (отличные от нуля) геометрические размеры и, следовательно, непостоянную по протяженности прочность (под протяженностью в общем случае понимаются три измерения);
- 2) нагрузки, включая климатические, по протяженности опоры также различны;
- 3) степень и скорость коррозии арматуры под действием токов и бетона по протяженности различны.

Все вышеуказанное требует учета в модели опоры пространственной протяженности. В общем виде модель опоры как объекта диагностирования может быть представлена записью [3]:

$$Z = \psi(M, X, Y, Z, A, B, t), \quad (1)$$

где M — момент от внешних сил; X, Y, Z — пространственные координаты; A, B — параметры арматуры и бетона.

Требуемая зависимость может быть представлена в аналитической или табличной форме.

Другим следствием является требование к средству диагностирования определять не только степень коррозии арматуры в опоре, но прежде всего место и размеры коррозионных повреждений. Например, наиболее информативной для промежуточных опор будет определение степени коррозии арматуры в подземной части с внешней стороны опоры на глубине 0,3...0,6 м.

Для составления комплексной диагностики опор воспользуемся методом, основанным на теореме Байеса, и методом последовательного анализа.

Рассмотрим статистические методы распознавания.

При наличии неопределенности принятия решения применяются специальные методы, учитывающие вероятностную природу событий. Такие методы позволяют назначать границу поля допуска параметра или необходимое число опытов для принятия решения о диагностировании. Большая часть методов основана на том, что имеется некоторая доопытная (априорная) вероятность в постановках диагностирования. Так, большинство методов предполагают априорно известными вероятности диагностирования для однотипных объектов, находящихся в одинаковых условиях. Часто выбор того или иного решающего правила проводится на основе оптимизации по некоторым критериям. Статистические методы позволяют одновременно учитывать диагностические сигналы различной физической природы, так как они работают лишь с их вероятностными характеристиками.

Следует учитывать, что рассматриваемые методы принятия решений являются лишь инструментом, а окончательное решение, как и ответственность за его последствия, лежит на конкретном человеке.

Пусть состояние опоры контактной сети характеризуется некоторым признаком K_j (наклон опоры контактной сети) [4]. Причем известно, что указанный признак может проявляться как при наличии диагноза D_i (опора прокорродировала), так и при его отсутствии (опора наклонена из-за податливости грунта). Важно лишь то, что появление признака K_j является случайным, но статистически зависимым от наличия диагноза D_i . Вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния D_i и признака K_j) рассчитывается по формуле:

$$P(D_i K_j) = P(D_i) \cdot P(K_j / D_i) = P(K_j) \cdot P(D_i / K_j). \quad (2)$$

Запишем теорему Байеса:

$$P(D_i / K_j) = P(D_i) \frac{P(K_j / D_i)}{P(K_j)}, \quad (3)$$

где $P(D_i)$ — априорная вероятность диагноза, определенная по статистическим данным; $P(K_j / D_i)$ — вероятность появления признака K_j у объектов с состоянием D_i ;

$P(K_j)$ — вероятность появления признака K_j во всех объектах независимо от состояния.

На контактной сети было рассмотрено девять опор для выявления дефектов, и каждая из них испытывалась шестью приборами, рассмотренными ранее.

Принималось допущение об абсолютной достоверности контроля прибором «УК-1401». Вместе с устройством поиска низкоомных опор в группе «Поиск» прибор «ПК-2» позволяет проводить весь комплекс работ по оценке опасности электрокоррозии опор контактной сети.

При испытаниях сравнивались результаты угла наклона опор контактной сети, логарифмический декремент затухания определенных мод колебаний, градиент потенциала, ультразвуковой сигнал с измерениями времени и скорости распространения продольных ультразвуковых волн в опорах контактной сети. Если угол наклона опоры превышает 2° и сопротивление опоры больше 100 Ом, то опора считается дефектной.

Для дальнейших расчетов воспользуемся методом последовательного анализа.

Предметом исследования такого метода может быть объект, состояние которого характеризуется несколькими (в общем случае n) признаками. В процессе диагностирования признаки последовательно проверяются. На каждом шаге процедуры диагностирования проверяется условие о возможности постановки диагноза. Если информации достаточно, то ставится диагноз и диагностирование прекращается. В противном случае проверяется следующий признак и т. д. (условный алгоритм).

При использовании метода Байеса для распознавания состояний D_i (неисправное состояние опоры) и D_j (исправное состояние опоры) следует составить соотношение вида:

$$\frac{P(D_j / K^*)}{P(D_i / K^*)} = \frac{P(D_j)}{P(D_i)} \cdot \frac{P(K_1^* / D_j) \dots P(K_m^* / D_j)}{P(K_1^* / D_i) \dots P(K_m^* / D_i)}. \quad (4)$$

Если

$$\frac{P(D_j / K^*)}{P(D_i / K^*)} > 1, \text{ при } j = 1, 2, \dots; i \neq j, \quad (5)$$

то $K^* \in D_j$.

Следовательно, при $K^* \in D_j$,

$$\frac{P(K_1^* / D_j)}{P(K_1^* / D_i)} \dots \frac{P(K_m^* / D_j)}{P(K_m^* / D_i)} > \frac{P(D_i)}{P(D_j)}. \quad (6)$$

В методе последовательного анализа отношения вероятностей (отношения правдоподобия) составляются последовательно.

Допустим, что у объекта K^* имеется признак K_1 (наклон опоры), причем признак K_1 при диагнозе D_2

(исправное состояние опоры) встречается чаще, чем при диагнозе D_1 (неисправное состояние опоры). При этом, если

$$\frac{P(K_1 / D_2)}{P(K_1 / D_1)} > A, \text{ то } K^* \in D_2, \quad (7)$$

где A — верхняя граница принятия решения.

В противном случае, когда признак K_1 значительно чаще встречается при диагнозе D_1 , принимается решение:

при
$$\frac{P(K_1 / D_2)}{P(K_1 / D_1)} < B, K^* \in D_1, \quad (8)$$

где B — нижняя граница принятия решения.

Отношение вероятностей

$$B < \frac{P(K_1 / D_2)}{P(K_1 / D_1)} < A \quad (9)$$

называют отношением правдоподобия.

Если в результате первой проверки условие (9) выполняется, то необходима следующая проверка, тогда отношение правдоподобия:

$$B < \frac{P(K_1 / D_2)}{P(K_1 / D_1)} \cdot \frac{P(K_2 / D_2)}{P(K_2 / D_1)} < A. \quad (10)$$

Расчеты повторяются до тех пор, пока значение отношения не выйдет за одну из указанных границ (A или B).

Границы A и B рассчитываются исходя из вероятностей ошибок первого (α) и второго (β) рода, которые считаются заданными:

$$\frac{1-\beta}{\alpha} \geq A, \quad (11)$$

$$\Sigma \geq \frac{\beta}{1-\alpha}. \quad (12)$$

В практических расчетах можно принимать $\alpha = \beta = 0,05 \dots 0,10$. Значения α и β можно выбрать из экономических соотношений. Результаты расчета приведены на рис. 1.

С помощью метода, основанного на теореме Байеса, были получены вероятности правильной постановки диагноза (опора неисправна) приборами «УК-1401», «УГК-1», «АНКЕР», «ИНТРОСКОП-98.1», «ПОИСК» и «ПК-2» на контактной сети. Но полученные результаты недостаточны для полной и точной оценки, поэтому можно сделать вывод, что требуется комплексная диагностика.

В зависимости от исходных данных и достоверности контроля для постановки достоверного диагноза может потребоваться диагностика сразу несколькими приборами. При проведении последовательных испытаний

одной и той же опоры разными приборами последовательно увеличивается точность диагноза. В одном случае для постановки диагноза требуется всего один прибор, а в другом — недостаточно и шести.

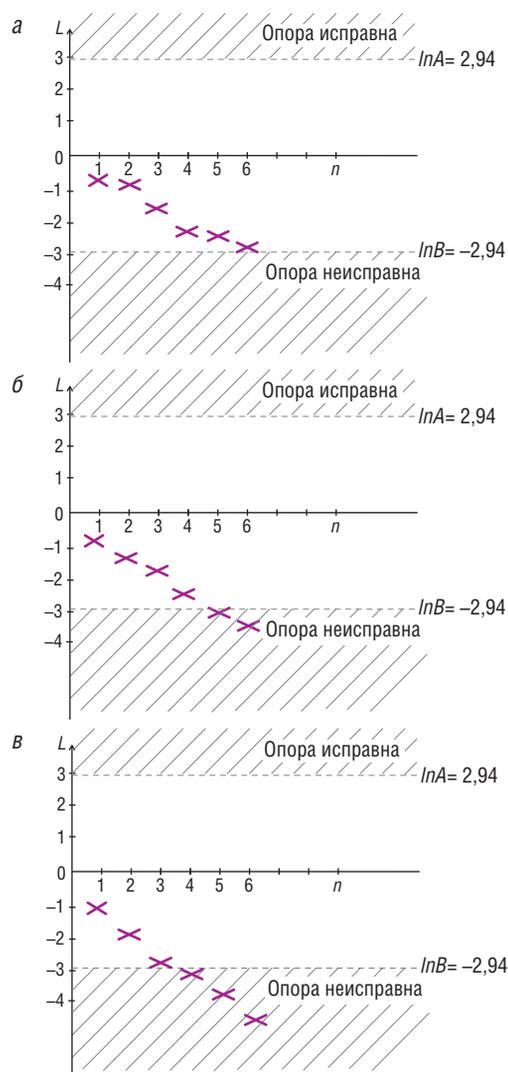


Рис. 1. Результаты расчета:
а — опора 1; б — опора 2; в — опора 3

При ряде допущений опору контактной сети можно отнести к восстанавливаемым объектам. На рис. 2 наглядно представлен процесс отказа и последующего восстановления одного элемента, входящего в состав единой сложной технической системы [5].

Система начинает работать в момент времени $t = 0$ и продолжает работать до момента времени t_{p1} . Далее происходит восстановление объекта (например, регулировка опоры или подключение ее к групповому заземлению) в течение времени t_{B1} , а система продолжит работать случайное время t_{p2} . Проработав некоторый промежуток времени, она вновь выходит из строя в момент $t_{p1} + t_{B1} + t_{p2}$ и восстанавливается в течение времени t_{B2} .

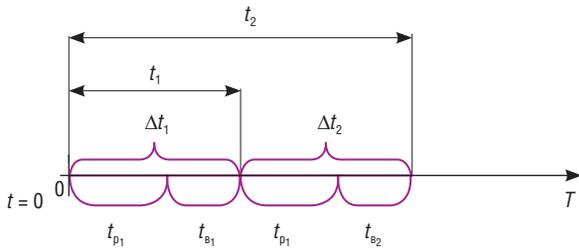


Рис. 2. Периоды работы восстанавливаемого объекта

Интервалы времени между отказами представляют собой систему взаимно независимых случайных величин [6]. Моменты отказов или восстановлений создают в каждом опыте ряд чисел, которые образуют случайный поток, названный процессом восстановления. Данный процесс является различным для элементов и длится в течение жизненного цикла системы или элемента, входящего в него. Основными характеристиками процесса восстановления являются функция восстановления $\Omega(t)$ и плотность восстановления $\omega(t)$, определяемые по следующим формулам [7]:

$$\Omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t), \quad (13)$$

$$\omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t), \quad (14)$$

где $f_n(t)$ и $F_n(t)$ — соответственно плотность и функция распределения наработки до n -го отказа.

В случае независимости наработок между отказами функции распределения $F_n(t)$ наработок до n -го отказа находятся путем последовательного применения правила свертки для суммы двух случайных величин:

$$F_n(t) = F_{n-1}(t) \cdot F(\Delta t_n) = \int_0^t F_{n-1}(t - \Delta t) \cdot dF(\Delta t). \quad (15)$$

Вычисление аналитических выражений для $\Omega(t)$ и $\omega(t)$ невозможно из-за сложности математической формализации применяемых стратегий восстановления работоспособности технических систем и необходимости учета множества факторов, влияющих на замену элемента в системе. В этих условиях наиболее эффективным является метод Монте-Карло.

При эксплуатации контактной сети имеется возможность контролировать параметры и работоспособность ее объектов. Для аналитической связи характеристик, описывающих изменение параметров элементов, с показателями надежности предлагается применить модель отказа «параметр — поле допуска» [7].

Случайный процесс изменения параметров опоры можно представить сечениями, в которых располагаются кривые плотности распределения параметра в определенные моменты времени $f(x, t)$ [7]. Границы поля до-

пуска (угол наклона опоры или ее сопротивление) могут задаваться как неслучайной величиной $x_{доп}$, так и случайными величинами $f(x_{доп})$, а также случайными процессами $f(t, x_{доп})$ (стационарными и нестационарными). Проведя серию расчетов с учетом нормального распределения, определим изменение функции вероятности и плотности наработки до отказа опоры. Результаты расчета показаны на рис. 3, а, б.

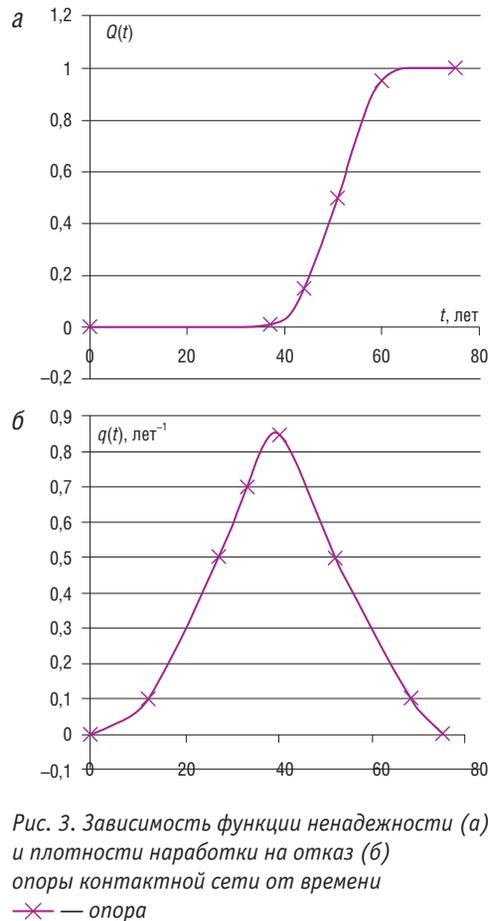


Рис. 3. Зависимость функции ненадежности (а) и плотности наработки на отказ (б) опоры контактной сети от времени
— x — опора

Данную методику предлагается применять для определения срока жизненного цикла новых конструкций контактной сети.

Создавшиеся условия, а также процессы изменения организационной структуры ОАО «РЖД» требуют применения комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте с использованием методологии обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS), в соответствии с IEC 62278 [8].

Согласно методике оценки эффективности продления срока службы основных средств хозяйства электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» на основе методологии «УРРАН», при принятии решения об экономической целесообразности продления назначенного срока

службы объектов электрификации и электроснабжения должна быть решена основная задача — выбор варианта решения, который обеспечит наименьшую стоимость жизненного цикла [9].

Экономическое обоснование решения при продлении назначенного срока службы объекта состоит в сравнении экономического эффекта двух вариантов: с продлением срока службы объекта и без него (объект своевременно выведен из эксплуатации). Выбор осуществляется в пользу решения, при реализации которого ожидаются наименьшие затраты жизненного цикла объекта.

Решающее правило для принятия решения о продлении срока службы опоры контактной сети или ее замене выглядит следующим образом [10]:

- если $F > 0 \leftrightarrow$ продление срока службы экономически эффективно;
- если $F < 0 \leftrightarrow$ продление срока службы экономически неэффективно.

Данные для расчета были взяты из отраслевых цен на оборудование ОСОЦЖо-2001 и проиндексированы на уровне цен 2014 года. Для примера рассматривалась металлическая опора МКГ 10–80 с заявленным сроком службы 70 лет. Определены период продления срока службы — 15 лет и ставка дисконтирования — 12% (по данным ЦБ РФ на 2014 год). Результаты расчета сведены в табл. 1.

Так как из полученных данных $F > 0$, то следует, что для рассматриваемого варианта опоры, с учетом исходных данных, проводить продление ее срока службы экономически целесообразно. Результаты расчета сопоставимы с полученными зависимостями на рис. 3.

В дальнейшем планируется направить эту работу в сторону автоматизации приведенных расчетов и создания специализированного программного комплекса, способного проводить комплексную оценку технического состояния устройств контактной сети. **ИТ**

Таблица 1

Результаты расчета необходимости продления срока службы опоры контактной сети

Наименование	Значение	Примечание
Коэффициент модернизации	0,1	Указывается значение коэффициента модернизации, определяемого на основе статистических методов Управлением электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» (от 0 до 0,2)
Год, когда планируется замена/продление срока службы объекта	2014	Указывается, в каком году планируется заменить/продлить срок службы объекта
Ставка дисконтирования	12 %	Указывается значение ставки дисконтирования
Величина срока службы нового объекта, лет	70	Указывается срок службы нового объекта, лет
Величина продления срока службы, лет	15	Указывается срок, на который планируется продлить эксплуатацию объекта, лет
Стоимость 1 часа простоя, руб.	–	Указывается стоимость 1 часа простоя, руб.
Среднегодовая стоимость жизненного цикла объекта в случае его замены		Среднегодовая стоимость жизненного цикла объекта в случае продления его срока службы, с учетом коэффициента модернизации
50 729 руб.	>	27 791 руб.

Список литературы

1. Ковалев А. А. Прогноз эксплуатационной надежности опор контактной сети // Электрика. — 2008. — № 1. — С. 39–43.
2. Смердин А. Н., Смердин С. Н., Комсюкова Д. А. Показатели эффективности защитных покрытий железобетонных опор // Инновационный транспорт. — 2013. — № 1 (7). — С. 14–17.
3. Галкин А. Г. Теория и методы расчетов процессов проектирования и технического обслуживания контактной сети : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 : защищена 22.11.02 : утв. 15.10.03. — Екатеринбург, 2002. — 300 с. — Библиогр. : с. 287–298.
4. Ефимов А. В. Галкин А. Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог : учеб. для вузов ж.-д. транспорта. — М. : УМК МПС России, 2000. — 512 с.
5. Галкин А. Г., Ковалев А. А., Микава А. В. Применение контракта жизненного цикла для инфраструктурного комплекса системы токосъема // Транспорт Урала. — Екатеринбург, 2012. — № 3 (24). — С. 85–90.
6. Галкин А. Г., Ковалев А. А., Микава А. В. Мониторинг инфраструктурного комплекса системы токосъема в процессе эксплуатации // Инновационный транспорт. — 2012. — № 1 (2). — С. 44–48.
7. Ковалев А. А. Оценка сроков и стоимости жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта России // Транспортное дело России. — М., 2014. — № 2 (111). — С. 126–129.
8. Ковалев А. А. Применение метода Монте-Карло для оценки состояния объектов железнодорожного транспорта на различных этапах жизненного цикла // Инновационный транспорт. — 2014. — № 4 (14). — С. 18–23.
9. Ковалев А. А., Микава А. В., Окунев А. В. Применение спиральной модели жизненного цикла для разработки инновационного программного продукта // Инновации и инвестиции. — М., 2013. — № 4. — С. 19–23.
10. Ковалев А. А. Применение методологии УРРАН для определения целесообразности продления срока службы несущего троса контактной подвески // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. — СПб., 2013. — № 2 (6). — С. 24–28.



Борис Сергеевич Сергеев

Boris S. Sergeyev



Валерий Александрович Сисин

Valeriy A. Sisin

Принципы реализации контроля целостности рельсовой линии

Rail line integrity monitoring implementation principles

Аннотация

В статье рассмотрены короткозамкнутые рельсовые линии, применяющиеся на сортировочных горках и в устройствах счета осей; определен принцип реализации устройств контроля целостности подобных рельсовых линий; выполнен анализ функционирования устройств контроля. Определено, что существуют три режима работы устройств контроля. Первый из них соответствует неизменности параметров рельсовой линии. Второй относится к медленным их изменениям, возникающим за счет изменения погодных условий или типа верхнего строения пути. Третий возникает при появлении катастрофического отказа в рельсах.

Ключевые слова: рельсовая линия, генератор импульсов, дифференцирующее устройство, триггер Шмитта, входное сопротивление, временные диаграммы.

Summary

The article describes short circuited rail line used at humps and axle counting devices; a principle for designing integrity monitoring devices for such rail lines is outlined; the analysis of monitoring devices operation is carried out. It has been determined that monitoring device has three operation modes. The first of them corresponds to constancy of railway line parameters. The second is associated with slow changes that arise due to changes in weather conditions or the type of track superstructure. The third occurs in case of catastrophic failure in the rails.

Keywords: rail line, pulse generator, differentiator, Schmitt trigger, input impedance, timing diagrams.

Авторы Authors

Борис Сергеевич Сергеев, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | **Валерий Александрович Сисин**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Boris Sergeevich Sergeyev, DSc in Engineering, Professor, "Electric Machinery" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | **Valeriy Aleksandrovich Sisin**, PhD in Engineering, Associate Professor, "Electric Machinery" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

На сортировочных горках сети дорог широко применяются нормально замкнутые рельсовые цепи. Их основным функциональным назначением является контроль целостности рельсовой линии (РЛ). Существуют различные виды реализации подобных рельсовых цепей [1]. Однако подобные устройства обладают невысокой надежностью определения целостности рельсовой линии, что особо значимо при значительных длинах линии. Кроме того, практическое определение признака появления неисправности в линии требует использования аппаратуры, выполняющей сложные математические расчеты.

Использование классических методов выявления неисправности линии, заключающихся в необходимости применения функций контрольного режима рельсовой цепи [2, 3, 4, 5, 6, 7], нерационально, так как надежность функционирования их также невелика.

Устройства счета осей, широко применяемые на сети дорог, принципиально не реализуют функции контроля целостности рельсовой линии [8], несмотря на то что в нормативных документах на устройства автоматики требуется выполнение условий определения целостности рельсовых линий на станциях и перегонах.

В значительной степени указанные недостатки известных устройств контроля обусловлены зависимостью их функционирования от погодных условий, длины рельсовой линии, состояния балласта и типа верхнего строения пути. Определенное негативное влияние оказывают также устройства канализации тягового тока.

В настоящей работе рассматриваются принципы реализации устройств контроля целостности рельсовых линий, которые могут быть применены как на сортировочных горках, так и на станционных и перегонных путях при оборудовании их устройствами счета осей [9].

На рис. 1 приведена структурная схема одного из вариантов рассматриваемого устройства контроля для РЛ с коротко замкнутой перемычкой КЗ. На рис. 2–4 показаны временные диаграммы его функционирования: при отсутствии изменений входного сопротивления $Z_{РЛ}$ рельсовой линии РЛ, при наличии его изменений за счет изменения характеристик верхнего строения пути и при появлении механических дефектов в рельсах РЛ соответственно. Здесь названия эпюр временных диаграмм соответствуют обозначениям токов и напряжений схемы рис. 1.

В основу функционирования устройства положено утверждение о временном различии изменения электрических параметров РЛ. В частности, постоянная времени $\tau_{бал}$ изменения входного сопротивления РЛ за счет погодных условий или других характеристик сопротивления верхнего строения пути гораздо больше, чем постоянная времени $\tau_{деф}$ изменения того же сопротивления за счет появления каких-либо механических дефектов в рельсах РЛ.

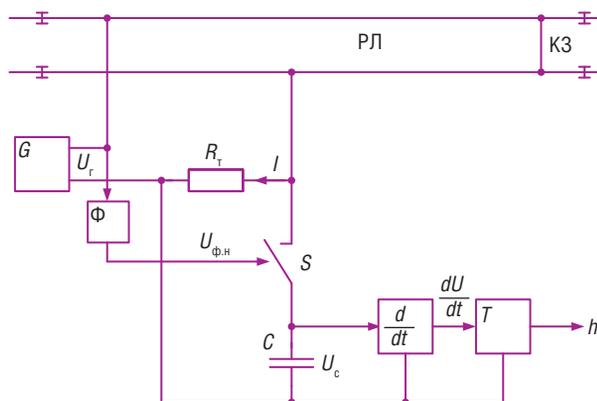


Рис. 1. Структурная схема устройства контроля целостности рельсовой линии

На вход РЛ от генератора G через токовый резистор R_r подаются импульсы напряжения U_r с периодом следования: $T = (t_n + t_0) \ll \tau_{бал}$. Формирователь импульсов Φ , преобразующий прямоугольные импульсы напряжения U_r в короткие импульсы $U_{ф,н}$, управляет работой ключа S . Причем формирователем Φ вводится временная задержка t_0 по отношению к началу импульса t_n генератора G . Амплитуда прямоугольных импульсов тока I , втекающего в РЛ, зависит от величин активных и реактивных составляющих полного сопротивления $Z_{РЛ}$. Падение напряжения на токовом резисторе R_r однозначно определяет параметры тока I , втекающего в РЛ. На интервале времени включенного состояния ключа S конденсатор C заряжается до напряжения, пропорционального величине тока $I(t_0)$. Изменения величины тока на протяжении нескольких циклов работы устройства поступают на вход устройства дифференцирования $\frac{d}{dt}$, выходной сигнал $\frac{dU}{dt}$ которого передается на вход порогового устройства T , реализуемого, например, на триггере Шмитта с пороговым напряжением срабатывания $U_{пор}$. Выходом схемы устройства контроля является импульсный сигнал h , единичный уровень которого определяет появление неисправности в РЛ.

Временные диаграммы рис. 2 показывают процессы работы устройства контроля при отсутствии каких-либо изменений электрических параметров РЛ на рассмотренном интервале времени. Здесь всем импульсам напряжения U_r соответствует идентичное значение токов $I_{уст}$ и I_1 . В соответствии с этим напряжение на конденсаторе C будет равно: $U_c = U_1 = const$. Тогда напряжение на выходе дифференцирующего устройства определится как $\left(\frac{dU}{dt}\right) = 0$. Это обусловит отсутствие выходного сигнала h порогового устройства T , что будет свидетельствовать об отсутствии неисправности в РЛ и ее нормальном функционировании.

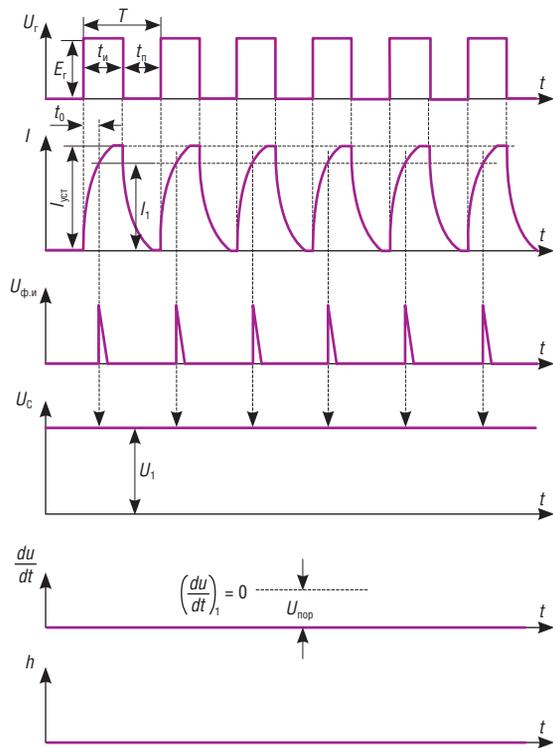


Рис. 2. Временные диаграммы работы устройства при неизменности параметров РЛ

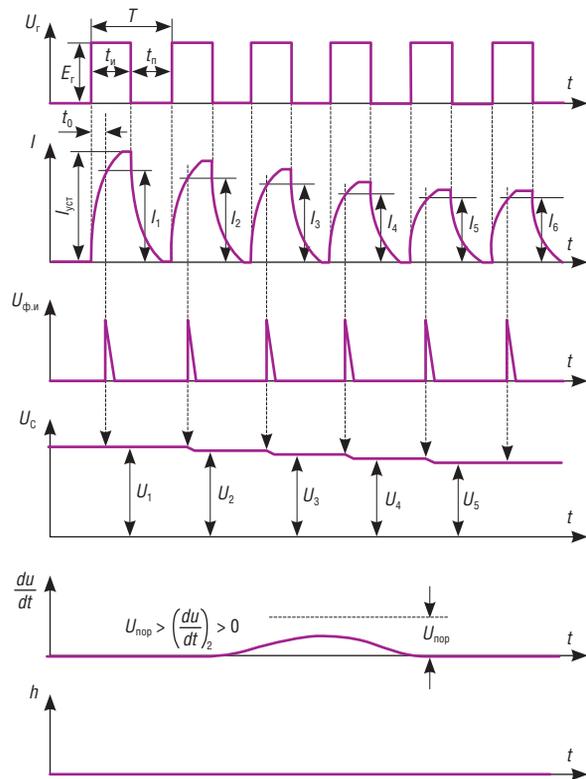


Рис. 3. Временные диаграммы работы устройства при медленных изменениях параметров РЛ

Рассмотрим процессы функционирования РЛ, приведенные на временных диаграммах рис. 3. Они иллюстрируют медленные изменения ее электрических характеристик. В данном случае здесь показан случай увеличения входного сопротивления РЛ, например, за счет увеличения сопротивления балласта. Момент начала увеличения сопротивления балласта соответствует уменьшенному значению импульса входного тока РЛ от величины I_1 до I_2 . Установившееся значение импульса соответствует значениям тока $I_5 = I_6$. Тогда напряжение на конденсаторе C ступенчато снижается от величины U_1 до U_5 . Это обусловит появление на выходе дифференцирующего устройства напряжения $\left(\frac{dU}{dt}\right) > 0$, причем $\left(\frac{dU}{dt}\right) < U_{\text{ноп}}$. Очевидно, что чем меньше разница напряжений $\Delta U_c = U_i - U_{i+1}$, тем меньше амплитуда импульса $\left(\frac{dU}{dt}\right)$. Следовательно, при медленных изменениях входного сопротивления РЛ единичный сигнал h на выходе устройства контроля будет отсутствовать, что свидетельствует о механической целостности РЛ.

Временные диаграммы рис. 4 показывают процессы работы РЛ при быстром изменении входного сопротивления РЛ, что соответствует, например, появлению механического излома рельса, разрыву в месте стыка и др.

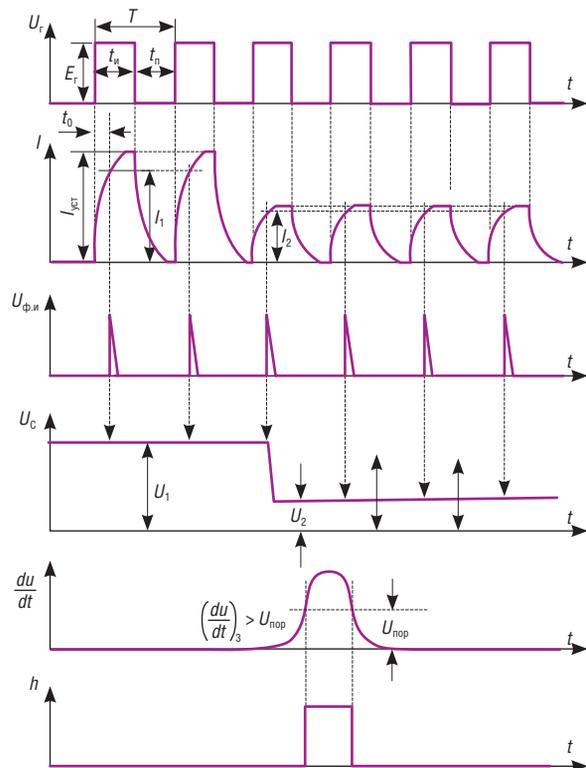


Рис. 4. Временные диаграммы работы устройства при быстрых изменениях параметров РЛ

Этот момент времени соответствует снижению тока в РЛ с величины I_1 до I_2 и последующему скачкообразному изменению напряжения U_C на конденсаторе C до значения U_2 . В отличие от процессов функционирования устройства в предыдущем режиме (рис. 3) здесь разница напряжений $\Delta U_C = U_1 - U_2$ будет существенно больше, что обуславливает большую амплитуду выходного импульса

дифференцирующего устройства, равную: $\left(\frac{dU}{dt}\right) > U_{\text{пор}}$.

Это вызовет появление на выходе единичного импульса напряжения h .

Таким образом, в рассматриваемом устройстве контроля существуют три режима работы, различающихся временными характеристиками изменения входного сопротивления РЛ. Причем функции устройства заключаются в их разделении и выделении режима работы с быстрым изменением входного сопротивления РЛ, который является наиболее критичным с точки зрения безопасности движения участка пути. **ИТ**

Список литературы

1. Грачев Г. Н., Муратова Л. И., Гуменик М. Б. Новый метод построения и расчета рельсовых цепей // Транспорт. Наука, техника, управление / ВИНТИ РАН. — 1994. — № 9. — С. 13–17.
2. Котляренко Н. Ф. Путевая блокировка и авторегулировка. — М. : Транспорт, 1983. — 568 с.
3. Сисин В. А., Гнистько Р. В. Исследование граничных условий работоспособности РЦ с коммутацией релейного конца // Инновационный транспорт. — 2013. — № 3 (9). — С. 7–12. — ISSN 2311-164X.
4. Сисин В. А. Оптимизация устройств автоматической переездной сигнализации // Транспорт Урала. — 2011. — № 3. — С. 40–43. — ISSN 1815-9400.
5. Сергеев Б. С., Сисин В. А. Контроль целостности рельсов // Транспорт Урала. — 2009. — № 4. — С. 37–40. — ISSN 1815-9400.
6. Сисин В. А. Рельсовые цепи с импульсными методами преобразования информации для систем автоматической переездной сигнализации : дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2012. — 151 с.
7. Сисин В. А. Рельсовые цепи с импульсными методами преобразования информации для систем автоматической переездной сигнализации : автореферат дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2012. — 18 с.
8. Тильк И. Г. Новые устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта. — Екатеринбург : УрГУПС, 2010. — 168 с.
9. Пат. РФ № 2446972, МПК В61L 23/16. Способ контроля целостности рельсовой линии и устройство для его осуществления / В. А. Сисин, Б. С. Сергеев. — Оpubл. 10.04.2012. — Бюл. № 10.



Геннадий Львович
Аккерман

Gennady L. Akkerman



Мария Александровна
Скутина

Mariya A. Skutina

Бализа как способ контроля напряженного состояния рельсовых плетей, выброса и разрыва пути

Balisa as a way to control stress state of rail bars, track distortion and break

Аннотация

Для бесперебойной работы бесстыкового железнодорожного пути необходим постоянный контроль напряженного состояния рельсовых плетей. Также требуется устройство, позволяющее контролировать выброс и разрыв рельсовой колеи. Для этого предлагается использование бализы, позволяющей безостановочно осуществлять мониторинг напряжения в рельсовых плетях.

Ключевые слова: бесстыковой железнодорожный путь, напряженное состояние, бализа, температура рельсов, схема передачи сигнала, выброс пути, разрыв пути.

Summary

Smooth operation of continuous welded rail track requires constant monitoring of the stress state of rail bars. A device is also required to control track distortion and break. For this purpose, a balisa is proposed that allow non-stop monitoring of rail bar stress.

Keywords: continuous welded rail track, stress state, balisa, rail temperature, signal transmission circuit, track distortion, track break.

Авторы Authors

Геннадий Львович Аккерман, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Мария Александровна Скутина, аспирант кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Gennady Lvovich Akkerman, DSc in Engineering, Professor, Head of «Railway Construction and Railway Track» Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Mariya Aleksandrovna Skutina, PhD Student, «Railway Construction and Railway Track» Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Долгое время железнодорожный путь представлял собой рельсовые звенья длиной 12,5 м или 25,0 м, соединенные между собой в стыках. Звеньевой путь обладает рядом недостатков, поэтому возник вопрос о создании бесстыкового пути. Бесстыковой путь представляет собой сварные рельсовые плети длиной от 400 м до длины перегона.

В рельсовой плети бесстыкового пути при изменении температуры от расчетной (температуры при укладке плети) возникают температурные напряжения: сжимающие, которые могут разорвать колею, и растягивающие — стремящиеся удлинить плеть, что способствует выбросу пути (рис. 1). Выброс происходит не сразу: сначала рельсы незначительно смещаются вбок; при дальнейшем нарастании продольной силы наступает резкое их боковое смещение, т. е. выброс [1].

Для предотвращения выброса или разрыва колеи необходимо контролировать напряженное состояние рельсов. Для этого предлагается использование бализы или радиометки [2, 3, 4].

Схематично бализа представляет собой металлическую конусообразную трубку с перегородкой внутри, на которой перпендикулярно друг другу располагаются два тензометрических датчика, позволяющие определить напряжения. Дополнительно по внутреннему периметру устанавливается температурный датчик. Также радиометка измеряет температуру рельса, опреде-

ляет расчетные продольно-температурные напряжения и сравнивает с допустимыми значениями, т. е. заменяет работу тензометрических датчиков в случае их отказа до устранения неполадок. Бализа должна быть закреплена на нейтральной оси рельса со стороны меньшего диаметра гайкой. С обоих концов трубка герметично закрыта пластиковыми крышками. В оголовочной части, располагающейся со стороны наибольшего диаметра, должны находиться схемы передачи и анализа сигнала (рис. 2), которые представляют собой измерительное считывающе-передающее устройство с автономным источником питания и внутренней памятью, позволяющей осуществлять долговременный сбор информации без потери данных. Питание происходит от кварцевых батарей, работающих в интервале от -50 до $+50$ °С.

Места установки должны быть заранее определены в зависимости от профиля, плана, грузонапряженности линии, ориентации на стороны света, а также должно быть проведено моделирование в программном комплексе «Универсальный механизм» для выявления наиболее опасных участков выброса пути. Каждая бализа должна иметь свое имя (номер). Первая цифра в имени говорит о номере пути (четный, нечетный). Вторая цифра в названии говорит о порядковом номере на конкретном пути. Причем по одной рельсовой нитке должны располагаться четные номера, а по другой — нечетные. Цифры должны разделяться точкой (рис. 3).



Рис. 1. Выброс пути

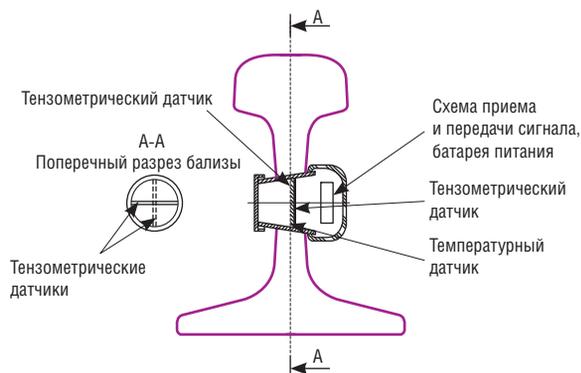


Рис. 2. Схема устройства бализы

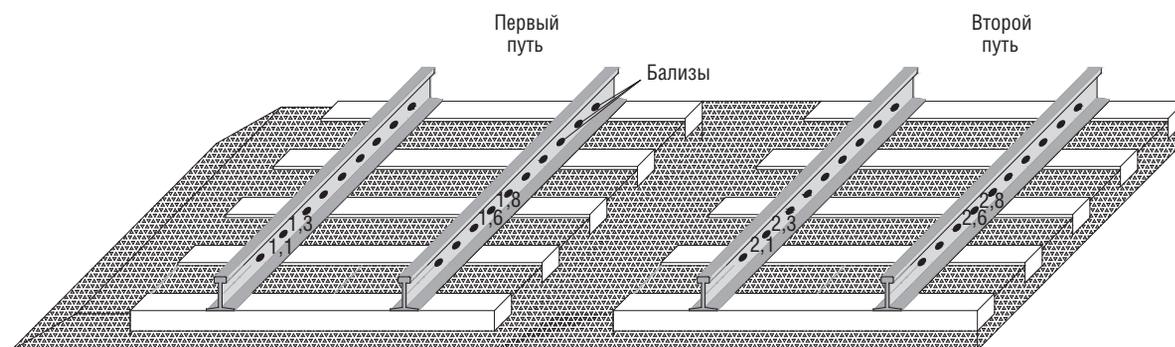


Рис. 3. Пример названия бализ

Сигнал должен быть дискретным. Интервал зависит от напряжения, скорости и ускорения изменения этих величин (рис. 4).

По показаниям бализы можно определить механические напряжения, а также скорость и ускорение изменения этих величин. Все эти данные сравниваются с допустимыми; если хоть один параметр не подходит, то должен загореться красный сигнал светофора. Это говорит о том, что при использовании бализы можно предупредить выброс или разрыв пути. Существующая система автоблокировки, в отличие от бализы, не позволяет фиксировать выброс пути.

С 2015 г. в силу вступает приказ о повсеместном применении системы контроля напряженного состоя-

ния рельсовых плетей СКБП-2009 (рис. 5). Система состоит из рельсовых беспроводных измерительных модулей, основное назначение которых — долговременный непрерывный мониторинг внутренних напряжений в рельсовых плетях, возникающих под действием перепадов температуры и иных влияющих факторов.

Данное устройство по принципу работы аналогично бализе, но их принципиальное отличие в том, что СКБП-2009 измеряет только поверхностные напряжения, а бализа определяет напряжения, возникающие в середине сечения рельса. Измерения, проведенные при помощи тепловизора, показали, что между правой и левой стороной рельса возможны перепады температур (рис. 6).

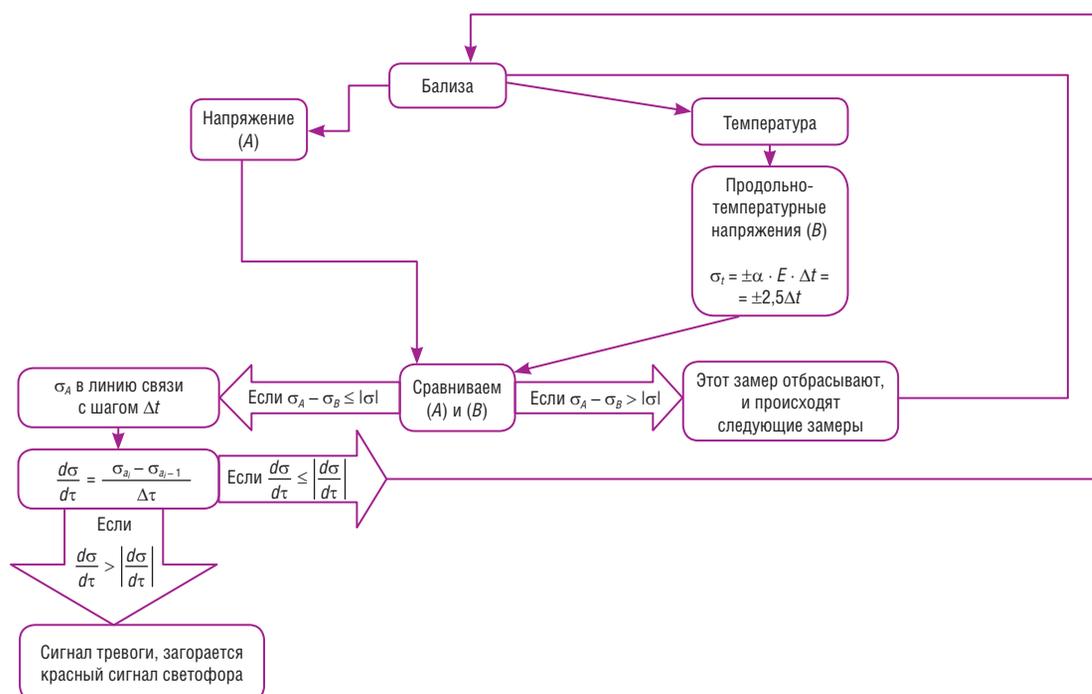


Рис. 4. Алгоритм электронной схемы бализы: σ — напряжение; τ — разница во времени между замерами в одной точке



Рис. 5. Система контроля напряженного состояния рельсовых плетей СКБП-2009

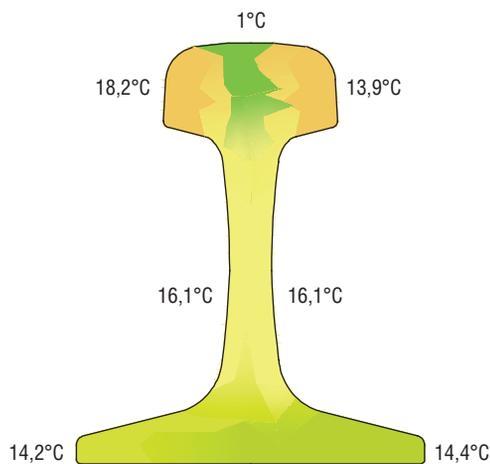


Рис. 6. Изменения температуры рельса по его сечению

Также необходимо отметить, что не разработано такой технологии установки СКБП-2009, которая не допускала бы попадания влаги в защитную коробку, поскольку процесс закрепления защитной коробки происходит

в полевых условиях, вследствие чего возникает коррозия. Балезы заранее закреплены в плети на рельсосварочных поездах, что намного удобнее. **ИТ**

Список литературы

1. Устройство бесстыкового пути. — URL: http://ags-metal-group.ru/publ/konstrukcija_zheleznodorozhnogo_puti/ustrojstvo_besstykovogo_puti/22-1-0-165 (дата обращения 17.08.15).
2. Аккерман Г.Л., Скутина М.А. Средства контроля за мониторингом рельсовых плетей // РСП эксперт. — 2015. — № 2. — С. 17–18.
3. Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы III Международной научно-практической конференции. — Ч. I. — Курган, 2015. — 321 с.
4. Перспектива : сб. науч. тр. студентов / [под науч. ред. С. В. Бушуева, канд. техн. наук]. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — Вып. 2 (200) — 212 с.



**Геннадий Львович
Аккерман**

Gennady L. Akkerman



**Константин Михайлович
Щепин**

Konstantin M. Schepin

Основные причины возникновения отказов в работе железнодорожного пути

Main causes of railway track failure

Аннотация

Рассмотрены причины возникновения отказов железнодорожного пути, которые приводят к возникновению ущерба и риска.

Ключевые слова: железнодорожный путь, риск, ущерб, бесстыковой путь, тяжеловесные поезда.

Summary

The causes of railroad track failure that lead to damage and risk are examined.

Keywords: rail track, risk, damage, continuous welded rail track, heavy trains.

Авторы Authors

Геннадий Львович Аккерман, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург | Константин Михайлович Щепин, аспирант кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Gennady Lvovich Akkerman, DSc in Engineering, Professor, Head of "Railway Construction and Railway Track" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg | Konstantin Mikhaylovich Schepin, PhD Student, "Railway Construction and Railway Track" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Безопасная и бесперебойная работа железнодорожного транспорта может осуществляться только при взаимодействии всех его структурных подразделений. Одним из них является путевое хозяйство, на долю которого приходится более 50% всех основных фондов, принадлежащих ОАО «РЖД». В связи с этим путевое хозяйство является одним из самых важных звеньев, без которого перевозочный процесс не может быть осуществим.

Возникновение различных неисправностей, связанных с работой железнодорожной инфраструктуры, может привести к негативным последствиям, т. е. неким рискам, причем данный вид риска можно описать следующей формулой:

$$R = F_R\{C, P\} = \sum_i [F_{Ri}(C_i, P_i)], \quad (1)$$

где F_R — функционал, связывающий вероятность P возникновения событий и математическое ожидание последствия (ущерб) C от этого события; P — вероятность возникновения события; C — величина последствия возникновения события; i — вид события.

При этом может возникнуть не только экономический ущерб, но и социальный, экологический и др. [1].

Расчет возникновения риска и сопровождающего его ущерба — задача, которую необходимо решать в условиях современной конъюнктуры рынка. На данный момент все причины отказов фиксируются в программном комплексе «КАСАНТ». На рис. 1 представлена диаграмма основных причин возникновения отказов на железнодорожном транспорте.

Как можно заметить из рисунка, на долю инфраструктуры приходится более одной трети всех отказов, возникающих на сети железных дорог. Поэтому содержание инфраструктуры в исправном состоянии — первоочередная задача, которую нужно решать путевому комплексу. Для решения данной задачи необходимо определить основные причины отказов железнодорожного пути. К ним можно отнести:

- места возможного выброса железнодорожного пути;
- дефекты рельсов, в том числе электрокоррозию рельсов и токопроводящих элементов железнодорожной линии;
- участки возникновения угона пути;
- кривые малого радиуса;
- участки обращения поездов повышенного веса и длины и др.

Что же касается выброса или разрыва рельсовой плети, то они происходят при потере устойчивости бесстыкового пути, т. е. возникает резкое искривление рельсошпальной решетки в горизонтальной плоскости с нарушением проектного положения пути в плане, выходящее за нормы эксплуатации, ввиду возникновения температурных предельных сил. Следует отметить, что потеря устойчивости бесстыкового пути — процесс необратимый, т. е. путь не возвращается в свое первоначальное состояние после снятия температурных нагрузок [3].

Бесстыковой путь — температурно-напряженная конструкция, поэтому основная причина выброса — значительное отклонение от температуры закрепления рельсовых плетей. В данной ситуации немаловажную роль играет человеческий фактор, поэтому для прогнозирования рисков, связанных с подбором кадров, разработаны количественные оценки квалификации сотрудников [1]. Кроме того, на данный момент уже разработана и апробирована конечно-элементная модель бесстыкового пути, учитывающая все наиболее значимые силы сопротивления рельсошпальной решетки перемещениям под действием продольных усилий [3]. Эта модель показала хорошую сходимость с данными, полученными с помощью наиболее известных методик по определению максимально допустимых превышений температуры относительно температуры закрепления. Таким образом, применение моделирования играет немаловажную роль при выявлении возможных отказов железнодорожного пути.

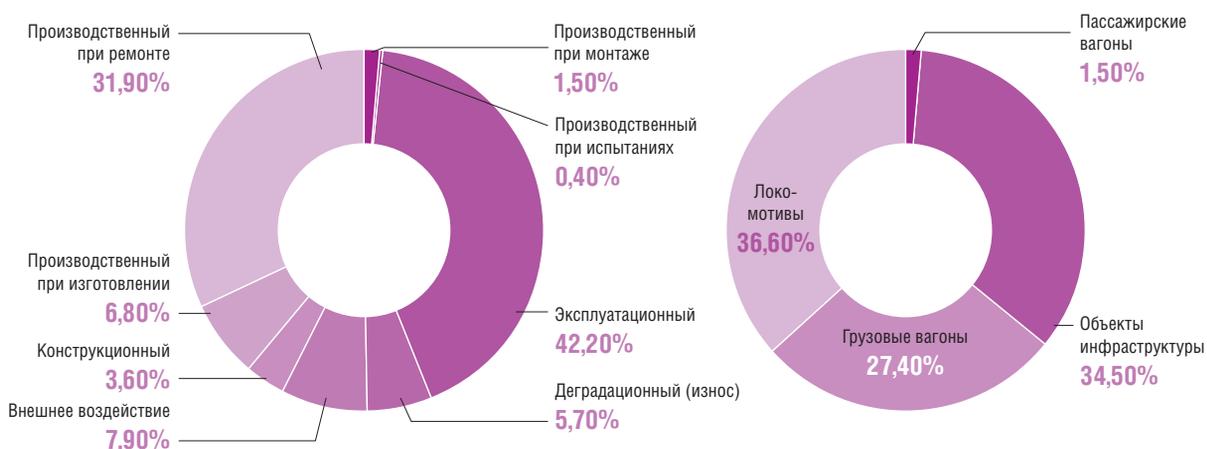


Рис. 1. Статистика причин отказов по данным системы «КАСАНТ» [2]

В связи с повышением эффективности перевозочного процесса и улучшением пропускной способности на Свердловской железной дороге внедряются инновационные технологические решения, в том числе формирование и пропуск поездов повышенного веса и длины. Поэтому при моделировании рисков необходимо учитывать и то, что тяжеловесные поезда оказывают большее негативное влияние на работу инфраструктуры, чем обычные железнодорожные составы. На рис. 2 представлена диаграмма выхода элементов верхнего строения пути (ВСП) на участке Кузинской дистанции (ПЧ-5) перегона Сарга — Шаля, нечетный путь.



Рис. 2. Диаграмма выхода элементов верхнего строения пути:

■ — выход рельсовых цепей; ■ — выход шпал; ■ — выход рельсов; — грузонапряженность; — количество поездов, $n \cdot 20$

Как можно заметить из данной диаграммы, число отказов элементов ВСП по сравнению с 2010 г. возросло в три раза, поэтому необходим дополнительный мониторинг состояния железнодорожного пути на таких участках, где происходит обращение поездов повышенного веса и длины. Кроме того, тяжеловесные поезда оказывают значительное влияние на износ рельсов и балласт на участках с затяжным подъемом. Таковым является участок Григорьевская — Чайковская, нечетный

путь Верещагинской дистанции пути Свердловской железной дороги. На рис. 3 представлено состояние балластной призмы данного железнодорожного перегона.

Для преодоления затяжного подъема при прохождении грузовых поездов в нечетном направлении локомотивные бригады используют песок. Он значительно загрязняет балласт, что неминуемо приводит к выплескам, а значит, увеличивается вероятность возникновения риска. Кроме того, для преодоления затяжных подъемов на электрифицированных участках необходима большая сила тока. Ток большей силы увеличивает скорость протекания электрокоррозии, которая образуется из-за так называемых блуждающих токов.



Рис. 3. Состояние балластной призмы при использовании песка машинистами поездов (перегон Григорьевская — Чайковская, нечетный путь, км 1369–1386)

В связи с вышеперечисленными факторами возникает необходимость создания такой модели, которая позволит просчитывать риски, связанные с работой железнодорожной инфраструктуры. **ИТ**

Список литературы

1. Аккерман Г. Л., Щепин К. М. Мероприятия по снижению рисков в работе путевого комплекса // Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы III Международной научно-практической конференции. Часть I. — Курган, 2015. — С. 372–374.
2. Русакова Е. А. Совершенствование моделей управления рисками при содержании транспортной инфраструктуры : дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2014.
3. Овчинников Д. В. Определение запаса устойчивости бесстыкового пути с учетом его фактического текущего состояния : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Москва, 2014.



**Сергей Алексеевич
Плахотич**

Sergey A. Plakhotich



**Ирина Сергеевна
Плахотич**

Irina S. Plakhotich

Станции с удлиненными приемо-отправочными путями

Stations with elongated receiving and departure tracks

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы организации обращения поездов повышенной массы и длины, соединенных, тяжеловесных и длинноставных, на грузонапряженных железнодорожных направлениях с сохранением обращения параллельно грузовых поездов нормативной массы и длины (сборных, участковых, вывозных) и пассажирских. Особое внимание уделено организации обращения грузовых блок-поездов как разновидности поездов повышенной массы и длины, представляющих собой систему многих единиц поездов. В статье содержатся математические выкладки расчета времени на формирование и расформирование, общего времени занятия удлиненных путей станций преобразования блок-поездами, средней длины удлиненных путей этих станций. Приведены варианты поездного положения на станции преобразования при обращении блок-поездов. Выведена зависимость степени использования одного удлиненного пути станции преобразования от доли блок-поездов в общем поездопотоке в одном направлении движения. Рассчитана пропускная способность удлиненного пути станции преобразования.

Ключевые слова: грузовой блок-поезд, одинарный состав поездов, поездопоток, предузловая станция преобразования, расформирование блок-поезда, состав двойной длины, тяжеловесный поезд, формирование блок-поезда.

Summary

The article deals with traffic management of heavy and long trains, including connected trains, on congested rail lines, while maintaining traffic of normal freight trains (pickup trains, district trains, clean-up trains) and passenger trains. Particular attention is paid to traffic management of freight block trains as a special type of heavy long trains that represent a multiple-unit train system. This article contains mathematics used to calculate time required for train make-up and break-up, total time of staying on elongated lines of converting stations for block trains, average length of elongated lines of these stations. Various block train service positions on converting station are shown. The dependence between utilization of a single elongated line at converting station on the share of block trains in the general train traffic in one direction is shown. Designed capacity of a converting station elongated line is calculated.

Keywords: freight block train, single train formation, train traffic, pre-junction converting station, block train break-up, double-length train, heavy train, block train make-up.

Авторы Authors

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

Sergey Alekseevich Plakhotich, PhD in Engineering, Associate Professor, Professor 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.

Для осуществления растущих объемов перевозок московские железнодорожники впервые на сети в широком масштабе организовали формирование и пропуск поездов повышенной массы и длины [1]. Практика показала, что организация пропуска длинносоставных поездов (или блок-поездов) является стержнем интенсивной технологии поездной работы и прогрессивным способом усиления пропускной способности линий. На это направлена принятая в 1986 году МПС программа интенсификации перевозочного процесса. При этом, ввиду различия технического оснащения и условий работы направлений сети, железные дороги решают эту задачу индивидуально, без учета особенностей развития каждой железнодорожной линии. На отдельных направлениях это привело к тому, что одновременно обращаются грузовые поезда, массой и длиной соответствующие нормам нескольких железных дорог. Кроме того, ОАО «РЖД» указало задание по ежегодному повышению средней массы поезда на 100 т и длины более 850 м. В последнее время постоянным элементом системы поездной работы стало формирование и пропуск соединенных поездов. Пропуск поездов различной весовой категории при отсутствии его технического обеспечения существенно осложняет работу линий. Недостаточным является и освещенность проблем, связанных с пропуском поездов различной весовой категории, в теоретических работах. Движение поездов повышенной массы и длины приводит к снижению скоростей движения и в конечном итоге — к снижению пропускной способности, а на некоторых участках при определенных условиях — к падению уровня провозной способности.

Совместный пропуск на железнодорожных линиях поездов повышенной и стандартной массы и длины требует удлинения приемо-отправочных путей на промежуточных (для обгона) и технических (для производства осмотров составов и смены локомотивов и бригад) станциях. Необходимое число удлиненных путей на этих станциях определяется скоростями и размерами движения поездов. Количество станций с удлиненными приемо-отправочными путями будет зависеть от технологии совместного пропуска поездов различной весовой категории. Для организации обращения блок-поездов необходимо иметь удлиненные станционные пути, на которых будет производиться преобразование блок-поездов. Целесообразнее для этой цели использовать предузловые станции, что исключает реконструкцию путевого развития сортировочной станции, для которой потребовалось бы значительно больше капитальных вложений и увеличение напряженности ее работы.

Таким образом, на направлении, на котором требуется пропускать поезда различной весовой категории, необходимо иметь удлиненные приемо-отправочные пути на технических, обгонных промежуточных и предузловых станциях преобразования блок-поездов. Расчет удлинения станционных путей и их количество на тех-

нических станциях и обгонных пунктах подробно описаны в научных исследованиях [1]. Поэтому рассмотрим лишь расчет пропускной способности удлиненных приемо-отправочных путей на технической станции. Так как процесс преобразования предполагается организовать на предузловых станциях, то основное внимание будет уделено расчету числа удлиненных путей на предузловых станциях преобразования, зависящего от технологических вариантов организации пропуска блок-поездов совместно с остальным поездопотоком на железнодорожном направлении.

Рассмотрим вопрос технического обеспечения выполнения технического и коммерческого осмотров, а также смены локомотивов и бригад одинарных тяжеловесных поездов на технических станциях. Очевидно, что число стоянок на таких станциях будет определяться дальностью следования тяжеловесных поездов или технологическим вариантом их пропуска на направлении. Технический осмотр груженых поездов с вагонами на подшипниках скольжения производится через каждые 200 км их пробега, а с вагонами на роликовых подшипниках — через 400 км. Естественно, что более качественный технический и коммерческий осмотр гарантирует безотказное проследование поездов на более дальние расстояния.

Произведенный статистический анализ путевого развития технических станций на грузонапряженных направлениях показал, что, как правило, на технической станции имеется один приемо-отправочный путь, способный вместить по длине одинарный тяжеловесный поезд (1050–1250 м). Простой тяжеловесного поезда по неприему станцией не должен оказывать влияния на режим движения последующих поездов. Среднесуточные размеры движения грузовых и пассажирских поездов на грузонапряженных двухпутных участках между техническими станциями составляют 110–120 пар. Средний интервал между поездами не превышает 13 мин. Следовательно, простой тяжеловесного одинарного поезда по неприему технической станцией не должен превышать 13 мин.

Среднее время ожидания приема тяжеловесного поезда на станцию определяется по формуле [1]:

$$t_{\text{ож}}^{\text{пр}} = \frac{\psi_n (v_{\text{вх}}^2 + v_{\text{зан}}^2)}{2\mu_n (1 - \psi_n)}, \text{ ч}, \quad (1)$$

где ψ_n — коэффициент загрузки приемо-отправочного пути; μ_n — интенсивность обслуживания потока тяжеловесных поездов; $v_{\text{вх}}$ — коэффициент вариации интервалов прибытия тяжеловесных поездов; $v_{\text{зан}}$ — коэффициент вариации времени занятия приемо-отправочного пути.

В свою очередь, загрузка одного станционного пути составляет

$$\Psi_n = \frac{\lambda}{\mu_n} = \frac{N_{гр}(P_T + P_T^{yc} + \phi_n P_n) \cdot 60 \cdot m \cdot \tau}{1440 \cdot x \cdot y}, \quad (2)$$

где λ — интенсивность входящего потока тяжеловесных поездов,

$$\lambda = \frac{\sum_{\text{чет}}^{неч} N_{гр}(P_T + P_T^{yc} + \phi_n P_n)}{24}; \quad (3)$$

$N_{гр}$ — число одинарных транзитных грузовых поездов в исходном потоке по направлениям движения; P_T (P_T^{yc}) и P_n — соответственно доля одинарных тяжеловесных и потенциальных к преобразованию в тяжеловесные поездов в общем потоке по направлениям движения; m — средний состав одинарного тяжеловесного поезда, ваг; x — число групп в бригаде ПТО; y — число бригад ПТО.

Интенсивность обслуживания потока тяжеловесных поездов — величина, обратная времени занятия приемо-отправочного пути $t_{зан}$:

$$t_{зан} = t_{пр} + t_{от} + t_{обр} + t_{ож}^{от}, \quad (4)$$

где $t_{пр}$, $t_{от}$ — время занятия пути маршрутами приема и отправления, обычно принимается равным 0,16 ч; $t_{обр}$ — средняя продолжительность обработки состава (технический осмотр и безотцепочный ремонт вагонов); $t_{ож}^{от}$ — простой состава в ожидании отправления, можно принять равным половине среднего интервала между нитками графика движения, т. е. примерно 6–7 мин.

Средняя продолжительность обработки одного тяжеловесного состава определяется [1]:

$$t_{обр} = (1 - \alpha_{б,р}) \frac{\tau \cdot m}{x} + \alpha_{б,р} \left(t_{рем} + \frac{\tau \cdot m}{2x} \right), \quad (5)$$

где $\alpha_{б,р}$ — доля тяжеловесных составов, требующих безотцепочного ремонта вагонов, $\alpha_{б,р} = 0,7$; $t_{рем}$ — среднее время безотцепочного ремонта вагонов, 0,4 ч; τ — средняя продолжительность технического осмотра одного вагона, 0,016 ч.

При указанных значениях параметров среднее время обработки одного тяжеловесного поезда будет равно 0,63 ч, а время занятия приемо-отправочного пути — 0,9 ч. Принимая коэффициент вариации входящего потока тяжеловесных поездов $v_{вх} = 0,85$ и коэффициент вариации времени занятия приемо-отправочного пути $v_{зан} = 0,2$, можно получить зависимость среднего времени ожидания приема одинарного тяжеловесного поезда на техническую станцию от числа этих поездов. Эта зависимость показана на рис. 1 при двух- и трехгрупповом осмотрах тяжеловесных поездов. Выполненные расчеты позволяют сделать вывод: при двухгрупповом осмотре тяжеловесных одинарных поездов техническая станция может пропустить по одному приемо-отправоч-

ному пути длиной 1050 м всего 10 поездов в сутки, при трехгрупповом осмотре — 14. При больших размерах движения тяжеловесных поездов и случайном характере подхода этих поездов к технической станции задержки по неприему будут оказывать существенное влияние на режим пропуска поездопотока через техническую станцию, резко снижая пропускную способность прилегающих участков.

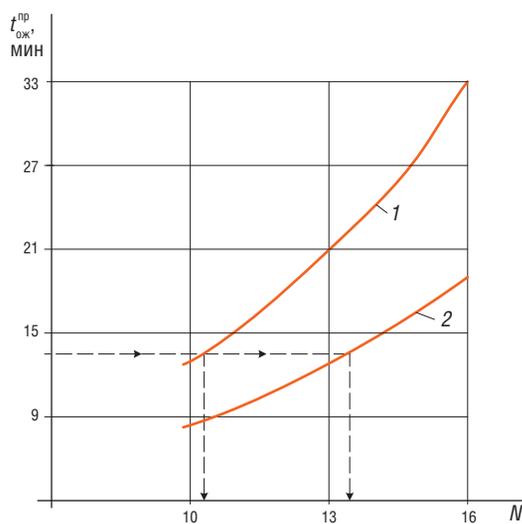


Рис. 1. Зависимость времени простоя одинарного тяжеловесного поезда по неприему от размеров движения: 1 — двухгрупповой осмотр; 2 — трехгрупповой осмотр

Одним из важных элементов в системе организации движения блок-поездов (двойных или тройных по массе и длине) являются станции преобразования одинарного поездопотока в поток блок-поездов в комплексе с прилегающим железнодорожным узлом. Наличие станций преобразования исключает существенные изменения конструкций и технологии работы сортировочных или участковых станций в узле, так как последние являются настолько загруженными поездной и маневровой работой на современном этапе, что введение новых функций в работу таких станций может привести к дополнительным осложнениям.

Эффективнее всего в качестве пунктов преобразования поездопотоков использовать предузловые станции, расположенные на подходах к узловым сортировочным или участковым станциям. Причем эти предузловые станции должны находиться внутри тех участков, на которых вводится в обращение преобразованный поездопоток. При выборе предузловой станции в качестве станции преобразования необходимо учитывать удаленность этой станции от узла (или сортировочной станции) и существующие конструкции и длину приемо-отправочных путей. Расстояние от сортировочной станции (узла) до предузловой в 126 узлах 14 дорог варьируется в пределах от 1,5 до 32 км. Отсутствие на подходах

к узлу близко расположенной промежуточной станции (например, расстояние до ближайшей промежуточной станции от узла составляет более 30 км) требует сооружения новой промежуточной станции, которая служила бы составляющим элементом в системе преобразования. При этом место сооружения такой станции преобразования должно быть удалено от основной сортировочной или участковой станции так, чтобы по новому перегону обеспечивалось преследование грузовых поездов без снижения скоростей движения и дополнительных задержек. Расстояние между узлом и станцией преобразования ($L_{сп}$) на двухпутных линиях можно определить следующим образом:

максимальное —

$$L_{сп}^{max} = \frac{1440 - T_{тех} - (t_m + 0,1 + t_o + t_n)}{\gamma(N_{гр} + N_{пс} + N_{сб})} V_{гр} - 0,001L_p \left(\frac{\Delta}{1 - \Delta} \right), \text{ км}; \quad (6)$$

минимальное —

$$L_{сп}^{min} = \frac{l_p - \tau_{нп}}{(1 - \Delta) \cdot 60} V_{гр} = \frac{l_p - (t_m + 0,1 + t_o + t_n)}{(1 - \Delta) \cdot 60} V_{гр} - 0,001L_p \left(\frac{\Delta}{1 - \Delta} \right), \text{ км}, \quad (7)$$

где $N_{гр}$, $N_{пс}$, $N_{сб}$ — соответственно число грузовых, пассажирских и сборных поездов, отправляемых за сутки узловой станцией на данный участок; γ — коэффициент, учитывающий нестабильность размеров движения поездов в течение суток; $\tau_{нп}$ — интервал одновременного попутного прибытия пассажирского поезда, [88], мин; t_m — время, необходимое для подготовки маршрута приема пассажирского поезда, мин; L_p — расстояние, проходимое пассажирским поездом и определяемое из схемы взаимного расположения поездов [1], км; t_o — вероятность опоздания на перегоне грузового поезда, 1–1,5 мин; t_n — вероятность опоздания пассажирского поезда по перегону, 0,921–2 мин; $V_{гр}$ — скорость движения грузового поезда, км/ч; $T_{тех}$ — технологически необходимое время для производства ремонтно-восстановительных работ, мин; Δ — отношение скоростей движения грузового и пассажирского поездов; l_p — интервал движения между поездами при автоблокировке, мин.

Длина приемо-отправочных путей на станции преобразования должна соответствовать длине блок-поезда. Средняя длина путей на станции преобразования может быть рассчитана по формуле:

$$\bar{l}_{пон}^{уд} = \left\{ \sum_{j=\infty}^{j=\max} P_{2j} \cdot \left[\left(\ell_j + \frac{\Delta \ell}{2} \right) + \ell_{локj} \right] \right\} + a, \text{ м}, \quad (8)$$

где P_{2j} — частность распределения двойных поездов по длине в j -м диапазоне; ℓ_j — j -я длина двойного поезда в распределении, м; $\ell_{локj}$ — длина локомотива в j -м блок-поезде, м; $\Delta \ell$ — интервал в распределении поездов по длине, м; a — установочное расстояние, м.

Длина приемо-отправочных путей должна быть не меньше величины

$$\ell_{пон}^{уд} = 2\ell_{поезд}^{max} + \ell_{лок} + a, \text{ м}. \quad (9)$$

Наиболее вероятная длина приемо-отправочного пути на станции преобразования равна двум принятым по СНиП стандартам (850 м), т. е. 1700 м.

Назначение станций преобразования заключается в выполнении следующих операций:

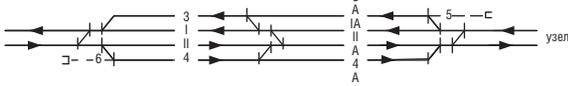
- прием и отправление блок-поездов с различной схемой формирования (ЛСС, ЛЛСС и др.);
- смена локомотивных бригад (если блок-поезда не подлежат расформированию и следуют дальше транзитом без отцепки локомотива);
- соединение и разъединение составов при использовании различных схем блок-поездов и организации подвода и вывода одинарных составов при их преобразовании (вывозной или поездной режимы работы), обеспечивая безопасность производства всех технологических операций и движения поездов в целом;
- беспрепятственный пропуск поездов по главным путям;
- обгон блок-поездов и одинарных грузовых поездов пассажирскими.

Этим требованиям с учетом необходимых технологических операций должны отвечать схемы станций преобразования и обгона. Важным условием бесперебойной работы станций является возможность приема одинарных поездов в головную или хвостовую часть удлиненного пути. На рис. 2 представлено несколько конструкций станций преобразования в зависимости от схемы формирования блок-поезда. На станциях (рис. 2, г, д, ж) пути 5 и 6 предназначены для выполнения маневровых рейсов поездных локомотивов: при формировании блок-поезда — преследование локомотива второго поезда в голову первого и последующее их объединение в одну тяговую систему; при расформировании — преследование локомотива в голову второго состава после разъединения тяговой системы. Тупики 5, 6, 7, 8 (рис. 2, в, г, д, ж) необходимы для предотвращения случайного попадания составов на главные пути, а также для отстоя локомотивов в ожидании прицепки к составам.

Технология работы станций преобразования предусматривает два режима работы локомотивов и бригад: поездной и вывозной. В зависимости от типа локомотива по секционности в блок-поезде и схемы формирования выбирается технология процессов преобразования.

СХЕМА ЛСЛС

а) поперечный тип



б) полупродольный тип

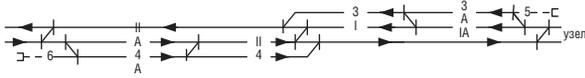
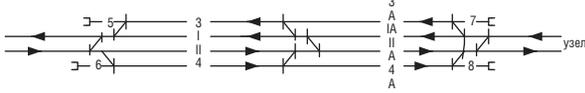
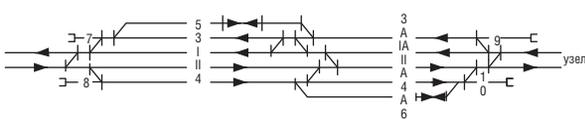


СХЕМА ЛСС, ЛЛСС

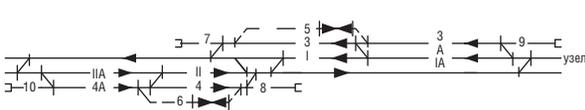
в) поперечный тип I



г) поперечный тип II



д) полупродольный тип I



ж) полупродольный тип II

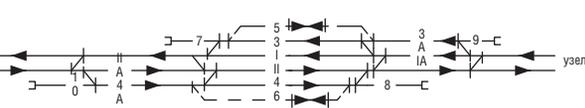


Рис. 2. Станции преобразования поездопотока для различных схем формирования блок-поездов

При поездном режиме работы каждый одинарный поезд поступает на станцию преобразования со своим поездным локомотивом, после чего производится объединение локомотивов в одну тяговую систему (при схеме ЛЛСС). На рис. 3 и 4 представлены технологические графики выполнения операций по формированию блок-поездов со схемой ЛЛСС на станции преобразования при поездном режиме работы. При этом рассмотрены варианты очередности поступления «тяжелого» и «легкого» по массе одинарных составов на станцию. Среднюю величину простоя в ожидании формирования в расчете на один объединяемый поезд можно определить через средний интервал прибытия одинарных поездов на станцию преобразования при условии, что суммарная масса блок-поезда требует использования спаренных двухсекционных локомотивов (ЛЛСС).

$$I_{Л4} = \frac{(n_c - 1) \cdot (1440 - T_{тех})}{n_c \cdot P_{бп(Л4)} \cdot (1 - P_T - P_T^{yc} - P_n - P_n) \cdot N_{гр} \cdot L_{сп} \cdot (1 - P_{отк})}, \text{ мин, (10)}$$

Тогда время ожидания составит:

(рис. 3) $t_{ож} \approx I_{Л4} + 5,1 - t_{пр1}, \text{ мин,}$

(рис. 3) $t_{ож} \approx I_{Л4} + 4,1 - t_{пр1}, \text{ мин,}$

где $T_{тех}$ — время, выделяемое для проведения технологических «окон», мин; $t_{пр1}$ — время, необходимое для проследования первого поезда на определенный стационный путь и его установка, мин; $L_{сп}$ — длина перегона между узлом и станцией преобразования, км; $P_{отк}$ — вероятность отказа по техническим причинам на один поезд и 1 км пути, $6,446 \cdot 10^{-6}$ [1]; n_c — число составов в одном блок-поезде.

Средняя продолжительность технологических операций по формированию блок-поездов со схемой ЛЛСС в поездном режиме работы на станции преобразования с учетом простоя в ожидании прибытия второго состава равна

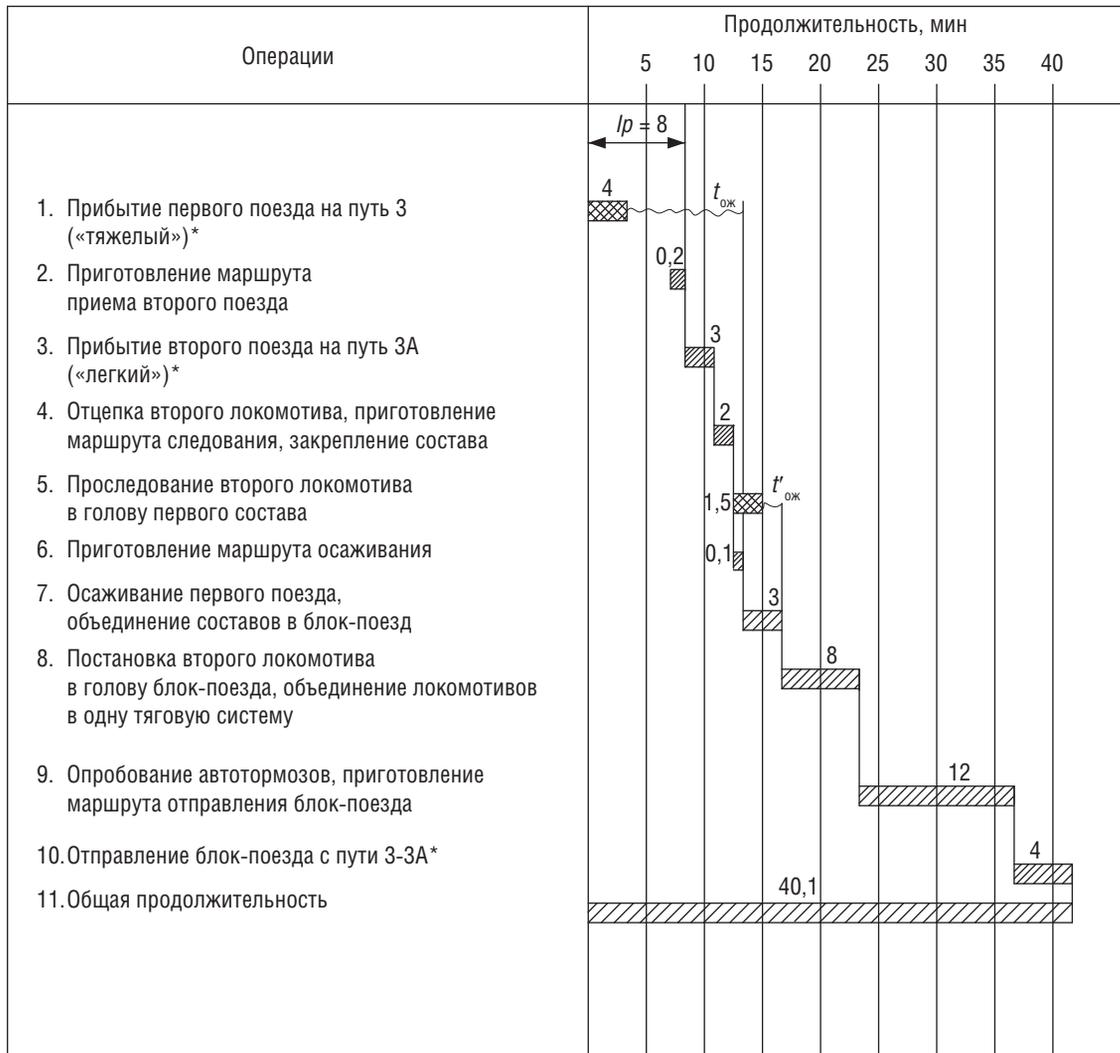
$$t_{\phi} = 40 - I_p + I_{Л4}, \text{ мин. (11)}$$

Процесс расформирования блок-поезда со схемой ЛЛСС в поездном режиме на одинарные составы представлен на рис. 3–4. Кроме того, существует задержка готовых к отправлению одинарных поездов и блок-поездов на участок, которая на один состав блок-поезда составит

$$t_{от} = \frac{N_{пс} [(1 - \Delta)t_{гр} + \tau_{нп}] + N_{гр}^{од} \cdot I_p}{N_{бп}} \times \times \frac{I_p (N_{гр}^{од} + \epsilon_{пс} N_{пс})}{1440 - T_{тех} - I_{бп} \cdot N_{бп}} + I_p - t'_{рф}, \text{ мин, (12)}$$

где $N_{пс}$ — размеры движения пассажирских поездов; $t_{гр}$ — время хода грузового поезда на перегоне в сторону узла, мин; $N_{гр}^{од}$ — размеры движения одинарных (не участвующих в преобразовании) грузовых поездов; $N_{бп}$ — размеры движения длинносоставных поездов, поступающих на расформирование на станцию преобразования; $I_{бп}$ — интервал движения между длинносоставными поездами, мин; $t'_{рф}$ — средняя продолжительность технологических операций для каждого из двух составов расформируемого длинносоставного поезда, 23,1 мин.

При небольших размерах движения одинарных поездов простой в ожидании отправления может быть малым и не оказывать существенного влияния на работу станций преобразования. Если выражение (12) имеет отрицательное значение, то время простоя в ожидании можно не учитывать.



*см. вариант «в» на рис. 2.

Рис. 3. Технологический график выполнения операций по формированию блок-поездов со схемой ЛЛСС на станции преобразования (очередность прибытия одинарных поездов: первый — «тяжелый», второй — «легкий»)

При вывозном режиме работы в системе «узел — станция преобразования» в обращение вводятся вывозные локомотивы. На рис. 6 и 7 представлены технологические графики выполнения операций и формирования блок-поездов со схемой ЛСС на станции преобразования при обращении вывозных локомотивов. Средний простой в ожидании формирования определяется аналогично (10):

$$I_{л2,л3} = \frac{(n_c - 1)(1440 - T_{\text{тех}})}{n_c (P_{\text{бп}(л2)} + P_{\text{бп}(л3)}) \times (1 - P_T - P_T^{\text{yc}} - P_n - P_H) \times N_{\text{гр}} L_{\text{сп}} (1 - P_{\text{отк}})}, \text{ мин} \quad (13)$$

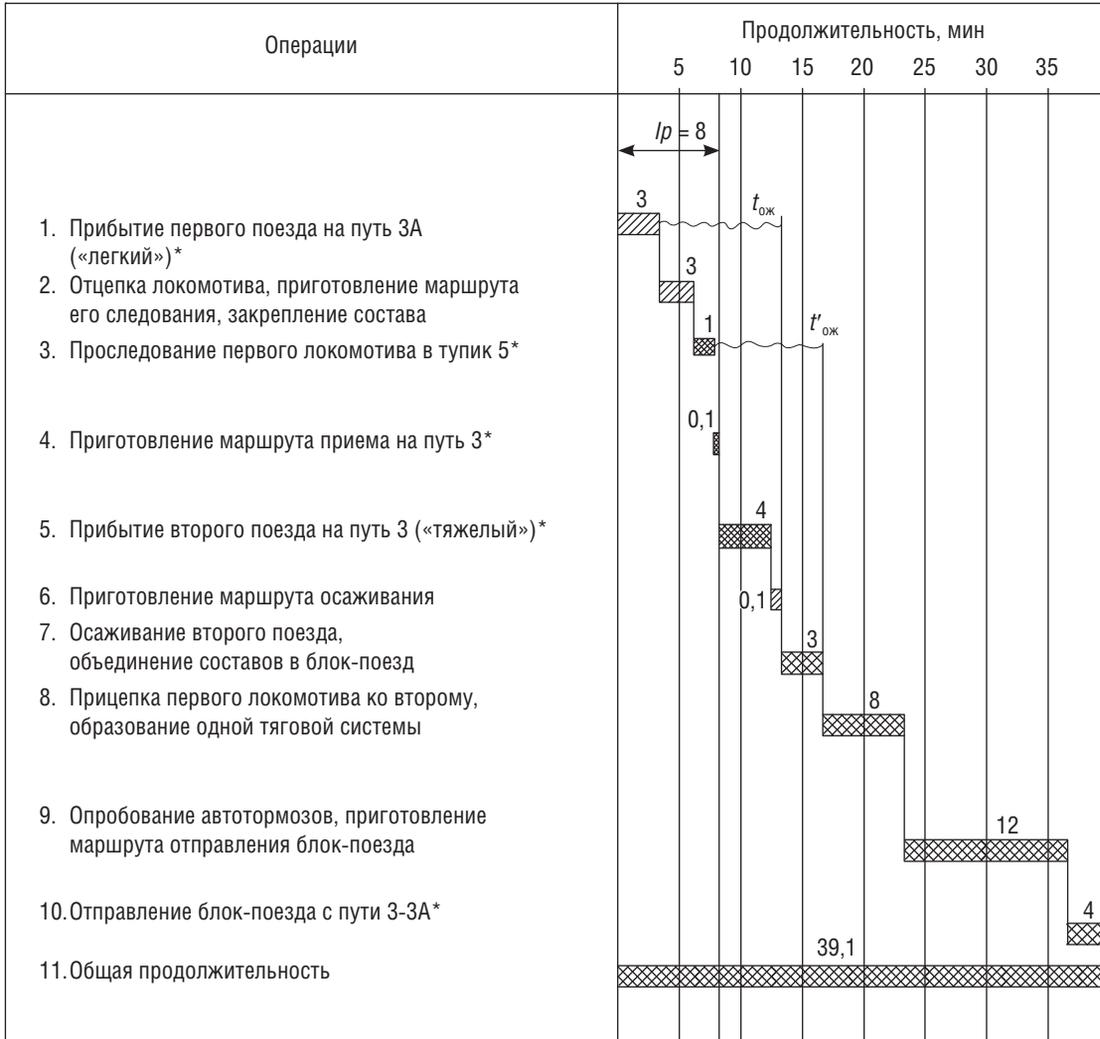
Тогда время ожидания прибытия второго поезда составит:

(рис. 6) $t_{\text{ож}} \approx I_{л2,л3} + 5,1 - t_{\text{пр1}}, \text{ мин},$

(рис. 7) $t_{\text{ож}} \approx I_{л2,л3} + 4,1 - t_{\text{пр1}}, \text{ мин}.$

На рис. 8 представлен график выполнения операций по расформированию блок-поездов со схемой ЛСС. Задержки готовых к отправлению составов после расформирования длинносоставного поезда будут аналогичными, как и в ранее рассмотренном случае (12). Средняя продолжительность технологических операций для каждого из двух составов расформируемого длинносоставного поезда в случае (а) равна $t'_{\text{рф}} = 16,5$ мин, (б) — $t'_{\text{рф}} = 20,6$ мин (рис. 8).

Анализ технологических графиков выполнения преобразования показал, что наиболее приемлемым случаем является вариант с вывозным режимом, т. е. когда обращаются вывозные локомотивы. На рис. 9–10 показаны



*см. вариант «в» на рис. 2

Рис. 4. Технологический график выполнения операций по формированию блок-поездов со схемой ЛЛСС на станции преобразования (очередность прибытия одинарных поездов: первый — «легкий», второй — «тяжелый»)

варианты поездного положения на станции преобразования в зависимости от схемы длинносоставного поезда и очередности поступления одинарных составов. Время занятия удлинённого пути одним блок-поездом под операциями формирования и расформирования (с учетом (10)–(13) и технологических графиков (рис. 3–8)) составит соответственно:

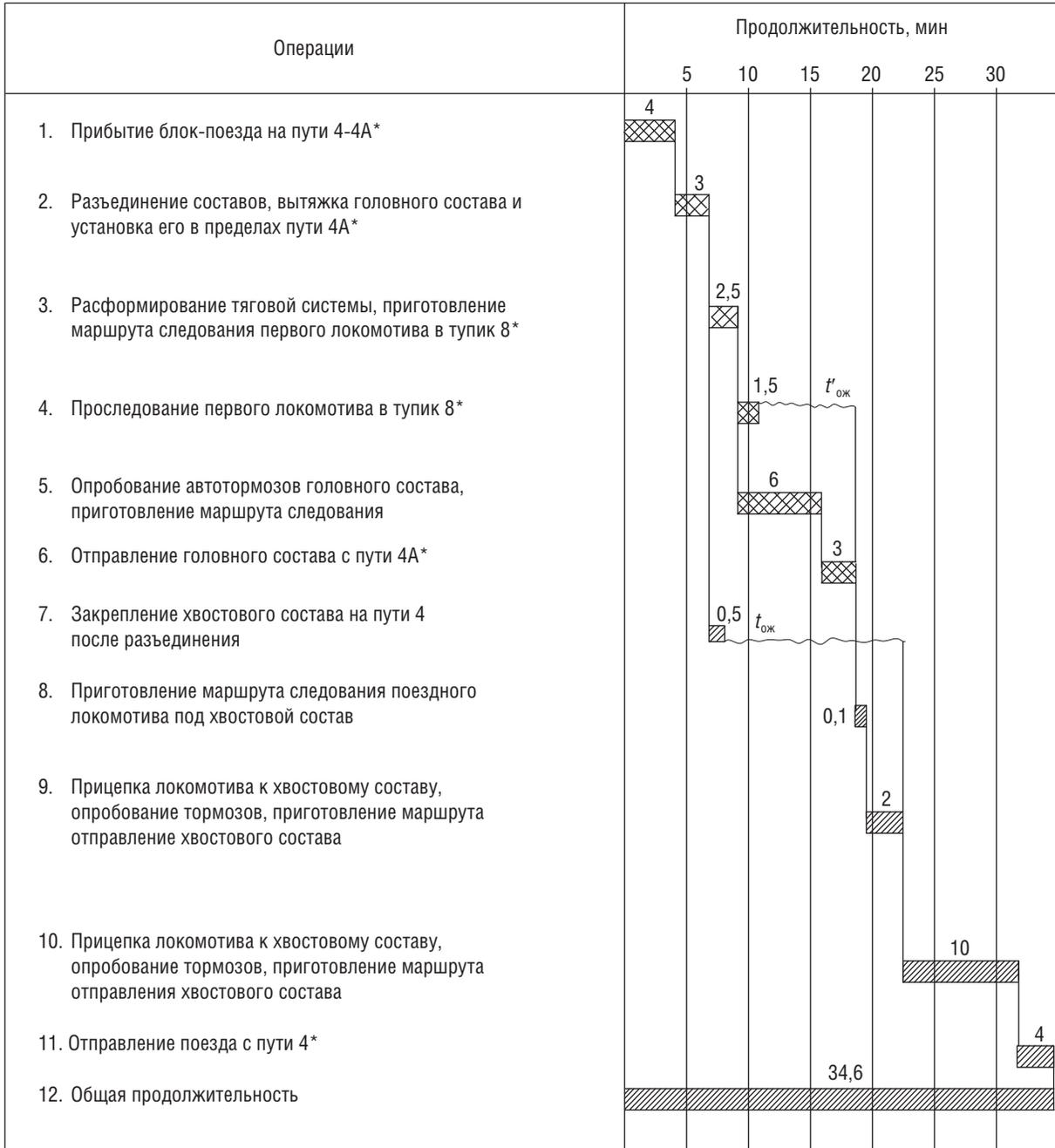
при формировании:

$$t_{3(Лк)}^{\Phi} = t_{c(Лк)} + \frac{(n_c - 1)(1440 - T_{\text{тех}})}{n_c \cdot P_{\text{бп}(Лк)}(1 - P_T - P_T^c - P_n - P_H)N_{\text{гр}}L_{\text{сп}}(1 - P_{\text{отк}})} + l_p, \text{ мин}, \quad (14)$$

при расформировании:

$$t_{3(Лк)}^p = t_{\text{рф}(Лк)} + \left\{ \frac{N_{\text{пс}}[(1 - \Delta)t_{\text{гр}} + \tau_{\text{нп}}] + N_{\text{гр}}^{OD}l_p}{N_{\text{бп}}} \times \frac{l_p(N_{\text{гр}}^{OD} + \varepsilon_{\text{пс}}N_{\text{пс}})}{1440 - T_{\text{тех}} - l_{\text{бп}}N_{\text{бп}}} + l_p \right\} - t'_{\text{рф}}, \text{ мин}, \quad (15)$$

где $t_{c(Лк)}$ — «чистое» время, необходимое на операции по соединению составов, подцепки локомотивов, опробование тормозов и отправление блок-поезда на перегон, при схеме ЛЛСС — 32,1 мин (рис. 3, 4), при схеме ЛСС — 24,1 мин (рис. 6, 7); $t_{\text{рф}(Лк)}$ — общая продолжительность операций по расформированию блок-поезда, при схеме ЛЛСС — 34,6 мин (рис. 5), при схеме ЛСС — 32,1 мин (рис. 8); Лк — число секций локомотивов в одной тяговой позиции.



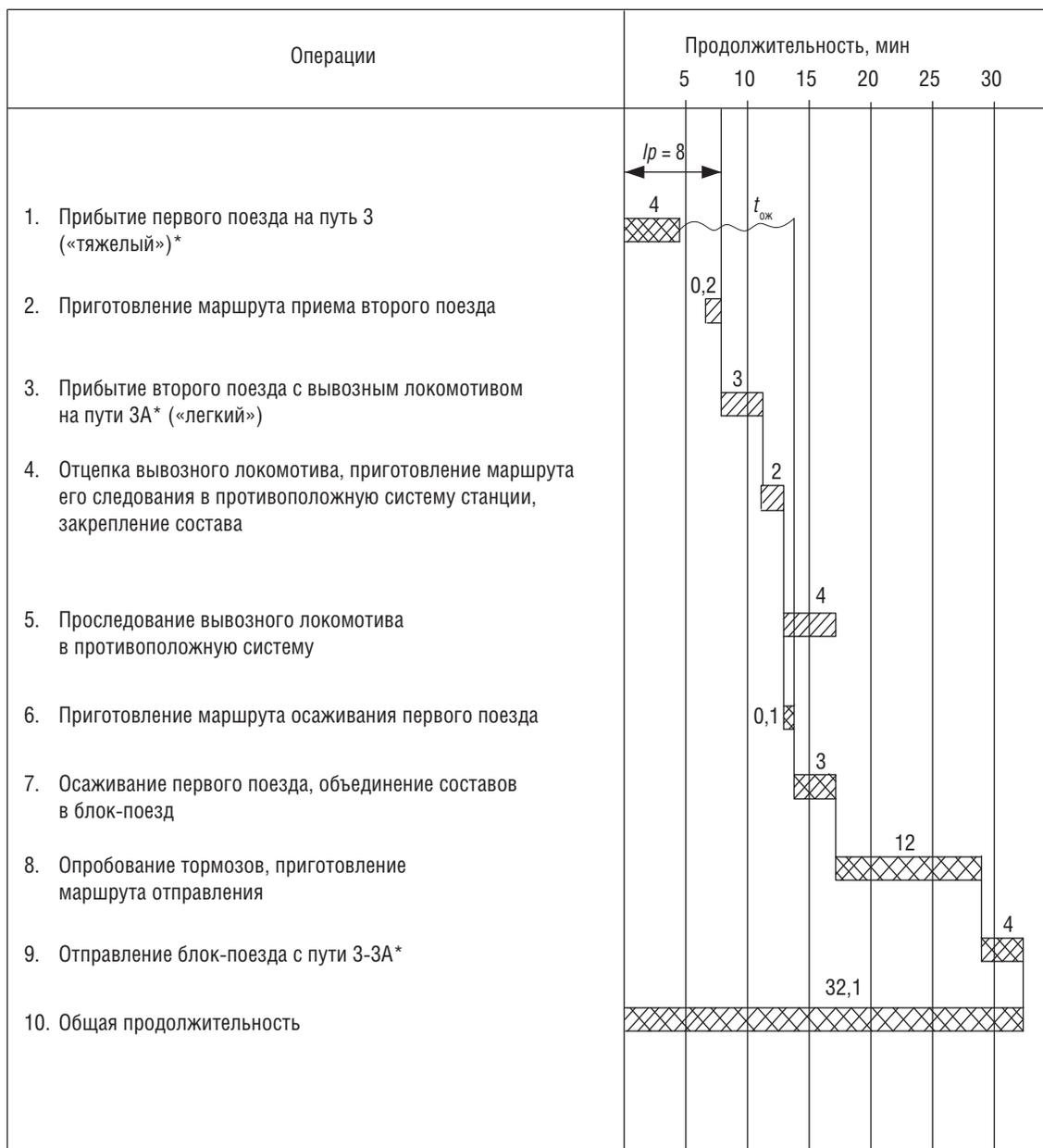
*см. вариант «в» на рис. 2

Рис. 5. Технологический график выполнения операций по расформированию блок-поезда со схемой ЛЛСС на станции преобразования

Если величина, заключенная в фигурных скобках (15), становится отрицательной, то ее принимают равной нулю. Общее время занятия удлинненных путей станции преобразования будет представлять сумму продолжительности операций по формированию (расформированию) всех блок-поездов с соответствующими схемами (ЛЛСС, ЛСС), поступающих на данную станцию за сутки:

$$T_3^{\Phi} = \sum_{n_c=2}^{n_c=n_{доп}} \sum_{Лк=2}^{Лк=K_{доп}} N_{бп(Лк)} \cdot t_{з(Лк)}^{\Phi};$$

$$T_3^P = \sum_{n_c=2}^{n_c=n_{доп}} \sum_{Лк=2}^{Лк=K_{доп}} N_{бп(Лк)} \cdot t_{з(Лк)}^P, \text{ МИН.} \quad (16)$$



*см. вариант «в» на рис. 2

Рис. 6. Технологический график выполнения операций по формированию блок-поезда со схемой ЛСС на станции преобразования при обращении вывозных локомотивов (очередность прибытия одиночных поездов: первый — «тяжелый», второй — «легкий»)

Приближенное значение числа удлинённых путей по направлениям движения (технологическим операциям) можно получить из следующего выражения:

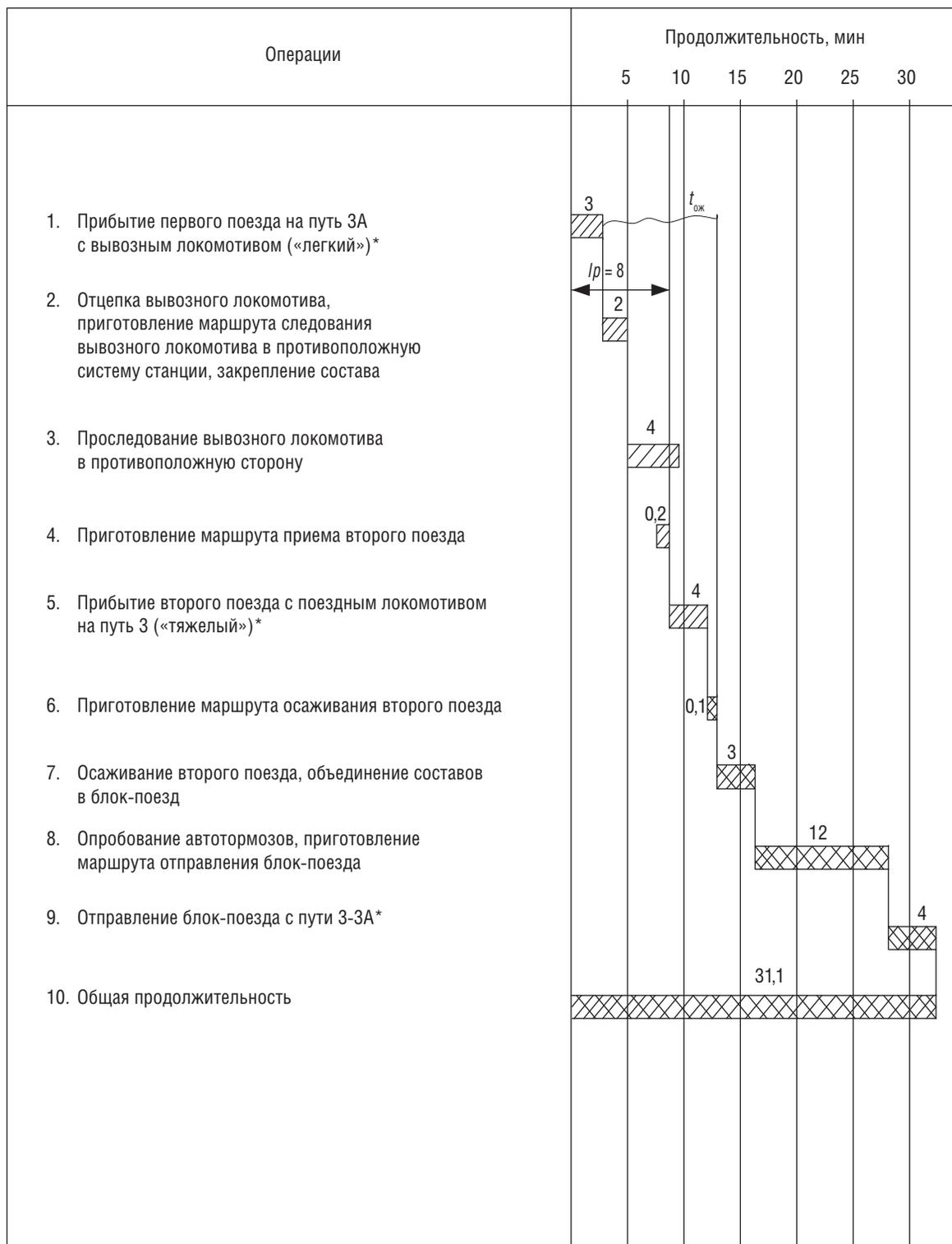
$$m_{\text{уд.п}} = \frac{T_3}{1440 - T_{\text{тех}}}, \text{ путей.} \quad (17)$$

В табл. 1 приведен пример расчета требуемого числа удлинённых путей (1700 м). Исходные данные взяты

из предыдущих расчетов и графиков. Пропускная способность удлинённого пути станции преобразования составит

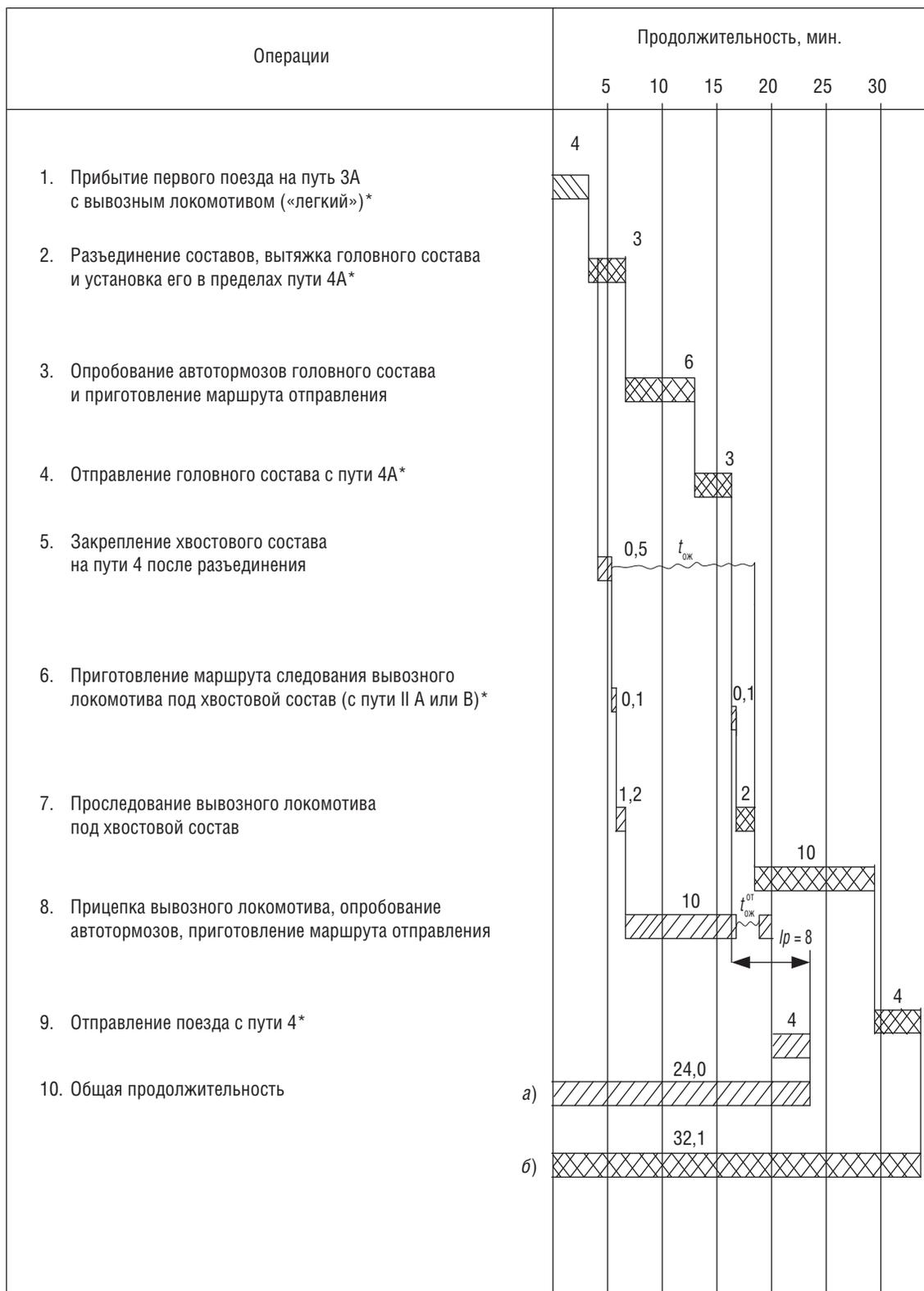
$$N_{\text{уд.п}} = \frac{1440 - T_{\text{тех}}}{t_3^{\text{ср}}} = \frac{N_{\text{бп}}}{\alpha_{\text{исп}}^{\text{уд.п}}}, \text{ поездов/сут.,} \quad (18)$$

где $t_3^{\text{ср}}$ — средняя продолжительность занятия пути длинносоставным поездом, мин; $\alpha_{\text{исп}}^{\text{уд.п}}$ — степень использования удлинённых путей.



*см. вариант «в» на рис. 2

Рис. 7. Технологический график выполнения операций по формированию блок-поезда со схемой ЛСС на станции преобразования при обращении вывозных локомотивов (очередность прибытия одиночных поездов: первый — «легкий», второй — «тяжелый»)



*см. вариант «в» на рис. 2

Рис. 8. Технологический график выполнения операций по расформированию блок-поезда со схемой ЛСС на станции преобразования при обращении вывозных локомотивов

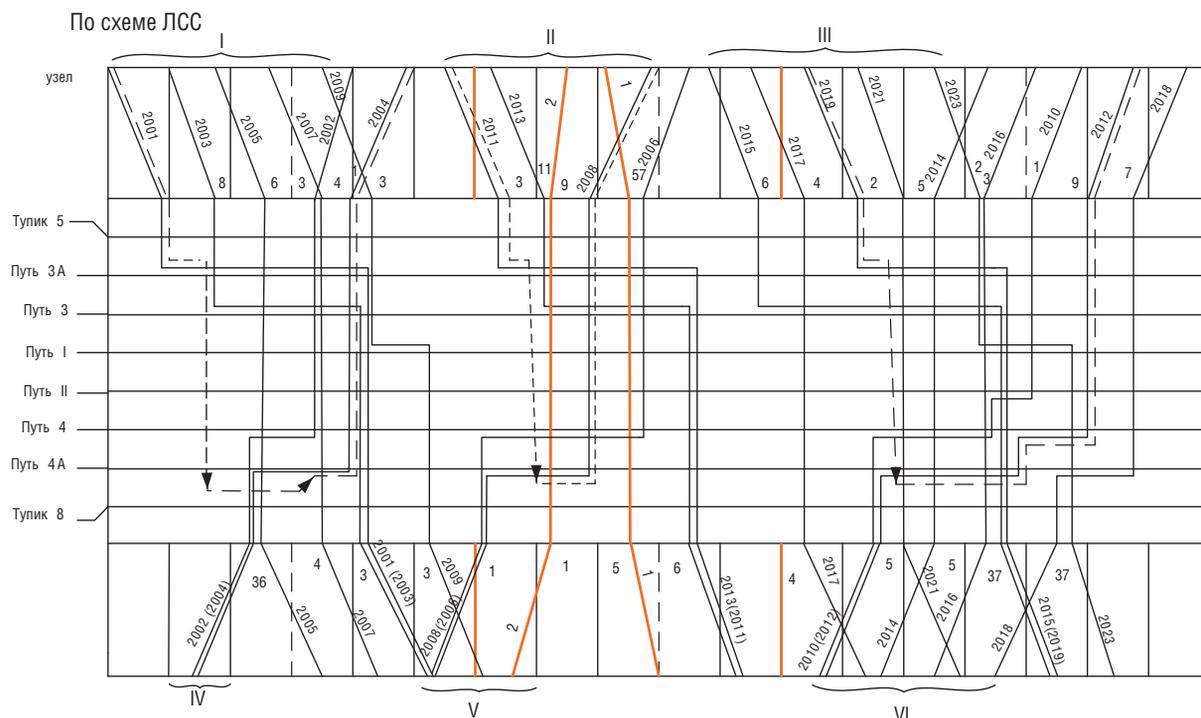


Рис. 9. Вариант 1 поездного положения на станции преобразования:

— пассажирский поезд; - - - - -> — вывозной локомотив;
 — грузовой поезд; ——— — блок-поезд; III — номер варианта

С.А. Плахотич, И.С. Плахотич | Станции с удлиненными прямо-отправочными путями

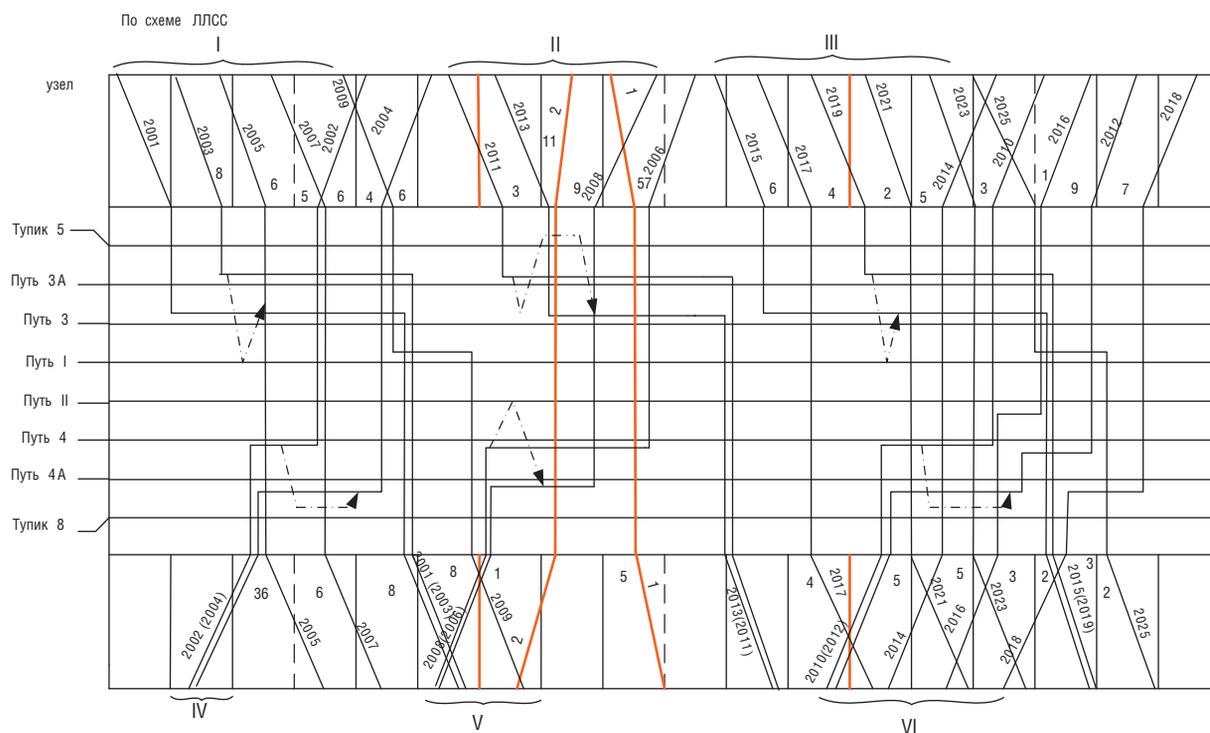


Рис. 10. Вариант 2 поездного положения на станции преобразования:

— пассажирский поезд; - - - - -> — вывозной локомотив;
 — грузовой поезд; ——— — блок-поезд; III — номер варианта

Степень использования удлиненного пути на станции преобразования зависит от преобразуемого поездопотока. Так, увеличение доли формируемых блокпоездов свыше 60–70 % от общего поездопотока, достигающего по величине в исходном состоянии 100–140 пар, потребует сооружения на станции преобразования второго пути двойной длины в каждом направлении движения.

Таким образом, удлиненные приемо-отправочные пути на технических станциях и предузловые станции преобразования длинносоставных поездов являются необходимой составной частью технической основы организации совместного пропуска поездов различных весовых категорий. Другой составляющей является тяговое обеспечение пропуска поездов в рассматриваемых условиях поездной работы. **ИТ**

Список литературы

1. Плахотич С. А. Техничко-технологические параметры железнодорожных направлений в условиях параллельных массы и длины грузовых поездов : монография. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 172 с.



**Владимир Николаевич
Коваленко**

Vladimir N. Kovalenko



**Максим Николаевич
Катаев**

Maksim N. Kataev

Современные тенденции автоматизации переездов на железнодорожном транспорте

Modern trends in automation of level crossings on railway transport

Аннотация

Статья посвящена проблеме повышения безопасности участников движения на железнодорожных переездах. Представлен обзор современных тенденций совершенствования систем автоматической переездной сигнализации АПС. Рассмотрены пути расширения функциональных возможностей АПС на основе использования микропроцессоров и информационных технологий с целью повышения безопасности.

Ключевые слова: автоматическая переездная сигнализация, микропроцессор, безопасность, автотранспорт, железнодорожный переезд, информационные системы для переездов, видеонаблюдение, регистрация, необслуживаемые системы.

Summary

The article is dedicated to improving the safety of rail road users at level crossings. Current trends of improvement of automatic crossing signaling ACS are reviewed. The ways to extend the functionality of ACS through the use of microprocessors and information technology to enhance safety are analyzed.

Keywords: automatic crossing signaling, microprocessor, safety, motor transport, railroad crossing, information systems for level crossings, video surveillance, registration, maintenance-free system.

Авторы Authors

Владимир Николаевич Коваленко, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: VKovalenko@usurt.ru | Максим Николаевич Катаев, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Vladimir Nikolaevich Kovalenko, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of "Railway Automation, Telemechanics and Communication" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: VKovalenko@usurt.ru | Maksim Nikolaevich Kataev, PhD Student, "Railway Automation, Telemechanics and Communication" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Проблема обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах является актуальной не только для России, но и для большинства промышленно развитых стран. На данных объектах железнодорожной инфраструктуры нередко происходят дорожно-транспортные происшествия, в том числе с особо тяжкими последствиями.

Пересечения железнодорожных путей и автомобильных дорог в одном уровне являются наиболее сложными и опасными элементами транспортной сети и оказывают существенное влияние на эффективность эксплуатации как железнодорожного, так и автомобильного транспорта.

В создавшихся условиях особую значимость приобретают вопросы обеспечения безопасности движения через переезды, повышения их пропускной способности и сокращения непроизводительных простоев автотранспорта на них.

Очевидно, что кардинальным решением проблемы предотвращения дорожно-транспортных происшествий на переездах и повышения их пропускной способности является строительство путепроводов через железные дороги, но в связи с высокой стоимостью сооружения (порядка 100 млн рублей за один путепровод) строительство их во многих случаях оказывается экономически нецелесообразным.

В настоящее время в России эксплуатируется более 11 тыс. железнодорожных переездов, из которых 9 тыс. обслуживаются дежурными работниками.

Как известно, основную роль в организации технологического процесса движения поездов на железнодорожном транспорте играют устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). Эти устройства осуществляют интервальное регулирование поездов на перегонах и управление поездной и маневровой работой на станциях, определяют местоположение поезда с требуемой точностью и обеспечивают безопасность движения поездов. Большинство таких систем, в том числе системы автоматической поездной сигнализации (АПС), реализованы на электромагнитных реле, поэтому им необходимо, во-первых, техническое обслуживание по наработке, что требует больших затрат; во-вторых, для этих систем сложно организовать автоматическую диагностику и контроль, что затрудняет переход к системе технического обслуживания по состоянию. Поэтому наблюдается тенденция реализации этих систем на микропроцессорной элементной базе.

Что касается систем автоматизации переездов, то из-за большого числа аварий наблюдается тенденция повышения безопасности работы переездов. Для этих целей они оборудуются устройствами защиты переезда (УЗП), контролем свободности зоны переезда (на основе использования доплеровских или электромагнитных датчиков), камерами для видеонаблюдения и регистрации.

Переход на микропроцессорную элементную базу при реализации систем АПС позволяет:

- перейти на систему обслуживания «по состоянию», т. е. организовать прогнозирование, диагностику и удаленный мониторинг систем АПС;
- создать более надежные и более дешевые системы АПС;
- создать малообслуживаемые и необслуживаемые системы;
- создать резервируемые системы с повышенной живучестью (автономное резервирование).

С точки зрения обеспечения безопасности замена релейной элементной базы на микропроцессорную приводит к тому, что если в релейных системах концепция безопасности достаточно проста и базируется на свойствах реле I класса надежности, то в микропроцессорных системах такого простого свойства безопасности нет, поэтому безопасность элементной базы, методы обеспечения безопасности этих систем разнообразны и не столь очевидны и требуют специальной сертификации на безопасность [1].

Одним из основных элементов СЖАТ, в том числе и для АПС, являются рельсовые цепи (РЦ), которые предназначены для определения местоположения поезда. Однако существуют участки железных дорог, на которых нет возможности использовать РЦ из-за их низкой работоспособности, возникающей по причине низкого сопротивления изоляции балласта (засоленности или сильной загрязненности его металлической пылью). Низкая надежность работы рельсовых цепей в ряде случаев ставит под сомнение эффективность их применения, поэтому в качестве альтернативы РЦ используются устройства, реализованные на основе счета осей подвижного состава.

Разработка СЖАТ на основе счетчиков осей подвижного состава началась в 90-х гг. прошлого века, когда микропроцессорная техника еще не достигла современного уровня развития и ограниченно применялась на железнодорожном транспорте.

В настоящее время разрабатываются и проектируются отечественные СЖАТ на основе счетчиков осей для организации интервального регулирования движения поездов на перегонах и управления поездной и маневровой работой на станциях. Наблюдается также тенденция разработки и внедрения микропроцессорных систем автоматической поездной сигнализации (АПС-М). АПС-М нового поколения осуществляют объективный контроль зоны переезда и имеют возможность передачи этой информации (занят, свободен) для управления путевым железнодорожным светофором и в кабину машиниста для осуществления экстренного торможения подвижного состава перед переездом, если переезд занят.

Одной из первых микроэлектронных систем стала система, разработанная специалистами ООО «ВНТЦ «Урал-желдоравтоматизация» — УУ АПС СО, которая заменила

собой РЦ, позволила сделать одинаковыми расчетные и фактические длины участков извещения, сократить эксплуатационные расходы на содержание устройств АПС и оптимизировать всю работу переезда [2].

К современным системам АПС нового поколения относятся такие системы, как АПС-МП (ООО «ВНТЦ «Урал-железнодорожная автоматизация»), АПС-СО (ОАО «Алчевский меткомбинат», пост «Южный»), система автоматического управления переездной сигнализацией МАПС («НПЦ «Промэлектроника»).

Система АПС-МП, приведенная на рис. 1, способна контролировать до 5 путей, где к каждому пункту счета осей (ПС) при помощи специальной путевой разветвительной коробки (ПРК) укладываются групповые кабельные линии электропитания и связи.

Система АПС-МП в общем случае состоит из напольного и постового оборудования.

Напольное оборудование в зависимости от проектных решений включает в себя пункты счета осей ПС, переездные светофоры, автошламбаумы, устройства заграждения переездов УЗП.

Пункты счета осей располагаются по границам участков приближения (удаления) и включают в себя путевой датчик (ПД), напольное счетное устройство (НСУ).

Расчет длин участков приближения производится исходя из установленной скорости движения поездов и длины проезжей части переезда.

К постовому оборудованию относятся счетно-решающие приборы СРП-У-02, устройства бесперебойного питания (УБП), исполнительные реле, терминал электромеханика (ТЭМ) и т. д.

Алгоритм работы системы АПС-МП аналогичен работе релейных систем переездной сигнализации, спроектированных по альбомам АПС-93 и АПС-04. Контроль участков приближения к переезду и самого участка переезда осуществляется методом счета осей, а прибор

СРП-У-02 осуществляет выполнение алгоритмов работы переездной сигнализации и управляет работой включающих реле. Система АПС-МП отслеживает логику прохода поездом переезда, которая заключается в контроле, с учетом направления движения, последовательного занятия и освобождения поездом путевых участков переезда и времени занятия поездом участка удаления. В том случае, если установленная последовательность будет нарушена или поезд задержится на участке удаления больше расчетного времени повторного закрытия, переезд вновь будет закрыт для движения автотранспорта. Открытие переезда в этом случае произойдет только после полного освобождения поездом всех контролируемых системой АПС-МП участков пути. К основным преимуществам системы АПС-МП (АПС МП-Н, АПС-МПР) относятся [2, 3]:

- отсутствие рельсовых цепей и их элементов (приборов, дроссель-трансформаторов (при электротяге), изолирующих стыков, рельсовых соединителей и т. д.);
- снижение количества применяемого оборудования (в 3,7 раза для однопутного перегона);
- снижение (до 60 %) объема выполняемых работ по техническому обслуживанию АПС;
- повышение вандалозащищенности АПС ввиду отсутствия медесодержащих элементов;
- сохранение работоспособности системы при отключении фидеров питания за счет применения устройств бесперебойного питания;
- возможность технической диагностики и архивации данных;
- возможность осуществления удаленного мониторинга и контроля по кабельной или воздушной линии связи;
- снижение эксплуатационных расходов в хозяйствах пути и СЦБ;

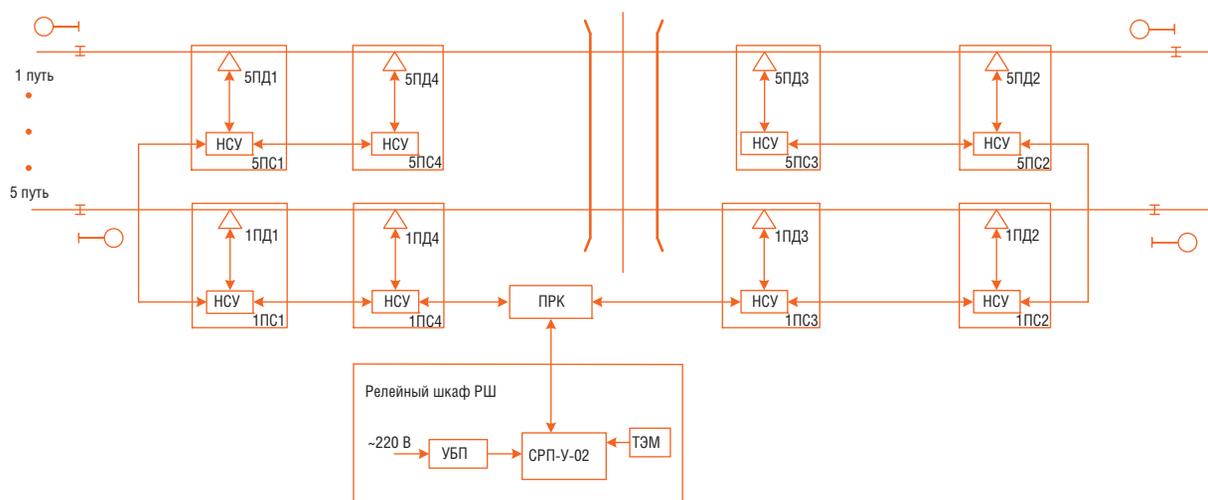


Рис. 1. Структурная схема системы АПС-МП

- возможность дооснащения переезда устройствами оповещения оставшегося времени до закрытия переезда;
- возможность размещения оборудования системы как в релейном шкафу, так и в транспортном модуле.

АПС-МП может применяться на участках железных дорог с любым видом тяги поездов, на перегонах с автоматической и полуавтоматической блокировкой, а также на станциях с любым видом централизации стрелок и светофоров. АПС-МП-М полностью заменяет систему АПС-МП, а также физически и морально устаревшие системы, спроектированные по альбомам АПС-93 и АПС-04.

В России вопросами разработки систем для автоматизации работы железнодорожных переездов занимаются ВНТЦ «Уралжелдоравтоматизация» и УО ВНИИЖТ, а вопросами разработки типовых материалов для проектирования 410703-ТМП «Переездная сигнализация с использованием аппаратуры счета осей для всех видов тяги и путевой блокировки» — институт «Гипротрансигнальсвязь».

Наряду с отечественными разработками систем АПС существуют зарубежные аналоги. Так, например, немецкая система АПС Simis LC компании Siemens была адаптирована к требованиям последних типовых проектных решений головного института «Гипротрансигнальсвязь» (ГТСС), признаваемых железными дорогами стран СНГ и Балтии. При этом в схемах управления переездами, а также их увязки с постом централизации полностью исключено привычное релейное оборудование, а также расширены возможности контроля за переездным оборудованием и управления им со стороны оператора. Расположенные в специальных шкафах переездные микропроцессорные системы нечувствительны к климатическим воздействиям и соответствуют уровню безопасности SIL4. Они передают на пост диагностическую информацию о состоянии сигнального и электромеханического оборудования переезда и практически не требуют участия линейного персонала в техническом обслуживании данных систем.

Аналогичные разработки переездной сигнализации проводятся и на Украине. Так, например, в статьях [4, 5] рассматривается радиомикропроцессорная гарантоспособная система автоматической переездной сигнализации (АПС-РМПГ) нового поколения с объективным контролем зоны переезда, обеспечением экстренной остановки подвижного состава перед переездом в случае необходимости и передачей информации по радиоканалу. В этой системе предлагается повысить достоверность работы схемы счета осей парным использованием двух датчиков, позволяющих также измерить скорость подвижного состава и подключенных к специальной схеме счета и анализа сигнала.

В работах [4–6] предлагается решать такие вопросы, как оптимизация моментов закрытия и открытия

переезда в зависимости от скорости движения поезда, объективный контроль состояния переезда и своевременное предупреждение машиниста об аварийной ситуации на переезде, автоматическое торможение поезда в случае аварийной ситуации на переезде, устойчивость системы к отказам оборудования, ее живучесть и безопасность.

Поскольку в большинстве случаев виновными в авариях на переездах являются водители автотранспортных средств, то в статье [7] предлагается устанавливать информационные системы для переездов (ИСП), за счет которых повышается степень информированности участников движения о ситуации на контролируемом объекте. ИСП являются автономными, не требуют схемной увязки с действующими системами АПС и автоматической блокировки (АБ), могут устанавливаться независимо от их наличия, и на них не распространяются требования по функциональной безопасности, которые предъявляются к системам железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), связанные с обеспечением безопасности движения поездов. К таким системам можно отнести ИСП серии «Благовест», разработанные институтом проблем математических машин и систем Национальной академии наук Украины (ИМПС НАН Украины).

В этой работе, как и в работах [2–6], предлагается использовать счетчики осей [4–6] для увязки датчиков с центральным процессором и передачи актуализированной информации диспетчеру о количестве осей в прошедшем через переезд подвижном составе (ПС) и о количестве вагонов, которые находятся на конкретном участке пути, передавать с использованием радиоканала.

В статье [7] предложено для более объективного контроля зоны переезда и с целью повышения достоверности работы АПС устанавливать три датчика перемещения (ДП), которые начинают работать с момента закрытия переезда, а ЦП, анализируя состояние ДП, делает вывод о свободности зоны переезда. Три ДП, установленные в зоне переезда, обеспечивают пространственное резервирование, что в конечном итоге повышает надежность работы системы. В том же случае, если зона переезда в пределах габарита подвижного состава (ПС) оказывается занятой, то система с помощью sireны (С) оповещает окружающих об аварийной обстановке на переезде, включает дополнительное освещение с помощью прожектора (П) и на информационном табло (ИТ) появляется бегущая строка, например: «Внимание! Аварийная обстановка. Срочно покиньте зону переезда!».

В совокупности все технические данные современных систем на переездах позволяют с минимальными затратами значительно повысить безопасность железнодорожных перевозок, что является первоочередной задачей разработчиков систем автоматики.

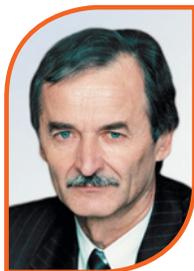
Выводы

Как следует из статьи, современными тенденциями создания систем автоматизации переездов на железнодорожном транспорте являются:

1. Отказ от использования в системах АПС рельсовых цепей и замена их датчиками счета осей.
2. Оборудование железнодорожных переездов устройствами заграждения — УЗП.
3. Контроль зоны переезда с возможностью передачи машинисту информации об аварийной ситуации на железнодорожном переезде.
4. Реализация в микропроцессорных системах автоматической переездной сигнализации функций диагностики и передачи контрольной информации на станцию. Переезды, оборудованные микропроцессорными системами, стали практически необслуживаемыми, т. е. микропроцессорными системами созданы предпосылки перехода от планово-предупредительного технологического обслуживания устройств к технологии обслуживания «по состоянию».
5. Основными достоинствами микропроцессорных систем является их автономность и отсутствие необходимости стыкования с существующими системами путевой блокировки. Системы позволяют оборудовать любой переезд (с дежурным и без дежурного работника), независимо от имеющегося на нем стандартного оборудования. Аппаратура систем может размещаться как в транспортном модуле, так и в релейном шкафу.
6. Повышение контролепригодности микропроцессорных систем за счет применения диверситетных программ. **ИТ**

Список литературы

1. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев и др.; под ред. Вл. В. Сапожникова. — М.: Транспорт, 1977. — 288 с.
2. Щиголев С. А. Современные технические средства ЖАТ на службу железным дорогам [Текст] // Автоматика, телемеханика, информатика. — 2014. — № 12. — С. 38–40.
3. Соловьев А. П. Микропроцессорная переездная сигнализация с аппаратурой счета осей [Текст] / А. П. Соловьев, В. А. Чеблаков, А. Ф. Петров // Автоматика, телемеханика, информатика. — 2008. — № 6. — С. 2–9.
4. Федухин А. В. Радиомикропроцессорная система автоматической переездной сигнализации на железнодорожном транспорте // Математические машины и системы. — 2013. — № 1. — С. 157–162.
5. Федухин А. В. Новый подход к автоматизации переездов на ж.-д. транспорте / А. В. Федухин, В. А. Гладков, А. А. Муха // Математичні машини і системи. — 2011. — № 3. — С. 135–141.
6. Sheikh S. M., Md. Mahub H., Khondker J. R., Gazi M. R. A Radio Based Intelligent Railway Grade Crossing System to Avoid Collision // IJCSI International of Computer Science Issues. — Vol. 7. — Issue 6. — November 2010. — P. 139–143.
7. Муха А. А. Беспроводные микропроцессорные системы на железнодорожных переездах серии «Благовест» // Молодой ученый. — 2014. — № 11 (14). — С. 16–18.



**Петр Алексеевич
Козлов**

Pyotr A. Kozlov



**Константин Александрович
Чернышев**

Konstantin A. Chernyshev

Построение интеллектуальной информационной среды на железнодорожном транспорте

Building a smart information environment in railway transport

Аннотация

В статье излагаются принципы построения интеллектуальной информационной среды на железнодорожном транспорте, показано, что она должна включать в себя модели принятия решения. Предлагается ряд имитационных и оптимизационных моделей. Описываются имитационные системы, построенные с их помощью модели, приводятся результаты одной из оптимизационных моделей.

Ключевые слова: модель, динамическая транспортная задача, имитация, оптимизация, подвод порожняка, оборот локомотивов.

Summary

The article outlines the principles of building smart information environment in railway transport; it is shown that it should include decision-making models. A number of simulation and optimization models are proposed. Simulation systems, and models built with their help are described; outputs of one of the optimization models are shown.

Keywords: model, dynamic transportation problem, simulation, optimization, supply of empties, locomotives turnover.

Авторы Authors

Петр Алексеевич Козлов, д-р техн. наук, профессор, лауреат государственной премии, вице-президент Российской академии транспорта, президент научно-производственного холдинга «СТРАТЕГ», Москва; e-mail: Laureat_k@mail.ru | Константин Александрович Чернышев, аспирант, старший лаборант кафедры «УЭР и БТ» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва; e-mail: k.chernishev91@gmail.com

Pyotr Alekseevich Kozlov, DSc in Engineering, Professor, State Prize laureate, Vice-President of the Russian Academy of Transport, President of STRATEG R&D Group, Moscow; e-mail: Laureat_k@mail.ru | Konstantin Alexandrovich Chernyshev, PhD Student, Senior Laboratory Assistant of «Safety and Operations Management» Department, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow; e-mail: k.chernishev91@gmail.com

1. Проблема

На железнодорожном транспорте России создана мощная информационная среда, позволяющая вести мониторинг перевозочного процесса в реальном масштабе времени. Однако отдача от многих информационных систем, некорректно называемых АСУ, остается довольно низкой. На руководителей и оперативных работников обрушивается огромный, слабо упорядоченный поток информации, что затрудняет его эффективное использование.

В построении информационной среды на железнодорожном транспорте можно выделить *две стадии* [1]. Первая — это развитие информационного сопровождения производственных процессов, т. е. построение *автоматизированных справочных систем*; вторая — развитие *интеллектуального сопровождения производственных процессов*, т. е. создание систем поддержки принятия управленческих решений. В условиях структурного и технологического усложнения производственных процессов на железнодорожном транспорте все более очевидной становится необходимость перехода ко второй стадии.

В задачах научного обеспечения реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [2] говорится, что необходимо «проведение имитационной экспертизы инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры, ... создание имитационных систем, разработка динамических моделей транспортных потоков, ... математических моделей, обеспечивающих поддержку принятия решений по регулированию функционирования и управлению развитием транспортного комплекса».

Итак, интеллектуальные модели нужны для поддержки принятия решений, рассматривая укрупненно, в двух сферах: при развитии транспортной инфраструктуры и при оперативном управлении потоками и процессами. В первом случае нужны имитационные модели, так как необходимо учитывать множество трудно формализуемых факторов: разветвленную структуру и сложную технологию, случайные процессы и диспетчерское управление. Во втором — необходимы оптимизационные модели, так как приходится иметь дело с огромной многовариантностью.

Здесь описываются модели и системы моделирования, разработанные в научно-производственном холдинге «СТРАТЕГ» («Современные транспортные технологии государства»).

2. Имитационные модели

Для создания имитационных моделей на железнодорожном транспорте требуются развитые имитационные системы с подсистемами автоматизированного построения и интеллектуальной обработки результатов. Опыт

показывает, что подробное описание в модели структуры и технологии крупной железнодорожной станции представляет собой массив в 600–700 тысяч строк. Вручную это сделать практически невозможно.

Для моделирования различных объектов были созданы две имитационные системы — подробного моделирования станций ИСТРА и макро моделирования крупных узлов и полигонов ИМЕТРА.

2.1. Имитационная система ИСТРА

Имитационная система должна иметь не только подсистему собственно имитации, но и подсистемы автоматизации процесса построения модели и работы с нею (рис. 1).

Подсистема автоматизированного построения должна выполнять основную часть этой работы, освобождая человека. Функции подсистемы довольно сложные (рис. 2). Здесь не только отображение схемы путевого развития и технологического процесса, но и описание диспетчерского управления. И, естественно, должен быть развитый сервис для отладки модели и проведения экспериментов.

Подсистема считывает схему путевого развития, прокладывает все варианты выполнения технологических операций с записью участвующих элементов и их параметров, тем самым автоматически заполняя до 99% исходного массива.



Рис. 1. Структура имитационной системы ИСТРА

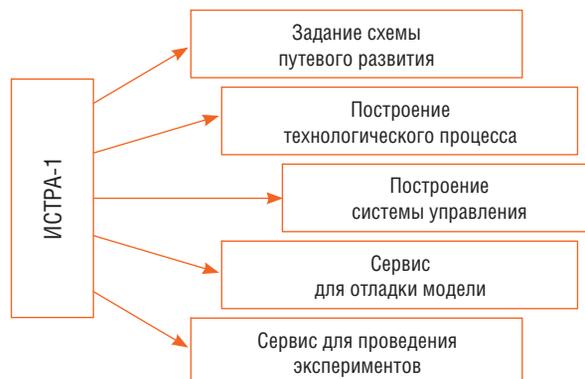


Рис. 2. Подсистема автоматизированного построения модели

Подсистема имитации осуществляет собственно моделирование и накапливает результаты (рис. 3). Она формирует динамическую очередь заявок с учетом времени поступления и приоритетов, имитирует выполнение очередной операции с выбором наилучшего варианта, фиксирует занятость стрелок, путей, локомотивов, бригад, грузовых фронтов. В конце работы подсистема формирует исходный массив результатов для последующей обработки.

Имитационная система должна иметь подсистему интеллектуальной обработки результатов (рис. 4).



Рис. 3. Подсистема имитации

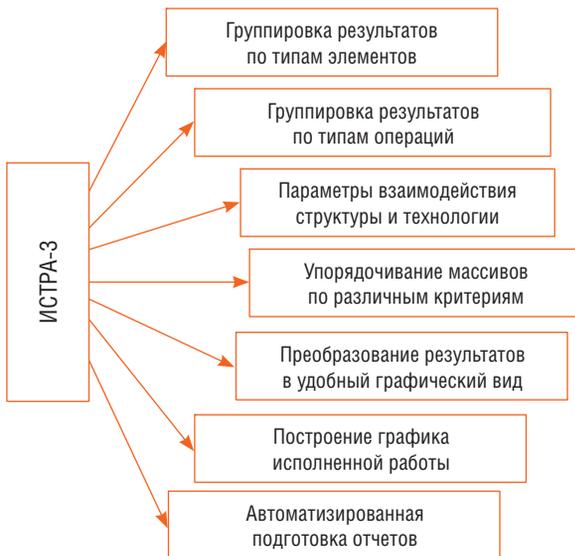


Рис. 4. Подсистема интеллектуальной обработки результатов

Модель, построенная с помощью системы ИСТРА, выдает исчерпывающий набор результатов — пропускную и перерабатывающую способность станции, «узкие места» структуры и технологии, характеристику работы всех участвующих элементов. Результаты выдаются в том числе и в образном виде, облегчающем их ана-

лиз. Так, на дисплей выводится активная схема путевого развития, где стрелки и пути расцветены в зависимости от уровня загрузки или вызываемых задержек. При подведении курсора высвечивается дополнительная информация (рис. 5).

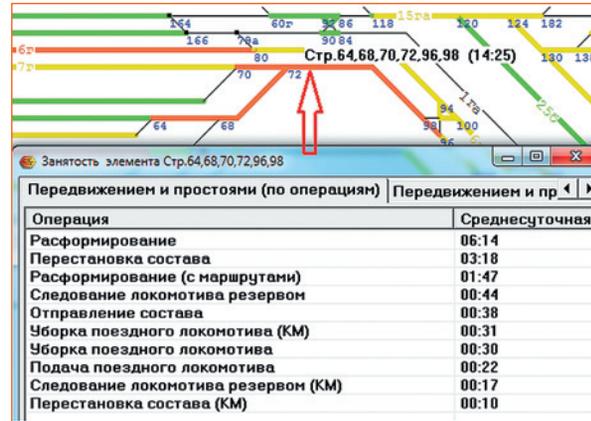


Рис. 5. Занятость структурных элементов с разложением по операциям

Модели имеют встроенные оптимизирующие процедуры, в том числе метод управления процессами по конечным ритмам. Если на сортировочной станции задать требуемый ритм накопления составов или на припортовой станции ритм погрузки судов, то модель выстроит технологические процессы по максимальному их обеспечению. Так что модели системы ИСТРА могут быть использованы для совершенствования оперативного управления на станциях. На станции Екатеринбург-сорт. внедрена на ее основе система автоматизированного планирования поездообразования. На основе модели сортировочной станции с большой грузовой работой построен интеллектуальный тренажер для станционных диспетчеров.

2.2. Система макро моделирования ИМЕТРА

Модели для расчета крупного узла или совершенствования управления на полигоне вынуждены быть укрупненными, их нельзя сделать вплоть до каждой стрелки. Однако в них должны учитываться пропускные способности горловин и емкости парков путей. Здесь необходимо применять макро моделирование, что позволяет реализовать система ИМЕТРА [3].

При отображении структуры применяется функциональный подход. В описании горловины участвуют не увязанные в схему стрелки, а «виртуальные каналы», число которых соответствует числу возможных параллельных передвижений (рис. 6).

Парк характеризует предельная функциональная емкость — такое заполнение физической вместимости

парка, при которой еще сохраняются его технологические возможности. Этот параметр определяется экспериментами на подробных моделях различных парков разного типа станций по предельно допустимому уровню задержек (рис. 7).

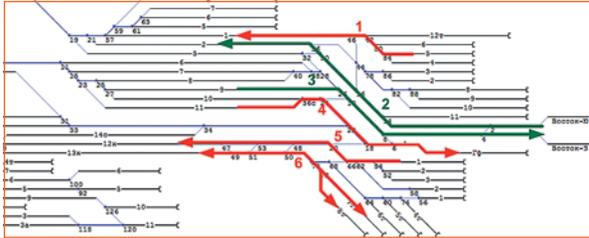


Рис. 6. Формирование виртуальных каналов в горловине

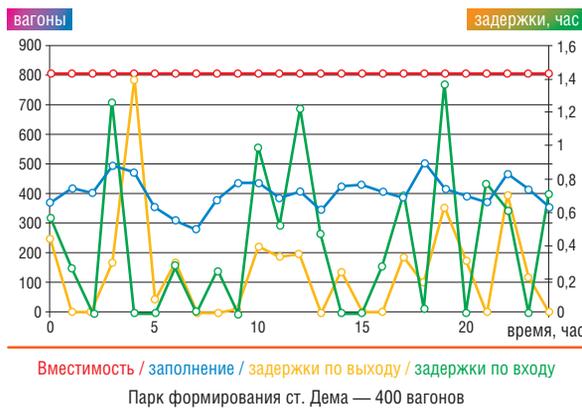


Рис. 7. Связь уровня заполнения парка и задержек из-за него

Расчеты на моделях станций показали, что такое описание структуры вполне допустимо, так как задержки из-за горловин и парков отличаются в микро- и в макромодели незначительно.

Система ИМЕТРА позволяет строить модели крупных узлов, вплоть до грузового московского, и проводить на них различные эксперименты. Например, можно оценить, насколько соответствует распределение мощностей сортировочных и грузовых станций распределению работы в узле и какие станции необходимо развивать в первую очередь. Модели выдают основные параметры работы станций, в том числе задержки из-за горловин и парков.

Макромодели можно использовать и в оперативном управлении. Например, модель полигона поможет диспетчеру находить эффективные решения по управлению потоками. Эта проблема сейчас обсуждается на конференциях и в публикациях [4]. Кстати, сейчас рассматривается возможность построения с помощью системы ИМЕТРА модели полигона от Урала до транспортного узла Усть-Луга для исследования организации тяжеловесного движения.

3. Оптимизационные модели

Предлагается целый класс динамических потоковых задач строгой оптимизации, которые имеют различное содержательное наполнение. Все модели имеют компьютерную реализацию. К ним относятся:

1. Динамическая транспортная задача с задержками. Сформулирована несколько десятилетий назад, на ее основе разработаны различные модификации — по управлению потоками порожняка, в стохастической постановке, как одно- и многопродуктовая. Модель выдает, в отличие от стандартной транспортной задачи линейного программирования, оптимальный динамический процесс, задача решается в условиях, когда ритмы появления порожняка и требуемого потребления не совпадают, к тому же время хода между пунктами также различное.
2. Метод динамического согласования. Модель выстраивает оптимальные ритмы отправления потоков при заданных ритмах потребления, например при организации согласованного подвода грузов к портам.
3. Модель оптимального оборота частных вагонов.
4. Модель оптимального оборота кольцевых маршрутов.
5. Модель расчета оптимального графика оборота поездных локомотивов.

Математическая задача с описанием компьютерной реализации и выдаваемых результатов потребовала бы слишком много места. Коснемся только одной из них — локомотивной. Строгая постановка будет приведена в отдельной публикации.

О результатах

Рассматривался полигон обращения ст. Дружинино — ст. Вековка. Там работает порядка 180 локомотивов. Модель выдает обобщенные результаты, в том числе задержки поездов (рис. 8), а также график работы каждого локомотива (рис. 9) и движения поездов.

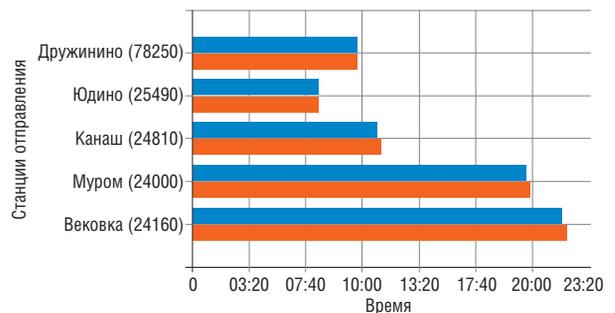


Рис. 8. Задержки поездов при определенном числе локомотивов

■ — расчетное время; ■ — среднее реальное время

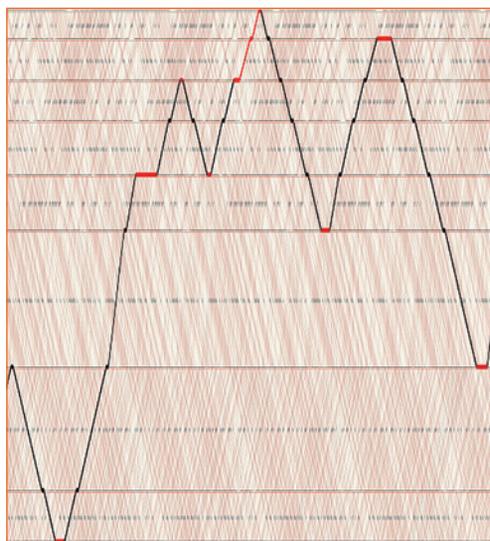


Рис. 9. График оборота локомотива:

— с поездом; — резервный пробег

Оптимизационные модели могут вставляться как оптимизирующие блоки в различные АРМы. В отдельных случаях необходимо использовать двухуровневые модели, вверху — оптимизационная для нахождения наилучшего варианта, внизу — имитационная для проверки его реализуемости [6]. **ИТ**

Список литературы

1. Козлов П. А. Интеллектуальная информационная среда — основа для создания современных технологий / П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. А. Тушин // Транспорт: наука, техника, управление. — 2011. — № 11. — С. 11–14.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года // Собр. законодательства РФ. — 29.12.2008. — № 52 (ч. 2).
3. Козлов П. А. Технология макромоделирования транспортных узлов / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. Ю. Пермикин, И. Г. Слободянюк // Транспорт Урала. — 2014. — № 3. — С. 3–6.
4. Сотников Е. А. Интеллектуализация оперативного управления перевозочным процессом на уровне региональной дирекции / Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 11. — С. 36–42.
5. Козлов П. А. Оптимизация структуры транспортных потоков в динамике при приоритете потребителей / П. А. Козлов, С. П. Миловидов // Экономика и математические методы. — Т. XVIII. — Вып. 3. — М., 1982. — С. 521–531.
6. Козлов П. А. Двухуровневая модель управления грузопотоками на железнодорожном транспорте / П. А. Козлов, А. С. Мишарин // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2002. — № 5. — С. 136–145.



**Валерий
Евгеньевич
Попов**

**Valeriy E.
Popov**



**Алексей
Юрьевич
Брылин**

**Aleksey Y.
Brylin**



**Александр
Григорьевич
Шабардин**

**Aleksandr G.
Shabardin**

Иновационные средства для профессиональной подготовки работников железнодорожного транспорта

Innovative tools for training of railway industry workers

Аннотация

Рассмотрены вопросы организации обучения машинистов локомотивов с использованием тренажеров различного уровня, а также совместного обучения работников смежных профессий с использованием тренажеров.

Ключевые слова: тренажерный комплекс, нештатные ситуации, программное обеспечение, моделирование среды, деловые игры.

Summary

The paper deals with organization of training of locomotive drivers using simulators of various levels, as well as joint training of workers of related professions using simulators.

Keywords: simulator complex, emergency situations, software, environment simulation, business games.

Авторы Authors

Валерий Евгеньевич Попов, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ, генеральный директор НПЦ «СПЕКТР», Екатеринбург; e-mail: rc-spectr@rc-spectr.ru | Алексей Юрьевич Брылин, заместитель генерального директора НПЦ «СПЕКТР», Екатеринбург; e-mail: rc-spectr@rc-spectr.ru | Александр Григорьевич Шабардин, НПЦ «СПЕКТР», Екатеринбург; e-mail: rc-spectr@rc-spectr.ru

Valeriy Evgenyevich Popov, DSc in Engineering, Professor, full member of the RAT, "SPECTR" SPC, Ekaterinburg; e-mail: rc-spectr@rc-spectr.ru | Aleksey Yuryevich Brylin, "SPECTR" SPC, Ekaterinburg; e-mail: rc-spectr@rc-spectr.ru | Aleksandr Grigoryevich Shabardin, "SPECTR" SPC, Ekaterinburg; e-mail: rc-spectr@rc-spectr.ru

В настоящее время для подготовки машинистов, поддержания профессионального уровня мастерства и квалификации в учебных центрах, дорожно-технических школах, локомотивных депо, профильных колледжах активно используют тренажерные комплексы по управлению локомотивом и поездом.

Основные задачи тренажеров для подготовки машинистов:

- обучение технологии управления локомотивом и поездом;
- текущий контроль знаний и навыков;
- отработка действий в нештатных ситуациях;
- повышение квалификации, присуждение, подтверждение классности;
- переподготовка кадров;
- восстановление навыков после длительных перерывов в работе и др.

Специальные функциональные возможности тренажеров:

- отработка энергосберегающих режимов вождения поездов;
- обучение вождению тяжеловесных поездов;
- изучение режимных карт;
- изучение работы приборов и систем безопасности;
- управление новым подвижным составом и др.

Наибольший интерес по своим функциональным возможностям представляют тренажеры кабинного типа [1, 2, 3]. Внешний вид кабины тренажера и расположение пульта машиниста приведены на рис. 1.

Структурная схема тренажера такого типа приведена на рис. 2. Важным элементом тренажерного комплекса является наличие динамической платформы, что позволяет оценить уровень продольных динамических сил в зависимости от управляющих действий машиниста, плана/профиля пути и т. д. [4].

За действиями обучаемого в процессе поездки можно наблюдать с использованием видеокамер, которые передают изображение обучаемого и поездной обстановки на проекционный экран в учебной аудитории и дают возможность объективной оценки действий обучаемо-

го, наблюдения курсантами (учащимися) за процессом ведения поезда и проводить разбор действий в процессе работы за тренажером. Это так называемое обучение на «чужих ошибках» с возможностью вовлечения в учебный процесс группы курсантов (рис. 3).

В комплектацию тренажера входит рабочее место машиниста-инструктора для формирования сценария поездки, оперативного вмешательства в учебный процесс и анализа управляющих действий обучаемого (машиниста) в реальном времени. В процессе учебной поездки машинист получает команды диспетчера, сообщения машинистов соседних поездов, сообщает о нештатных ситуациях в пути следования. Все голосовые сообщения (регламент переговоров) записываются для дальнейшего их контроля и анализа.

Функциональные возможности тренажеров для обучения машинистов локомотивов позволяют их использование в организации комплексного обучения в сочетании с тренажерами для других профессий. Знание специфики смежных специальностей и умение взаимодействовать с другими участниками перевозочного процесса (работа в команде) является одной из важнейших составляющих профессиональной компетенции работников железнодорожного транспорта. Умение четко воспринимать и выполнять команды, выстраивать перевозочный процесс в строгом соответствии с требованиями нормативных документов, обеспечивать непрерывный контроль внимания в постоянно меняющейся обстановке — примеры задач, которые решаются при совместном обучении.

Для организации совместного обучения работников смежных профессий используется учебный комплекс «ТОРВЕСТ®-ПЕРСОНАЛ» [5]. Рабочие места дежурного по станции, составителя поездов, машинистов локомотивов, осмотрщиков вагонов объединены в единую систему, управление которой осуществляется с рабочего места преподавателя — руководителя деловой игры. С рабочего места дежурного по станции задается маршрут следования, формируется задание для машиниста маневрового локомотива, выдаются команды



Рис. 1. Внешний и внутренний вид тренажера кабинного типа

Управление процессами перевозок

для осмотра поездов. Для контроля движения на станции рабочее место дежурного оборудовано мониторами, обеспечивающими круговой обзор. С помощью специализированного программного обеспечения, сенсорных экранов составитель поездов, осмотрщик вагонов, приемосдатчик «перемещаются» вдоль составов.

На базе ранее созданного учебного комплекса «ТОРВЕСТ®-ПЕРСОНАЛ» в центре разработана деловая игра с расширенными функциональными возможностями «ТОРВЕСТ®-ПЕРСОНАЛ М» (рис. 4). Увеличено количество рабочих мест участников игры, за счет увеличения количества станций (участков), объединенных «об-

щим миром», в котором выполняются различные виды работ: маневровая, поездная, осмотр вагонов, работы составителя, работы ДСП и т. д. В перспективе возможно расширение комплекса за счет включения рабочих мест товарного кассира и приемосдатчика.

Организация деловых игр с использованием учебных комплексов «ТОРВЕСТ®-ПЕРСОНАЛ» при привлечении других участников перевозочного процесса позволит:

- проверить знания технологии выполнения перевозочного процесса в рамках закрепленных ролей деловой игры в условиях «живого мира» — смоделированной работы реальных станций;



Рис. 2. Структурная схема тренажера кабинного типа

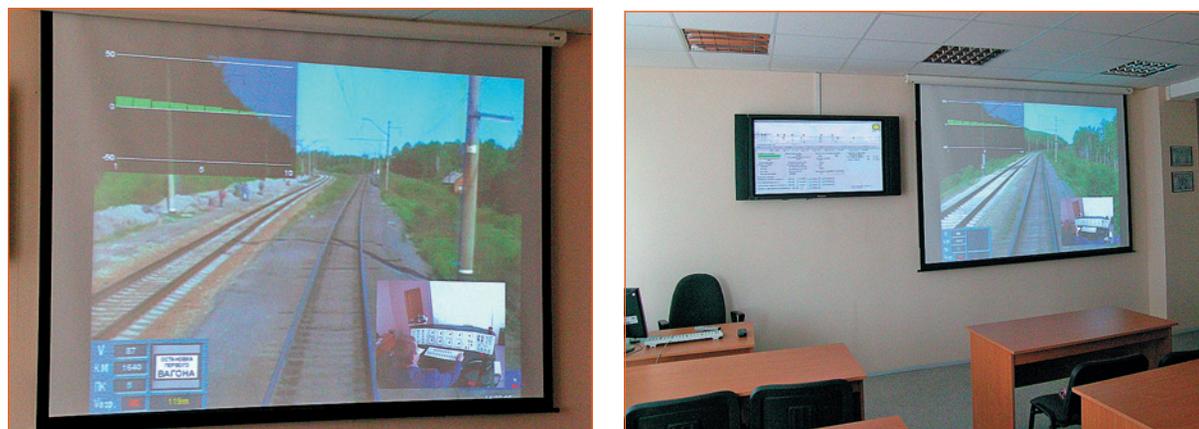


Рис. 3. Экраны в учебном классе: изображение поездной обстановки, рабочего места обучаемого, панели

- отработать поведение участников в нестандартных ситуациях;
- проконтролировать соблюдение регламента переговоров;
- определить степень контроля и владения ситуацией каждым участником процесса;
- оценить психологическую напряженность и состояние участников, возможность их совместной работы.

Использование тренажерных комплексов для машинистов в организации деловых игр с привлечени-

ем специалистов разных профессий, задействованных в перевозочном процессе, позволит перевести организацию профессиональной подготовки железнодорожников на новый качественный уровень. Такой комплексный подход значительно повышает уровень использования дорогостоящих высокоинтеллектуальных тренажеров. Результатом такой подготовки является обеспечение высокого уровня профессиональных навыков и знаний работниками, обеспечение безопасности движения поездов, предоставление качественных услуг. **ИТ**

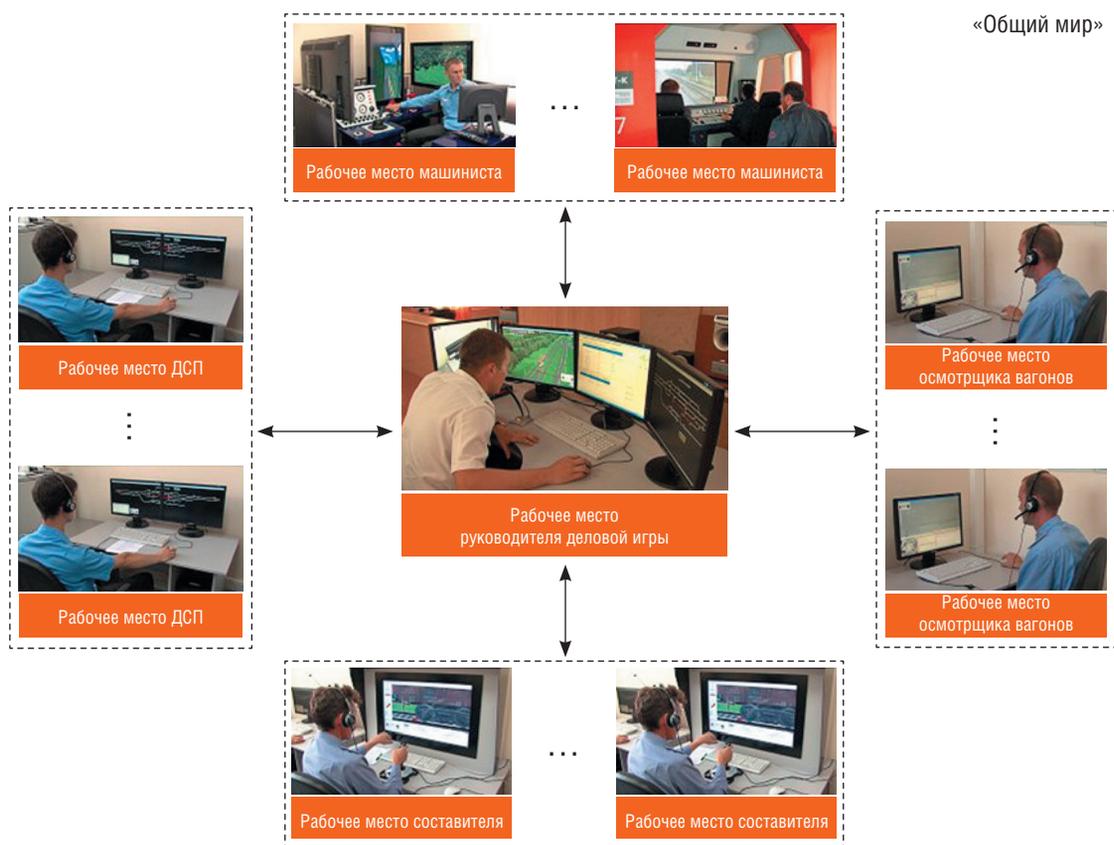


Рис. 4. Деловая игра с расширенными функциональными возможностями

Список литературы

1. Пат. 2395405 Российская Федерация, МПК В 60 С 9/00. Многотиповой тренажерный комплекс / Попов В. Е., Брылин А. Ю.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПЦ «СПЕКТР»; заявл. 11.01.09; опубл. 27.07.10.
2. Пат. 89268 Российская Федерация, МПК G 09 В 9/04. Многотиповой тренажерный комплекс / Попов В. Е., Брылин А. Ю.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПЦ «СПЕКТР»; опубл. 27.11.09.
3. Пат. 94744 Российская Федерация. Многотиповой тренажерный комплекс для машинистов и водителей железнодорожного подвижного состава / Попов В. Е., Брылин А. Ю.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПЦ «СПЕКТР»; опубл. 27.05.10.
4. Пат. 106421 Российская Федерация, МПК G 09 В. Динамическая платформа тренажерного комплекса / Попов В. Е., Брылин А. Ю.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПЦ «СПЕКТР»; опубл. 10.07.11.
5. Пат. 93563 Российская Федерация, МПК G 09 В. Многофункциональный программно-аппаратный тренажерный комплекс для обучения персонала железнодорожного транспорта «ТОРВЕСТ-ПЕРСОНАЛ» / Попов В. Е., Брылин А. Ю.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПЦ «СПЕКТР»; опубл. 27.04.10.



**Олег
Юрьевич
Моисеев**

**Oleg Y.
Moiseev**



**Дмитрий
Николаевич
Парышев**

**Dmitriy N.
Paryshev**



**Игорь
Георгиевич
Овчинников**

**Igor G.
Ovchinnikov**



**Владимир
Иванович
Копырин**

**Vladimir I.
Kopyrin**



**Валерий
Васильевич
Харин**

**Valeriy V.
Kharin**



**Лев
Сергеевич
Яковлев**

**Lev S.
Yakovlev**

Применение металлических гофрированных конструкций в малом мостостроении

Use of corrugated metal structures in small bridge construction

Аннотация

Одним из самых слабых звеньев в мостах является зона сопряжения дорожного полотна с мостовым пролетом — деформационный шов. В статье показано, что применение металлических гофрированных конструкций в качестве малых мостов позволяет исключить деформационные швы. При этом мостовой переход следует рассматривать как сложную структуру — малую мостовую геотехническую систему.

Ключевые слова: гофрированная труба, гребень, водопропускное сооружение, подпорная стена, грунтовая обойма, стальная оболочка, грунт засыпки.

Summary

One of the weakest links in bridges is the area of junction between roadway and a bridge span - expansion joint. The article shows that the use of corrugated metal structures as small bridges allows to eliminate expansion joints. With that, bridge crossing should be considered as a complex structure, a small bridge geotechnical system.

Keywords: corrugated pipe, flange, culvert, retaining wall, ground clip, steel shell, backfill soil.

Авторы Authors

Олег Юрьевич Моисеев, доктор транспорта, генеральный директор ООО «Мостпроект», Курган; e-mail: mostproekt@kurganstalmost.ru | **Дмитрий Николаевич Парышев**, действительный член РАТ, генеральный директор ЗАО «Курганстальмост», Курган; e-mail: contact@kurganstalmost.ru | **Игорь Георгиевич Овчинников**, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина, Саратов; e-mail: bridgesar@mail.ru | **Владимир Иванович Копырин**, канд. техн. наук, технический директор ЗАО «Курганстальмост», Курган; e-mail: contact@kurganstalmost.ru | **Валерий Васильевич Харин**, действительный член РАТ, заместитель директора по научной работе и инновационному развитию Курганского института железнодорожного транспорта — филиала ФГБОУ ВПО УрГУПС, Курган; e-mail: uralakademia@mail.ru | **Лев Сергеевич Яковлев**, технический директор ЗАО «Гофросталь», Россия; e-mail: yakovlev@gofrostal.ru

Oleg Yuryevich Moiseev, Director General, Mostproekt LLC, Kurgan; e-mail: mostproekt@kurganstalmost.ru | **Dmitriy Nikolaevich Paryshev**, full member of the RAT, General Director, Kurganstalmost CJSC, Kurgan; e-mail: contact@kurganstalmost.ru | **Igor Georgievich Ovchinnikov**, DSc in Engineering, RAT Academician, Professor, "Transport Construction" Department, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Professor, "Bridges and Tunnels" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT); e-mail: bridgesar@mail.ru | **Vladimir Ivanovich Kopyrin**, PhD in Engineering, Technical Director, Kurganstalmost CJSC Kurgan; e-mail: contact@kurganstalmost.ru | **Valeriy Vasilyevich Kharin**, PhD in Engineering, full member of the RAT, Deputy Director for Science and Innovative Development, Kurgan Institute of Railway Transport, a branch of FSBEI HPE USURT, Kurgan; e-mail: uralakademia@mail.ru | **Lev Sergeevich Yakovlev**, Technical Director, Gofrostal CJSC, Russia; e-mail: yakovlev@gofrostal.ru

Промышленное развитие России в конце XIX в. потребовало создания новой транспортной системы — сети железных дорог. Дороги строились в южном направлении — для связи промышленных центров и на восток — для развития и освоения новых территорий.

Объемы строительства были весьма велики. В том числе строилось большое количество мостов и труб для переходов через водотоки. Масштаб строительства потребовал внедрения новых технологических процессов, соответствующих высоким темпам строительства. Массовое строительство малых искусственных сооружений выполнялось из дерева и камня. На ответственных участках магистральных дорог трубы строились из тесаного камня, как правило, овоидального сечения. Возведение каменной трубы — это долгий трудоемкий процесс, поэтому постоянно шел поиск более дешевого и технологичного решения для строительства водопропускных труб.

В 1875 г. русский инженер Петербургского металлического завода П. А. Нестеров предложил новую конструкцию трубы, состоящую из колец, изготовленных из волнистого листового железа. Изобретение было основано на давно известном принципе, что если плоский лист сложить в гармошку, его жесткость и прочность возрастут многократно. Поэтому в основе технологии лежит гофрировка листа для придания ему волнистой формы; как правило, в поперечном сечении это синусоидальная форма.

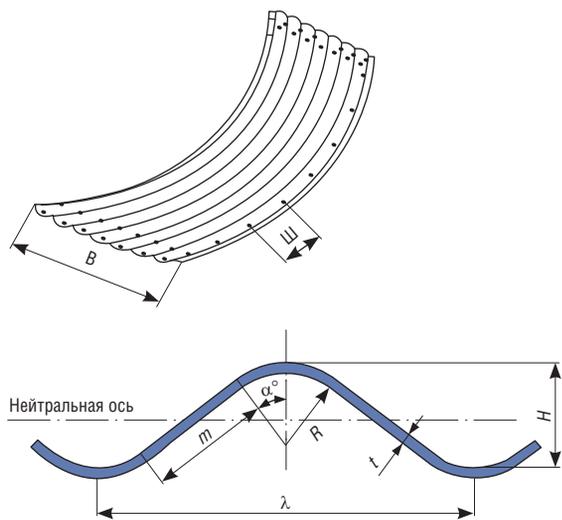


Рис. 1. Поперечное сечение гофрированного листа

Элемент такой штампованной заготовки в дальнейшем изгибался по заданному радиусу с помощью специальных станков. Для осуществления монтажа элементов в последних устраивались отверстия для соединения их заклепками или болтами. Элементы первых труб соединялись заклепками, однако в дальней-

шем проще и удобнее оказалось использовать болты и шайбы со сферической опорной поверхностью для более плотного их прилегания к листу.

Отдельные элементы изготавливались на заводе, затем собирались на площадке строительства в кольца или звенья, которые, в свою очередь, соединялись между собой, образуя тело трубы. Вначале это были трубы небольшого диаметра — до метра. После применения и использования таких конструкций, учитывая их надежность, стало возможным изготовление труб с увеличенным диаметром — до 2 м.

К 1913 г. было построено большое количество таких труб общей длиной более 62 км (более 5 тысяч сооружений). Некоторые из них эксплуатируются до сих пор. Например, в Республике Казахстан, Актюбинская область, на железнодорожной линии Кандагаш — Арысь сохранилось несколько водопропускных труб из волнистого железа, введенных в эксплуатацию в 1903 г. Отверстие труб — от 0,65 до 1,25 м, длина более 70 м. Отмечается, что конструкции проржавели, имеется сквозная перфорация, однако эти трубы эксплуатируются до сих пор без капитального ремонта.



Рис. 2. Водопропускная труба на железнодорожной линии Кандагаш — Арысь, Актюбинская область

Подобные сооружения сохранились и на некоторых участках железных дорог на южном направлении.

Увеличение отверстий труб потребовало большей прочности конструкций, появился более глубокий гофр, обеспечивающий необходимую устойчивость и прочность при увеличенных нагрузках.

К настоящему времени сложилась международная стандартная линейка параметров гофролиста, где основными показателями являются расстояние между гребнями волны и высота гребня. Наиболее распространены следующие параметры волны для многолистовых конструкций: (гофры 152,4×34 мм высоты; 152,4×50,8 мм; 381×140 мм (супергофр)). Такие значения обусловлены традиционным обозначением в британской системе мер и весов. Указанные в миллиметрах размеры соответствуют размерам в дюймах.

Существует также более мелкий гофр, который применяется для изготовления гофрированных цельновитых труб (ГЦВТ). Эти трубы изготавливаются из стального рулонного оцинкованного проката с образованием гофра и последующей спиральной навивкой гофрированного листа и фальцевым соединением кромок. Звенья труб имеют длину 6–9 м и соединяются специальными хомутами. Диаметр их, как правило, не превышает 3 м.

Следует отметить, что в США применение гофрированных труб началось с 1893 г. Однако в отличие от России темпы внедрения оказались существенно выше. Были созданы акционерные общества, которые производили гофрированные трубы. Проводились испытания конструкций, совершенствовалась методика расчета. Также гофрированные трубы успешно применялись в Европе, Канаде, Японии, Австралии и в других промышленно развитых странах.

К сожалению, в России и теоретические исследования, и строительство водопропускных сооружений с использованием гофрированных металлических труб практически были прекращены с началом Первой мировой войны. Только в 60–70-е гг. вновь возник интерес к конструкциям из МГК. Этому способствовало строительство БАМа.

Способы и методы расчета таких сооружений с использованием опыта строительства в климатической зоне БАМа, а также с использованием зарубежного опыта были положены в основу фундаментального документа в 1978 г. — инструкции ВСН 176-78.

Несмотря на суровые климатические условия Восточной Сибири и отсутствие достаточного опыта возведения таких сооружений, объем производства металлических гофрированных труб увеличивался. Для обычных условий «Ленгипротрансмост» разработал типовой проект металлических гофрированных труб отверстием 2,5–3 м, а для условий БАМа — рабочие чертежи таких труб отверстием 1,5 и 2 м. Оба проекта были утверждены МПС и Минтрансстроем СССР. Эта унификация конструкций определила более широкую область применения МГК и дала толчок к их повсеместному внедрению.



Рис. 3. ГЦВТ из мелкого гофра

Водопропускные трубы строились не только на железных, но и на автомобильных дорогах в зоне Байкало-Амурской магистрали. Затем этот опыт был использован при реконструкции искусственных сооружений на автодороге Якутск — Нерюнгри — Тында, а также на других автодорогах Дальнего Востока.

Широкое распространение в 90-х гг. получили МГК зарубежного производства из Канады и Европы. Это подтолкнуло российских промышленников ускорить процесс создания отечественной производственной базы. Были созданы новые предприятия — производители МГК в Санкт-Петербурге, Красноярском крае, Московской области.

Одновременно с этим ведущие транспортные институты России обратили свое внимание на необходимость исследований в этой области, совершенствования расчетных методик и проектирования сооружений в целом.

Институтом ОАО «ЦНИИС» на базе собственных разработок были выпущены рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон) ОДМ 218.2.001–2009. Практически одновременно в 2007 году ОАО «РЖД» были разработаны «Технические условия по применению металлических гофрированных конструкций».

ФГУП «СоюздорНИИ» были разработаны методические рекомендации по применению металлических труб большого диаметра в условиях наледообразования и многолетнемерзлых грунтов (для опытно-экспериментального строительства). Институтом ОАО «Трансмост» была разработана серия типовых проектов для строительства металлических гофрированных труб большого диаметра для различных климатических зон страны.

Эти правовые и технические документы дали возможность практически повсеместного устройства таких труб на дорогах различного назначения и категорий, включая обустройство нефтегазовых и горнорудных месторождений.



Рис. 4. Тоннель для горнолыжного курорта. Плато Роза Хутор

Параллельно с этими работами местные институты включались в процесс индивидуального проектирования МГК.

Например, для строительства подъездного железнодорожного пути к Эльгинскому месторождению углей от ст. Улак до ст. Эльга предусмотренные проектом железобетонные мосты в значительной части были заменены на водопропускные сооружения из МГК. Проектные работы выполнены институтом «Востсибтранспроект» и проектным отделом ЗАО «Гофросталь» на основе научных исследований поведения этих конструкций в зоне многолетнемерзлых грунтов. Исследования выполнены специалистами ОАО «ЦНИИС».

Всего в период 1990–2000-х гг. общее количество построенных МГК в России составило несколько тысяч.

Следующим шагом в развитии МГК было применение незамкнутых очертаний конструкций (арочного типа). В дальнейшем это позволило перейти к новому типу сооружений — малым мостам.

Проектирование искусственных сооружений с большими отверстиями стало возможным в результате использования глубокого гофра с размером волны 381×140 мм (высота). Впервые в России этот вид гофра был освоен ЗАО «Гофросталь» в 2010 г.

Продолжая традиции русских путейцев, руководитель ЗАО «Гофросталь» С. Е. Казаков, понимая важное значение МГК в развитии малого мостостроения, приложил большие усилия и немало средств для обеспечения производства этой продукции в промышленном масштабе.

В числе первых в 2010 г. российские конструкции из супергофра, произведенные ЗАО «Гофросталь», были применены при реконструкции автомобильной дороги М-7 «Волга» — от Москвы до Уфы, на участке км 941 — км 957 в республике Татарстан для строительства путепровода пролетом 12 м. Позже было построено несколько аналогичных путепроводов на федеральной автодороге Казань — Оренбург, на участке платной автомагистрали Алексеевское — Альметьевск.

В Калининградской области на обходе г. Калининграда был построен путепровод пролетом 12 м.

На Кавказе на автодороге Кисловодск — Долина Нарзанов — Эльбрус через реку Харбас был построен арочный мост пролетом 10 м. Отличительной особенностью является высота насыпи (более 30 м) и высокая сейсмичность (9 баллов) участка строительства.

В Восточной Сибири при обустройстве нефтегазового Юрубчено-Тохомского месторождения на автодороге через р. М. Юрубчен было построено двухочковое водопропускное сооружение в виде труб эллиптического очертания. Размер каждого отверстия 8×9 м. Отличительной особенностью сооружения является расположение его в зоне многолетнемерзлых грунтов. Проект выполнен с учетом специальных мероприятий, с устройством термоизоляционной подушки.



Рис. 5. Путепровод на угледобывающем предприятии «Богатырь» (Казахстан, г. Экибастуз)



Рис. 6. Подштабельная галерея склада дробленой руды



Рис. 7. Мостовой переход в через р. Липовку в Свердловской области

Обоснование применения конструкций и проектная документация разрабатывалась проектным отделом ЗАО «Гофросталь».

Конструкции применялись в разных климатических зонах и для различных категорий сложности транспортных объектов. Следует отметить, что конструкция подобных сооружений, способы расчета, технология

Эксплуатация автомобильного транспорта

монтажа требуют дополнения и уточнения, т. е. корректировки разработанных рекомендательных документов. Возможности, которые дают такие конструкции, намного шире, чем в существующих типовых проектах. Поэтому практическая разработка таких проектов выполняется силами региональных проектных институтов для каждого объекта.

Приобретенный опыт проектирования позволил в дальнейшем расширить географию применения и функциональные возможности МГК.

Только за три года с момента запуска линии производства супергофра компанией «Гофросталь» было произведено конструкций для более 60 сооружений в разных регионах России и ближнего зарубежья.

В силу универсальности применяемых материалов — стальных конструкций и местного грунта — применение подобных структур возможно в любой отрасли, где можно использовать принцип совместной работы стальной оболочки и грунта засыпки. Поэтому можно смело прогнозировать, что сфера применения гофрированных структур будет неуклонно расширяться.

Применение гофрированного листа с глубоким гофром высотой 140 мм и более, использование способов усиления для пониженных арок путем постановки двойных листов в местах максимальных моментов, использование армирования для устройства грунтовой обой-

мы позволяют проектировать практически все малые мосты и часть средних мостов, включая мосты в невысоких насыпях.

К специальным видам сооружений из МГК следует отнести подпорные стены. В отличие от многослойных гофрированных конструкций синусоидального профиля, которые имеют очертания, близкие к круговому, элементы подпорных стен в виде панелей корытного профиля работают как балки. Высота такой балки (180 мм) позволяет воспринимать значительные моменты, возникающие при нагрузке на подпорную стену.

Конструкция представляет собой коробчатую систему из передней и задней стенок, соединенных между собой диафрагмами. Стальные трехметровые элементы стен корытного профиля размером 330x180 мм соединяются между собой болтами при помощи стоек. Готовая конструкция засыпается грунтом, уплотняется. В целом сооружение работает как классическая подпорная стена гравитационного типа.

Стальная коробчатая конструкция является гибкой структурой, что позволяет ей перераспределять нагрузки между элементами, приспосабливаясь к давлению грунта, не образуя трещин и недопустимых деформаций. Конструкция весьма устойчива к воздействию сейсмических нагрузок. Высота таких стен может достигать 12–15 м. **ИГ**

Список литературы

1. Овчинников И. Г. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 1. Обзор и анализ зарубежных статических экспериментальных исследований / И. Г. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». — 2013. — № 6 (19) [Электронный ресурс]. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN613.pdf>
2. Беляев В. С. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 2. Обзор отечественных экспериментальных исследований. Сопоставление результатов эксперимента с результатами расчетов по разным методикам / В. С. Беляев [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». — 2013. — № 6 (19) [Электронный ресурс]. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf>
3. Беляев В. С. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 3. Отечественные экспериментальные исследования. Динамические испытания / В. С. Беляев [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 1 (20) [Электронный ресурс]. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf>
4. Осокин И. А. Об одном способе определения оптимальной формы гофрирования листов для металлических гофрированных конструкций // Материалы международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (25–27 апреля 2013 г.). — Пермь: ПНИПУ, 2013. — С. 361–368.
5. Осокин И. А., Пермикин А. С. О проблемах эксплуатации гофрированных водопропускных труб под насыпями автомобильных и железных дорог Уральского региона // Материалы международной конференции «Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах» (1–2 березня 2012 року). — Киев: НТУ, 2012. — С. 78–83.



**Игорь
Георгиевич
Овчинников**
Igor G.
Ovchinnikov



**Илья
Игоревич
Овчинников**
Ilya I.
Ovchinnikov



**Артур
Барменович
Караханян**
Artur B.
Karakhanyan

Перспективные направления проектирования на примере современных пешеходных мостов

Promising areas of design by the example of modern pedestrian bridges

Аннотация

На примере пешеходных мостов рассматриваются современные тенденции в развитии мостостроения. К ним относятся: использование бионического подхода к формообразованию мостовых конструкций, современные методы расчетного анализа и моделирования поведения конструкций, позволяющие рассчитывать конструкции сложной пространственной формы, применение современных высокопрочных материалов, экологически рациональное проектирование, а также использование принципа самонапряженных конструкций — тенсегрити. В качестве примеров рассмотрены несколько проектов мостов, в которых реализованы данные тенденции.

Ключевые слова: пешеходные мосты, бионический подход, уникальные мосты, экологическое рациональное проектирование, самонапряженные конструкции.

Summary

Modern trends in bridge construction are analyzed by the example of pedestrian bridges. These trends include: the use of bionic approach to bridge structure shaping, modern methods of computational analysis and modeling of structure behavior for the design of complex spatial shapes, the use of modern high-strength materials, sustainable design, and the use of the principle of self-tensioning structure — tensegrity. Several bridge designs which implemented these trends are considered as examples.

Keywords: pedestrian bridges, bionic approach, unique bridges, sustainable design, self-tensioning structures.

Авторы Authors

Игорь Георгиевич Овчинников, д-р техн. наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина, профессор кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); e-mail: bridgesar@mail.ru | **Илья Игоревич Овчинников**, канд. техн. наук, член РОНКТД, советник РАТ, доцент кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина, доцент кафедры «Транспортное строительство» Сочинского филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета; e-mail: bridgeart@mail.ru | **Артур Барменович Караханян**, аспирант кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина; e-mail: bridge_64@mail.ru

Igor Georgievich Ovchinnikov, DSc in Engineering, RAT Academician, Professor, "Transport Construction" Department, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Professor, "Bridges and Tunnels" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT); e-mail: bridgesar@mail.ru | **Ilya Igorevich Ovchinnikov**, PhD in Engineering, Member of RSNTTD, RAT Advisor, Associate Professor of "Transport Construction" Department, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Associate Professor of "Transport Construction" Department, Sochi Branch of the Moscow State Automobile and Road Technical University; e-mail: bridgeart@mail.ru | **Artur Barmenovich Karakhanyan**, PhD Student, "Transport Construction" Department, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin; e-mail: bridge_64@mail.ru

Совершенствование технологии мостостроения достигалось сразу на нескольких фронтах. Внедрение инновационных решений в мостостроительной индустрии, достижения в теории мостостроительных конструкций, технический прогресс в сфере оборудования для строительства мостов сыграли свою роль в развитии технологии мостостроения. Но при этом нельзя не отметить, что строительство современных мостов во многом стало возможным благодаря совершенствованию строительных материалов. Человек по своей природе стремится к совершенствованию и внедрению все новых, инновационных решений во всех сферах деятельности, в том числе в мостостроении. Каждый новый полученный и ставший доступным строительный материал инженеры стараются использовать для строительства мостовых сооружений. Основные материалы, которые использовались и продолжают использоваться при строительстве мостов, — это дерево, камень, бетон и сталь. В последнее время появились и начинают пока осторожно, но постепенно все более активно применяться для сооружения мостов полимерные и композиционные материалы [1].

Анализ работы конструктивных элементов мостовых сооружений показывает, что все они предназначены для передачи трех основных типов усилий — продольных (осевых), поперечных (перерезывающих) и изгибающих (или крутящих) моментов. До недавних пор все существующие мостовые сооружения можно было разделить на четыре основных типа: балочные (куда по характеру работы относятся и фермы), арочные, вантовые и висячие [2]. Существовали еще и комбинированные мосты, в которых имело место сочетание двух и более видов статических схем, например, балочно-вантовые мосты, вантовые мосты с пилоном арочного типа и другие.

Однако в последнее время в связи с интенсивным развитием компьютерных технологий расчета и моделирования поведения, позволяющих проанализировать игру сил в мостовых конструкциях с учетом пространственного характера их работы, в связи с появлением новых сверхвысокопрочных материалов, а также в связи с активной работой архитекторов в сфере создания новых форм мостовых систем, появились и новые типы мостовых сооружений: оболочечные мостовые конструкции, многоэлементные пространственные мостовые конструкции, управляемые мостовые конструкции [3] и так далее.

Принимая во внимание то обстоятельство, что в России в силу ряда объективных и субъективных причин при проектировании мостовых сооружений предпочтение отдавалось типовым разработкам и потому в нашей стране не получили достаточно широкого распространения мосты уникальных форм и технических решений, в данной статье рассмотрим современные мировые тенденции в проектировании и реализации мосто-

вых сооружений. Причем предпочтение будем отдавать уникальным техническим решениям и, в силу большого объема имеющейся информации, ограничимся пешеходными мостами.

В последнее время довольно широкое применение при разработке новых конструктивных форм мостовых сооружений находит так называемый бионический подход, опирающийся на концепцию применения идей природы для решения проблем мостостроения. Мостостроительное искусство сегодня все еще нуждается в значительных улучшениях в сфере проектирования, строительства, мониторинга и так далее. Применение бионического подхода может предоставить некоторые решения этих проблем. Правда, следует заметить, что бионический подход в подавляющем большинстве случаев используется не столько инженерами, сколько архитекторами и сводится к поиску новых архитектурных форм мостовых сооружений [4].

В Сингапуре в 2010 г. был создан уникальный пешеходный мост **Helix Bridge**, своим видом напоминающий спираль ДНК (рис. 1). Этот проект был лучшим из 36 проектов на международном конкурсе. Конструкцию моста образуют две легкие спиралевидные закручивающиеся конструкции, длина моста 280 м, а масса достигает 1700 т.



Рис. 1. Пешеходный мост Helix Bridge

Центральной частью мост примыкает к автомобильному мосту, где они соединены пешеходной площадкой. Кроме того, на определенном расстоянии на мосту расположены смотровые площадки, откуда можно наслаждаться видами на реку.

Перед инженерами и архитекторами стояла непростая задача, затрудненная наличием уже существующего автодорожного моста. Таким образом, новое строение должно было связать два объекта в единый ансамбль. Архитекторы дополнили прямолинейный бетонный «вектор» автострады визуальной легкой и воздушной конструкцией, изгибающейся по дуге и как бы желающей коснуться своего брутального урбанистического соседа. Внутреннюю спираль стальной структуры

украшили также стеклянные панели и листы перфорированной стали, выполняющие защитную антиклиматическую функцию. Ночью на мосту зажигаются синие светодиодные лампы, которые подчеркивают взаимосвязь двух переплетающихся спиралей и соединяющих их канатов. Дополнительными красными и зелеными огнями подсвечиваются буквы C, G, A, T, которые означают четыре аминокислоты цепочки ДНК — цитозин, гуанин, аденин и тимин. Для Китая Нью-Йоркской студией WXY Architecture также разработан проект витого ДНК-моста — **Nanhe River Landscape Bridge** (рис. 2).

Мост представляет собой две изогнутые красные полосы, очень напоминающие ДНК.

Мост состоит из двух отдельных мостов, соединяющихся в некоторых местах. А гибкая структура моста символизирует течение реки.

Оригинальный дизайн, с одной стороны, сочетает лучшие архитектурные традиции, а с другой — выглядит достаточно современно и неожиданно. Похожий на нить ДНК и любимого китайцами мифического дракона одновременно, проект моста использует богатую культурную историю Китая и учитывает идеи бионического подхода к конструированию.

Мост Питон (**Pythonbrug**) в Амстердаме построен в 2001 г., по форме похож на змею, такой же извивающийся и гибкий, но вот цвет моста красный, хотя питоны обычно зеленые (рис. 3). Мост связывает полуостров Споренбург с островом Борнео. Его длина почти 100 м. Мост украшен 2000 лампочек, что делает его особенно красивым в ночное время. В качестве основного материала использована сталь — она легкая и пластичная, что позволяет создавать из нее причудливые конструкции.

Змеевидный (сетчатый) мост (**Webb Bridge**) построен в 2003 г. в австралийском Мельбурне. Название перекликается со словом *web*, которое переводится с английского как «паутина» или «сеть». Змеевидная конструкция соединяет два района: Доклендс на северном берегу реки Ярры и новый строящийся жилой комплекс Yarra's Edge на южном берегу. Мост предназначен для пешеходов и велосипедистов, а также оборудован пандусами и перилами для инвалидов (рис. 4).

Арочный пешеходный мост-бабочка (**Butterfly Bridge**) переброшен через реку Уз в английском городе Бедфорде в 1997 г. (рис. 5). Арки наклонены подобно крыльям бабочки, что и дало название мосту.

Максимальный размах двух стальных арок составляет 32 м, что создает впечатление объемности моста и открытости его прогожей части небу. Стоимость моста 375 тысяч фунтов стерлингов. Мост способствовал возрождению речной набережной и стал новой достопримечательностью города.

Проект многофункционального пешеходного моста «Тюльпан» (**The tulip**) в Амстердаме. Предполагается, что конструкция будет состоять из центральной ча-

сти, где во время концертов сможет находиться сцена, а также из шести больших лепестков. Два противоположных лепестка будут играть роль моста, связывающего берега между собой. Остальные лепестки будут выполнять функции театра, музея, клуба, бара, пляжа, площадки для проведения фестиваля и др. (рис. 6). Для этого тюльпан на воде будет менять положение своих лепестков в зависимости от времени суток и ситуации, создавая различные конфигурации для того или иного случая (пляжная зона, концертная площадка и т. д.). Ночью тюльпан будет красиво подсвечиваться, благодаря чему станет еще и городским фонарем, причем освещение будет меняться в зависимости от события.



Рис. 2. Nanhe River Landscape Bridge



Рис. 3. Красный мост-питон



Рис. 4. Вход на змеевидный мост



Рис. 5. Мост-бабочка с двумя наклонными арками



Рис. 6. Мост-тюльпан через реку

Мост Мира — вантовый пешеходный мост через р. Кура в Тбилиси (рис. 7). Мост своим обликом напоминает изящно изогнувшееся морское животное. По конструкции это также вантовый мост с пространственным пилоном в виде панциря черепахи. Мост отличает оригинальное освещение, так как в пространственный пилон, одновременно играющий роль крыши моста, вмонтированы 30 000 лампочек, которые с наступлением темноты начинают мигать, передавая сообщение с помощью азбуки Морзе.

Проект-концепция многофункционального моста «Турбина» (Turbine Bridge) в Амстердаме. Как известно, мосты являются не просто архитектурными сооружениями, служащими для передвижения граждан, но и стратегически важными объектами, позволяющими соединять берега друг с другом и для транспортировки грузов. Однако в наше время инженеры и архитекторы стараются найти новые, необычные формы мостов, понимая их многофункциональность каждый раз по-новому. Концепция проекта многофункционального моста «Турбина» в том, что он состоит из двух уровней, причем первый уровень предназначен для пешеходов и велосипедистов, которые могут остановиться и посетить кафе-терий или магазины, расположенные тут же, а на втором уровне находится детская площадка и места для отдыха. Изюминка проекта в том, что мост соединяет в себе две функции: это и многофункциональный пешеходный мост, и гидроэлектростанция (рис. 8).

Благодаря мощному течению реки Амстел, на которой предполагается размещение моста, вращающаяся турбина будет вырабатывать электроэнергию и тем самым обеспечивать автономность мостового сооружения, независимость его от внешних источников энергии.

Проект пешеходного моста в Лиме (Перу) **в виде морской звезды**. Конструкция моста, имеющая несколько лучей, тянущихся от ее основной части, будет возведена над глубоким рвом (рис. 9). Два района, образованные по разным сторонам от указанного разлома, разделяет проложенная внизу по дну рва дорога, и для того чтобы перебраться через нее и попасть в другой район, жителям приходится спускаться с холмистых возвышенностей. Строительство моста позволит решить данную проблему и создать новое место для встреч и отдыха жителей.



Рис. 7. Мост Мира в Тбилиси

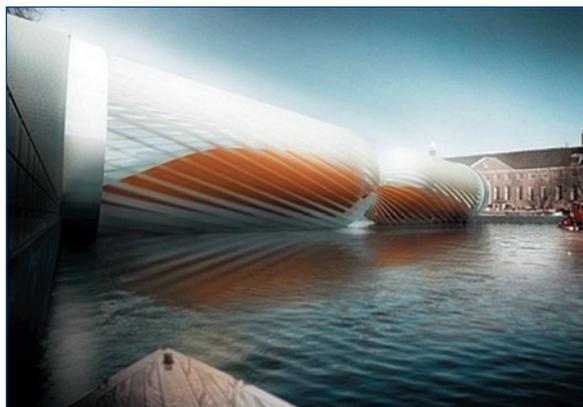


Рис. 8. Мост-турбина, установленный на реке

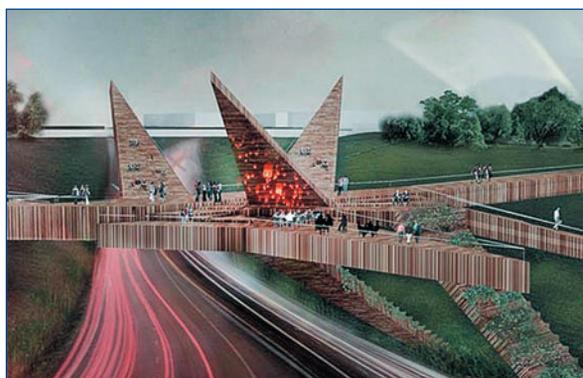


Рис. 9. Мост — морская звезда (вид сбоку)

Кроме приведенных выше конструкций мостов существует еще ряд пешеходных мостов, в основе которых лежат современные технологии проектирования. Кратко рассмотрим некоторые из них.

Проект «органического» моста для Амстердама. Разработан итальянской студией, которая увлекается изучением органических форм с целью создания интересных инженерных конструкций. Пешеходно-велосипедный мост рассматривается как зона взаимодействия потоков велосипедов и пешеходов, которые в зависимости от их интенсивности и взаимовлияния создают динамические пути и придают мосту зрительную подвижность (рис. 10).

Основная идея моста — в пересечении активных потоков движения и медленных, неспешных, причем к быстрым потокам относятся дорожки для перемещения по ним велосипедистов, а к медленным потокам — дорожки для обычных пешеходов. При этом конструкция моста как пространственного объекта состоит из нескольких тоннелей, лестниц и переходов, пересекаю-

щихся друг с другом, но в итоге образующих единое целое. Поскольку движение пешеходов и велосипедистов вызывает колебания конструктивных элементов моста, предполагается, что, оснатив эти динамически деформирующиеся от ходьбы или езды по поверхности моста конструкции пьезоэлектрическими элементами, можно будет преобразовывать механическую энергию колебаний в электрическую, которая будет использоваться для освещения моста в ночное время.

Проект векторного моста **Inhabitable Bridge** в Токио. Еще дальше пошли японские проектировщики, предложив проект моста на основе изучения закономерностей векторных схем распределения потоков движения пассажирского, грузового и частного транспорта, а также велосипедов и пешеходов в зоне притяжения будущего моста города Токио. Проектирование осуществлялось с использованием построенных математических моделей и статистического анализа. Результаты этого анализа были реализованы в виде конструктивной системы, представленной на рис. 11.



Рис. 10. Проект моста с учетом взаимодействия пешеходного и велосипедного движения

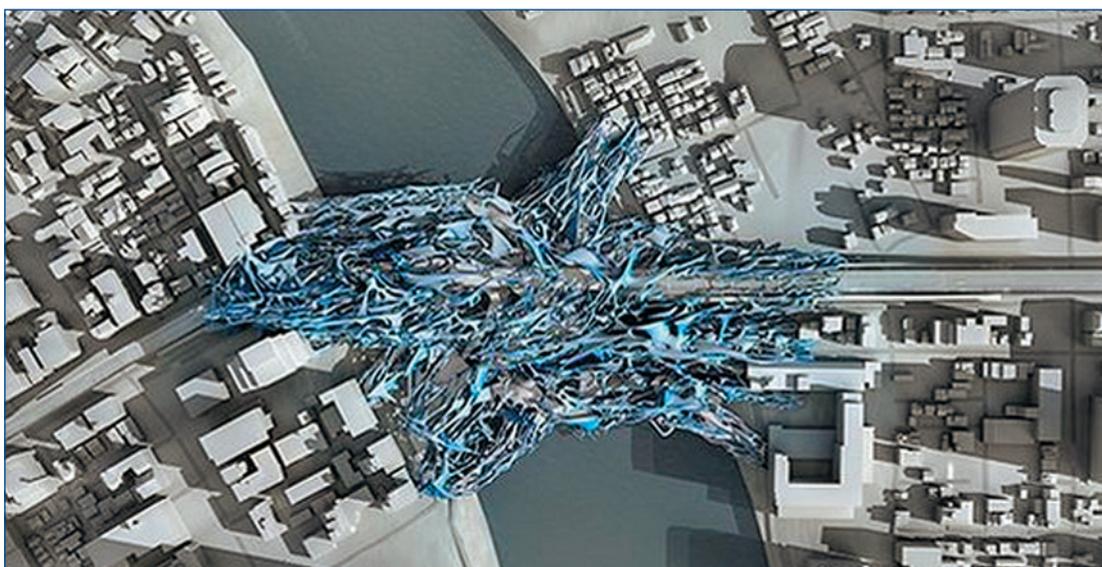


Рис. 11. Схема векторного моста Inhabitable Bridge в Токио

Так как Токио является одним из самых густонаселенных городов мира, проектировщики мостов совместно с архитекторами вынуждены заниматься разработкой проектов, наиболее эффективно использующих ограниченное городское пространство. В рассматриваемом случае конструкция моста была разработана с учетом всех переплетений улиц, прилегающих к месту мостового перехода, с тем чтобы и пешеходы, и велосипедисты, и автомобили смогли беспрепятственно перемещаться по городу. Может показаться, что этот проект моста является одной из диких идей, предложенных проектировщиками, однако, как утверждают проектировщики, это один из немногих мостов, спроектированных на основе тщательного анализа предполагаемых траекторий движения участников этого движения в различное время суток и время года. На этом мосту дорожки для пешеходов и широкие дороги для автомобилей не пересекаются между собой, что свидетельствует о том, что безопасность обеспечена. Благодаря сложной векторной структуре вероятность образования пробок весьма мала, а кроме того, по мере изменения характера и интенсивности движения его участников мост можно достраивать и модернизировать, чтобы как можно лучше удовлетворить потребности участников движения.

Самый длинный в мире подвесной пешеходный мост-аттракцион («СкайБридж») был построен в Сочинском национальном парке над Ахштырским ущельем и рекой Мзымта по дороге на Красную поляну (рис. 12). С моста открывается красивый вид на Кавказские горы с одной стороны и Черное море с другой. Это мостовое сооружение представляет собой комплекс конструкций, включающих опорную часть смотровой платформы, жесткий трап, смотровую платформу, сам подвесной пролет с обзорной площадкой, площадки аттракционов, несущие канаты и железобетонные фундаменты. Длина подвесной части моста составляет 439,09 м, высота над дном ущелья 207 м, длина канатов 550 м. При строительстве мостового сооружения использовано более 2000 кубометров бетона, 740 т металла (из них 700 т трубопроводной стали для опорной части), более 1,5 км титановых анкеров. По результатам расчетов и испытаний, мост способен выдерживать нагрузку от собственного веса и вес 30 тысяч человек, а также 9-балльное землетрясение.

Для того чтобы показать, что нагрузка от пролетных строений мостов может передаваться не только на грунт через опоры, рассмотрим еще два интересных проекта пешеходных мостов.

Подвесной мост на воздушных шарах **Pont de Singe** — «Обезьяний мост». Как видно, легкий, практически невесомый мост парит над прудом в японском саду в Таттон-парке в Англии. В качестве опор этого моста выступают огромные белые воздушные шары (рис. 13). Этот мост выполняет декоративную функцию, пользоваться им нельзя, хотя идея моста заслуживает внимания.



Рис. 12. Подвесной пешеходный мост над дорогой на Красную поляну



Рис. 13. Мост, подвешенный к воздушным шарам

Проект трехсекционного **надувного моста-батута** через Сену в Париже. Конструкция состоит из трех гигантских надувных 30-метровых буюв, изготовленных из поливинилхлорида и связанных последовательно между собой в самонесущую конструкцию, закрепленную тросами (рис. 14). На весу мост удерживают белые надувные камеры, каждая из которых наполнена 3700 кубометрами воздуха. Внутри каждого кольца установлена батутная сетка — специально для тех, кто хочет не «дойти», а «допрыгать» с одного берега реки до другого. Сетка внутри колец натягивается так, чтобы люди, прыгающие на батуте, не доставали до воды. Современные технологии позволяют обеспечить максимальную безопасность детей и взрослых на подобных конструкциях.



Рис. 14. Надувной мост-батут

В последнее время во всем мире получает развитие новое направление в проектировании — Sustainable design. Четкого перевода и значения у этого термина нет, но чаще всего используется определение: «проектирование, максимально учитывающее состояние окружающей среды». Таким образом, проектировщик любого объекта должен принимать во внимание связующие звенья всей его системы, чтобы максимально использовать ресурсы, которые дает природа, и как можно меньше использовать те, что требуют переработки, затрат нефти, газа и других невозобновляемых источников энергии. Можно также использовать и такое определение, как «экологически рациональное проектирование».

Подводя итог, можно сказать, что поле деятельности современной инженерии — это устойчивое развитие и применение инноваций. Цели деятельности инженеров — создание инновационных, эффективных, материалосберегающих конструкций. **ИТ**

Список литературы

1. Овчинников И. Г., Дядченко Г. С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. — Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. — 227 с.
2. Tang M. C. Evolution of Bridge Technology // IABSE Symposium Report. — 2007. — P. 38–48.
3. Ковырягин М. А., Овчинников И. Г. Управляемые конструкции (в мостостроении). — Саратов : СГТУ, 2003. — 95 с.
4. Фридкин В. М. Формообразование строительных конструкций. — М. : МГСУ, 2011. — 171 с.



**Дмитрий Германович
Неволин**

Dmitry G. Nevolin



**Дмитрий Николаевич
Смердов**

Dmitriy N. Smerdov



**Михаил Николаевич
Смердов**

Mikhail N. Smerdov



**Алексей Олегович
Клементьев**

Aleksey O. Klementyev

Предложения по учету влияния положительных температур в методике расчета нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами

Proposals for taking into account the effect of positive temperatures in the design methodology of normal sections of bending concrete elements reinforced by polymer composites

Аннотация

В статье излагается методика расчета эксплуатируемых изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами, с учетом действующих температур. Методика расчета усиленных конструкций основана на методе предельных состояний и может быть применена для расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения.

Ключевые слова: здания и сооружения, изгибаемые железобетонные элементы, полимерный композиционный материал, углеродное волокно, железобетонная балка, температура, коэффициент температурного расширения.

Summary

The article describes the methodology of design of operated bending concrete elements reinforced by polymer composites, taking into account the effect of temperature. The method of designing reinforced structures is based on limiting method states and can be used for the design of reinforced concrete elements of buildings and structures for various purposes.

Keywords: buildings and structures, bending concrete elements, polymer composite, carbon fiber, reinforced concrete beam, temperature, thermal expansion coefficient.

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: innotrans@mail.ru | **Дмитрий Николаевич Смердов**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: DNSmerdov@mail.ru | **Михаил Николаевич Смердов**, старший преподаватель кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: mikhail_smerdov@mail.ru | **Алексей Олегович Клементьев**, аспирант кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: AOKlementev@mail.ru

Dmitriy 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 | **Dmitriy Nikolaevich Smerdov**, PhD in Engineering, Head of "Bridges and Tunnels" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: DNSmerdov@mail.ru | **Mikhail Nikolaevich Smerdov**, Senior Lecturer, "Railway Construction and Railway Track" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: mikhail_smerdov@mail.ru | **Aleksey Olegovich Klementyev**, PhD Student, "Bridges and Tunnels" Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: AOKlementev@mail.ru

В соответствии с действующими нормативными документами [1], несущие железобетонные конструкции зданий и сооружений рассчитывают на действие постоянных и временных нагрузок по первой и второй группе предельных состояний. Проверки по первой группе предельных состояний обеспечивают прочность конструкции с заданной обеспеченностью. Проверки по второй группе предельных состояний обеспечивают нормальную эксплуатацию конструкций в установленный проектный срок службы.

Усилению полимерными композиционными материалами подвергаются в большинстве случаев уже эксплуатируемые железобетонные конструкции и реже — новые конструкции, когда возникает потребность в исправлении ошибок, допущенных в проектных или строительномонтажных работах, поэтому необходимо уточнять и корректировать методику расчета усиленных конструкций по первой группе предельных состояний.

Впервые методика расчета железобетонных элементов промышленных и гражданских зданий и сооружений, усиленных полимерными композиционными материалами, была предложена А. А. Шилиным [2]. С. А. Бокаревым, Д. Н. Смердовым и В. И. Шестериковым были разработаны методики расчета несущей способности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов, усиленных композиционными материалами [3–5]. А. А. Неровных в своей работе [6] существенно усовершенствовал и уточнил методику расчета изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного и таврового поперечного сечения, усиленных полимерными композиционными материалами, при их расчете по первой группе предельных состояний.

Экспериментальными исследованиями установлено [7], что при допущении эксплуатации изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами, при температурах выше +30 °С разрушение усиленных образцов происходит в результате разрыва композитного материала в середине пролета балок от действия изгибающего момента, при этом композиционный материал наклеивается на нижнюю поверхность изгибаемых элементов без дополнительного его закрепления по концам, например, U-образными хомутами, как показано на рис. 1.

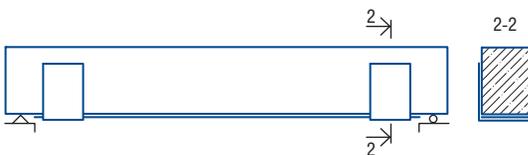


Рис. 1. Способ закрепления композиционного материала U-образными хомутами

Величина коэффициента температурного расширения α , $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ для углеродных волокон, по сведениям различных источников [4], отрицательная и ва-

рьируется в пределах от $-0,6$ до $-1,45$. Для сравнения: коэффициент температурного расширения α , $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ стали арматуры класса А300 положительный величиной 10,40 [1, 4]. Соответственно, при нагреве углеродные волокна полимерных композиционных материалов укорачиваются, а прямолинейные элементы из стали удлиняются. Повышение температуры углеродных волокон композиционного материала относительно температуры, при которой происходит отверждение эпоксидной смолы композиционного материала на усиливаемой конструкции, вызывает в нем дополнительные нормальные напряжения, которые необходимо учитывать по формуле:

$$\Delta\sigma_{fu} = \sigma_{fu} - \sigma_{ft} \leq 0,9R_{ft}, \quad (1)$$

где σ_{fu} — предельные нормальные напряжения в композиционном материале,

$$\sigma_{fu} = k_f \sqrt{\frac{R_b E_f b_f}{\sum t_f}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{ft} = \alpha_f (T_\alpha - T_f) E_f, \quad (3)$$

где b_f — единичная ширина полосы материала усиления, $b_f = 1$ мм; k_f — коэффициент, учитывающий тип конструкции усиления [6]; R_b — расчетное сопротивление бетона сжатию, МПа; E_f — модуль упругости композиционного материала, МПа; t_f — толщина одного слоя композиционного материала, мм; α_f — коэффициент температурного расширения композиционного материала, $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; T_α — максимально допустимая температура эксплуатации конструкции, усиленной композиционными материалами, °С; T_f — температура, при которой осуществляется отверждение эпоксидной смолы композиционного материала, °С.

На рис. 2 приведена схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента прямоугольного поперечного сечения, усиленного композиционным материалом, при определении внутреннего предельного момента M^y .

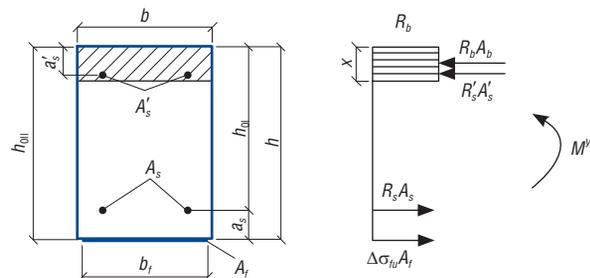


Рис. 2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого элемента, усиленного композиционным материалом

Расчет по прочности усиленных сечений, нормальных к продольной оси элемента, производят в зависимости от значения относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi_{Rf} = x / h_{01}$ и ее граничным значением ξ_f , определяемым по формуле (4), при котором предельное состояние в сжатой зоне бетона наступает одновременно с достижением в композиционном материале предельного значения напряжений $\Delta\sigma_{fu}$ [6].

$$\xi_f = \frac{0,85 - 0,008R_b}{1 + \frac{\Delta\sigma_{fu}}{e_{b,ult}E_f}(0,227 - 0,007R_b)}, \quad (4)$$

где $e_{b,ult}$ — предельная деформация бетона, принимаемая по указаниям [1].

При выполнении условия $\xi_f \leq \xi_{Rf}$ в дальнейшем расчете используется высота сжатой зоны, определяемая из условий равновесия, в противном случае $x = \xi_f h_{01}$.

При определении высоты сжатой зоны x в предельном состоянии необходимо учитывать расположение границы сжатой зоны по высоте сечения относительно центра тяжести сжатой арматуры A'_s (см. рис. 2).

Несущую способность усиленных элементов прямоугольного поперечного сечения по изгибающему моменту определяют по формуле:

$$M^y = R_b x b (h_{01} - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_{01} - a'_s) + \Delta\sigma_{fu} A_f a_f, \quad (5)$$

где высоту сжатой зоны x определяют из уравнения:

$$x = \frac{R_s A_s + \Delta\sigma_{fu} A_f - R_{sc} A'_s}{R_b b}, \quad (6)$$

в котором R_b , R_{sc} , R_s — расчетные сопротивления бетона сжатию, арматурной стали сжатию и растяжению соответственно; A'_s , A_s — площади поперечного сечения сжатой и растянутой арматуры; A_f — площадь поперечного сечения композиционного материала; b — приведенная ширина поперечного сечения элемента (ребра); a'_s , a_s и a_f — расстояния от верхней грани элемента до центра тяжести сжатой арматуры, от нижней грани элемента до центра тяжести растянутой арматуры и композитного материала соответственно; h_{01} — рабочая высота неусиленного сечения,

$$h_{01} = h - a_s, \quad (7)$$

где h — высота поперечного сечения элемента (см. рис. 2).

На рис. 3 приведена форма сжатой зоны бетона со схемой усилий и эпюрой напряжений в сечениях тавровых железобетонных элементов, усиленных композиционными материалами.

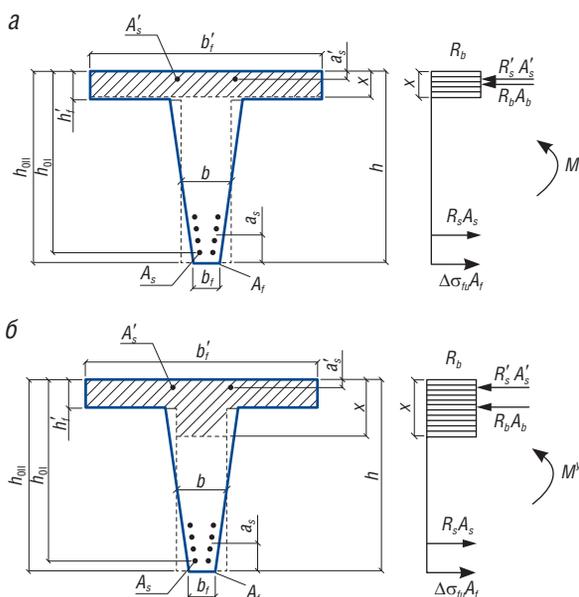


Рис. 3. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого элемента, усиленного композиционным материалом: а — при расположении границы сжатой зоны в плите; б — то же, в ребре

Несущую способность усиленных элементов таврового поперечного сечения по изгибающему моменту при $\xi_f \leq \xi_{Rf}$ определяется в зависимости от положения границы сжатой зоны по формулам:

а) если граница сжатой зоны проходит в плите (см. рис. 3, а):

$$M^y = R_b x b'_f (h_{01} - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_{01} - a'_s) + \Delta\sigma_{fu} A_f a_f, \quad (8)$$

высоту сжатой зоны x определяют из уравнения:

$$x = \frac{R_s A_s + \Delta\sigma_{fu} A_f - R_{sc} A'_s}{R_b b'_f}, \quad (9)$$

б) если граница сжатой зоны проходит в ребре (см. рис. 3, б):

$$M^y = R_b b x (h_{01} - 0,5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_{01} - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_{01} - a'_s) + \Delta\sigma_{fu} A_f a_f, \quad (10)$$

высоту сжатой зоны x определяют из уравнения:

$$x = \frac{R_s A_s + \Delta\sigma_{fu} A_f - R_b h'_f (b'_f - b) - R_{sc} A'_s}{R_b b}, \quad (11)$$

где b'_f — ширина плиты; h'_f — высота плиты.

Впервые предложена методика расчета нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами, учитывающая влияние положительных температур на их несущую способность и схему разрушения. Учтена

разница температуры, при которой происходит отверждение эпоксидной смолы композиционного материала на усиливаемой конструкции, с фактической температурой эксплуатации в формуле (3). **ИТ**

Список литературы

1. СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения». — М., 2004. — URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/41/41734>.
2. Шилин А. А., Пшеничный В. А., Картузов Д. В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. — М., Стройиздат, 2004. — 139 с.
3. Бокарев С. А. Методика расчета по прочности сечений эксплуатируемых железобетонных пролетных строений, усиленных композитными материалами / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов, А. А. Неровных // Известия вузов. Строительство. — 2010. — № 2. — С. 63–74.
4. Смердов Д. Н. Оценка несущей способности железобетонных пролетных строений мостов, усиленных композитными материалами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2010.
5. 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.
6. Неровных А. А. Совершенствование методики оценки грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, усиленных композиционными материалами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2013.
7. Бокарев С. А. Экспериментальные исследования при пониженных и повышенных температурах железобетонных образцов, усиленных полимерными композиционными материалами / С. А. Бокарев, А. Н. Костенко, Д. Н. Смердов, А. А. Неровных // Научное ведомство : интернет-журнал. — 2013. — № 3 (16). — С. 1–9.

Технические требования и рекомендации к оформлению статей

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

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

2. Материалы подготавливаются в редакторе Microsoft Office Word 2003, 2007.

3. Объем статьи не более 15 страниц.

4. Список литературы помещается в конце статьи после подзаголовка и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, ГОСТ 7.0.5-2008. Ссылки на литературу в тексте статьи оформляются в квадратных скобках ([3], [3, 4], [3–7]).

5. Требования к разметке и форматированию текста.

Поля страницы – по 2 см с каждого края. Страницы должны быть без нумерации. Текст статьи: шрифт

Times New Roman, кегль 14; межстрочный интервал полуторный; выравнивание по ширине; отступ первой строки 1,25 см; расстановка переносов автоматическая. Простые формулы и сочетания символов набираются в текстовом режиме, сложные – при помощи редактора формул Microsoft Equation или MathType и располагаются по центру страницы. Написание букв: русские и греческие буквы (а, б, в, А, Б, В; ε, ω, Ω, Σ), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, V, XII; sin, lg, min и др.) пишутся только прямо; латинские буквы (a, b, c, A, B, N и пр.) – только курсивом.

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

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

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

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

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