№ 4 (27) / 2010 октябрь — декабрь

ISSN 1815-9400

ТРАНСПОРТ УРАЛА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

СТАТУС СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ ДЛЯ УРФО И РАЗВИТИЯ ЕГО МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ И ВНЕШНЕТОРГОВЫХ СВЯЗЕЙ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНОГО ПЛАНА СТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПОРОЖДАЮЩЕЙ КОНТЕКСТНО-СВОБОДНОЙ ГРАММАТИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ВАГОНАХ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СЫПУЧЕСТИ СМЕРЗШИХСЯ ГРУЗОВ КОНВЕКТИВНЫМ РАЗОГРЕВОМ

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

TRANSPORT OF THE URAL
SCIENTIFIC JOURNAL

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ СТАТЕЙ

1. В редакцию направляется текст статьи с информацией об авторах, шифром УДК, двуязычной аннотацией с выделенными ключевыми словами, списком литературы, графиками, рисунками и таблицами. К тексту прилагается сопроводительное письмо, авторский договор и рецензия, заверенная у секретаря ученого совета. В редакцию необходимо прислать распечатку статьи в двух экземплярах (один из экземпляров подписывается всеми авторами, содержит их полные фамилии, имена и отчества, места работы и должности, научные звания, почтовые и электронные адреса и контактные телефоны) и электронный вариант на CD или по электронной почте.

2. Текст статьи объемом не более 12 — 14 страниц предоставляется в формате Microsoft Word'2000-2007, RTF (другие форматы допустимы при согласовании). Размер страницы А4, шрифт из группы Times, кегль 14 pt, полуторный интервал. Все поля по 2 см.

3. Рисунки предоставляются в электронном виде в форматах TIFF, PNG, JPEG. Разрешение растровых рисунков должно быть не менее 100 пикселов на сантиметр (250 на дюйм). Внедренная в текстовый документ графика не всегда воспроизводима в исходном виде. Редакция не несет ответственности за возможные искажения информации, предоставленной только в электронном виде.

4. Таблицы располагаются непосредственно после абзаца, содержащего упоминание о данной таблице. Все таблицы в тексте необходимо пронумеровать, озаглавить. Кегль внутри таблиц — 11, расположение текста — по ширине, расстановка переносов обязательна, междустрочный интервал одинарный.

5. Каждое наименование в списке литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84 «Библиографическое описание документа» и должно содержать фамилию автора (инициалы указываются после фамилии), название произведения, место издания (город и издательство), год издания, том, выпуск и страницы. Список должен содержать не более 10 источников. Ссылки на источники даются в квадратных скобках, в соответствии с нумерацией в списке литературы.

6. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. The text of the article with information about authors, UDC code, bilingual annotation with indicated key words, list of Literature, graphs, figures and tables is sent to the Editorial Office. The text should come with Cover letter, author's contract and review, attested by the Scientific Board Secretary. It is necessary to send to the Editorial Office the printed version of the paper in duplicate (one of the copies is signed by all the authors, contains full information about them, such as: surnames, first and patronymic names, place of work and positions, academic ranks, post and e-mail addresses and contact telephone numbers) and the electronic version on CD or via e-mail.

2. Text of the article should be up to 12-14 pages in Microsoft Word'2000 up to 2007 or Rich Text Format (other formats can be admitted by agreement). Page size A4 formatting, 14-point Times font, 1.5 line spacing. 2 cm margins should be used on all sides.

3. Figures should be presented in electronic version in TIFF, PNG, JPEG formatting. Raster drawings resolution should be 100 pixels per 1 cm (250 pixels per 1 inch) at least. Graphics included into the text document isn't always reproduced in the unmodified state. The Editorial Office isn't responsible for possible information distortion, if presented electronic version only.

4. The table should be placed straight after the paragraph, in which it is mentioned. All the tables should be numbered and titled. Font to be used inside the tables should be 11-point font, the text should be centered, with compulsory hyphenation, single line spacing.

5. Each name in the list of Literature should be composed according to the requirements of State Standard 7.1-84 'Bibliographical description of a document' and contain the author's surname (initials should be put after the surname), paper title, place of publication (city and Publishing House), year of publication, volume, issue and pages. The list of the literature should contain not more than 10. References should be indicated in square brackets, according to the numbers in the list of literature.

6. Fe for papers' publication is not charged from PhD students.

Фото на 1-й странице обложки: ezioman@flickr.com (CC: ATT)

#4 (27) / 2010 October — December

TRANSPORT OF THE URAL

SCIENTIFIC JOURNAL

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Александр Ефимов, профессор, главный редактор журнала «Транспорт Урала», Екатеринбург, Россия
2. Александер Сладковски, д-р техн. наук, профессор, Силезский технический университет, Польша
3. Эдуард Горкунов, д-р техн. наук, профессор, членкор. РАН, Россия
4. Аксель Шмидер, д-р, «Сименс АГ», отраслевой сектор, департамент транспорта «Железнодорожное строительство», Эрланген, Германия
5. Эрки Хамалайнен, доктор эконом. наук, университет Аалто, Школа экономики, Финляндия
6. Валерий Доманский, д-р техн. наук, профессор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Асадченко Виталий Романович, д-р техн. наук, профессор, научный редактор, Екатеринбург
2. Галиев Ильхам Исламович, д-р техн. наук, профессор, Омск
3. Грицык Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, Ростов
4. Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
5. Комаров Константин Леонидович, д-р техн. наук, профессор, Новосибирск
6. Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
7. Ларин Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Челябинск
8. Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербург
9. Резник Леонид Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, Тюмень
10. Румянцев Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, с.н.с., Екатеринбург
11. Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора, Екатеринбург
12. Смольянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
13. Туранов Хабибулла Туранович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
14. Умняшкин Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Ижевск
15. Хоменко Андрей Павлович, д-р техн. наук, профессор, Иркутск

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Alexander Efimov, professor, editor-in-chief of the journal «Transport of the Ural», Ekaterinburg, Russia
2. Aleksander Sladkowski, professor, Silesian University of Technology, Poland
3. Eduard Gorkunov, DSc, professor, corresponding member of Russian Academy of Sciences, Russia
4. Axel Schmieder, DSc, Siemens AG, Industry Sector, Mobility Division, Transportation Engineering, Erlangen, Germany
5. Erkki Hamalainen, DSc, Aalto University School of Economics, Finland
6. Valery Domansky, DSc, professor of National technical University «Kharkiv politechnical institute», Kharkiv, Ukraine

EDITORIAL BOARD

1. Asadchenko Vitaly Romanovich, DSc, professor, scientific editor, Ekaterinburg
2. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
3. Gritsyk Valery Ivanovich, DSc, professor, Rostov
4. Kozlov Petr Alekseevich, DSc, professor, Moscow
5. Komarov Konstantin Leonidovich, DSc, professor, Novosibirsk
6. Lapshin Vasily Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
7. Larin Oleg Nikolaevich, DSc, professor, Chelyabinsk
8. Ledyaev Alexandr Petrovich, DSc, professor, Saint-Petersburg
9. Reznik Leonid Grigorievich, DSc, professor, Tumen
10. Rumyantsev Sergey Alekseevich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
11. Say Vasily Mikhailovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
12. Smolyaninov Alexandr Vasilievich, DSc, professor, Ekaterinburg
13. Turanov Khabibula Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
14. Umnyashkin Vladimir Alekseevich, DSc, professor, Izhevsk
15. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk

Выпускающий редактор Неверова Людмила Васильевна.
Контактные телефоны: (343) 373-07-41, 245-01-34, 245-31-88
e-mail: lneverova@nis.usurt.ru, lneverova@eka-net.ru

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Литовский В.В. / **Статус Северного морского пути для УрФО и развития его межрегиональных и внешнеторговых связей** 3

Булавский П.Е., Горбачев А.М. / **Автоматизация представления кабельного плана станции с помощью порождающей контекстно-свободной грамматики** 8

Бессоненко С.А. / **Расчетные сочетания отцепов для проектирования сортировочных горок** 13

Казаков А.Л., Журавская М.А., Лемперт А.А. / **Вопросы сегментации логистических платформ в условиях становления региональной логистики** 17

Якунин Н.Н., Мячкова С.В. / **Обоснование требований к рациональной структуре парка подвижного состава автотранспортного предприятия** 21

Сладковский А.В., Рубан В.Н. / **Проектирование сборных фасонных фрез для восстановительного ремонта поверхности катания колесных пар локомотивов на станках КЖ20** 27

Шварцфельд В.С., Никитин А.В., Едигарян А.Р. / **Проблемы совершенствования методов инженерно-геодезических изысканий для развития инфраструктуры мультимодальных транспортных коридоров** 32

Силуков Ю.Д. / **Влияние износа шероховатости покрытия автомобильных дорог на сцепление колес транспорта** 36

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Неволин Д.Г., Жайворонская О.Ю. / **Оптимизация системы мониторинга сетей технологической связи на железнодорожном транспорте** 38

Неволин Д.Г., Жайворонская О.Ю. / **Ранговая оценка показателя качества мониторинга технологической связи** 42

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Матяш Ю.И., Громов А.Ю. / **Количественная оценка степени влияния скорости подвижного состава на величину перегрева крыши пассажирского вагона под воздействием солнечной радиации** 45

Овчаренко С.М., Корнеев П.С. / **Моделирование затрат мощности и дизельного топлива на привод вспомогательного оборудования тепловозов** 48

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТРАНСПОРТА

Шумаков К.Г., Вербицкий В.А., Галкин А.Г., Штин А.Н. / **Надежность схемы распредустройства питающего напряжения подстанции на ответвлениях без перемычки** 52

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Павлюков А.Э., Занкович А.В., Середа А.Б. / **Исследование тепловых процессов в вагонах при восстановлении сыпучести смерзшихся грузов конвективным разогревом** 56

Туранов Х.Т., Черепов О.В., Иргашев К.К. / **Математические модели пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона с упруго-катковыми скользунами** 62

Битюцкий Н.А. / **Анализ эксплуатационной надежности специализированных вагонов-цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов** 67

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ. ТРАКТОРЫ.

Охотников Б.Л., Егоров В.Н. / **Обоснование параметров устройства для соединения трактора с прицепом и перераспределения гидросистемой нагрузок между осями тракторного транспортного агрегата** 72

Охотников Б.Л., Егоров В.Н. / **Использование пропашных колесных тракторов на транспортных работах** 75

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

Litovsky V.V. / **The status of Northern sea way for Ural federal district and development of its inter-regional and foreign trade communications** 3

Bulavsky P.E., Gorbachev A.M. / **Introduction automation of station's cable plan with the help of generative context-free grammar** 8

Bessonenko S.A. / **Calculated combinations of cuts for gravity yards design** 13

Kazakov A.L., Zhuravskaya M.A., Lempert A.A. / **The problems of logistic platforms segmentation in the conditions of regional logistics development** 17

Yakunin N.N., Myachkova S.V. / **The creations of the requirements for the rational structure of the auto transport into auto transport's company** 21

Sladkowski A.V., Ruban V.N. / **Interlocking shaped cutter design for repair of locomotives' wheel pairs roll surface on the machines KZh20** 27

Shvarcfeld V.S., Nikitin A.V., Edigaryan A.R. / **Problems of perfection of methods engineering-geodetic surveys for development of multimodal transport corridors infrastructure** 32

Silukov Y.D. / **Influence of surface roughness wear of motor roads on the transport wheels' grip** 36

RAILWAY AUTOMATION AND TELEMECHANICS

Nevolin D.G., Zhaivoronskaya O.Yu. / **Optimization of monitoring system of technological communications network on railway transport** 38

Nevolin D.G., Zhaivoronskaya O.Yu. / **Rank estimation of readiness coefficient of technological communication monitoring** 42

ROLLING STOCK AND TRACTION

Matyash Y.I., Gromov A.Yu. / **Quantitative estimation of rolling stock speed influence degree on a passenger railway car roof overheat value under the solar radiation effect** 45

Ovcharenko S. M., Korneev P. S. / **Power and diesel fuel expenses modelling on the drive of diesel locomotives accessory equipment** 48

ELECTRIC SUPPLY OF TRANSPORT

Shumakov K.G., Verbitskiy V.A., Galkin A.G., Shtin A.N. / **Reliability of the scheme of the switching center of substation supplying voltage on branches without a jumper** 52

RAILWAY CARS AND FACILITIES

Pavlyukov A.E., Zankovich A.V., Sereda A.B. / **The research of thermal processes in railway cars at frozen loads flowability recovery by convective heating** 56

Turanov K.T., Cherepov O.V., Irgashev K.K. / **Mathematical models of spring-friction set of freight car bogie** 62

Bityutskiy N.A. / **The analysis of operational dependability of specialized tank-cars to transport condensed hydrocarbon gases** 67

MOTOR TRANSPORT. TRACTORS.

Okhotnikov B.L., Egorov V.N. / **Parameters' justification of a device for coupling a tractor with a trailer and hydrosystem load transfer between the axes of tractor-transport unit** 72

Okhotnikov B.L., Egorov V.N. / **Use of tractors' cultivated wheels at transport works** 75

УДК 338.2:629

Владимир Васильевич Литовский, доктор географических наук, заведующий сектором размещения и развития производительных сил Института экономики УрО РАН (Екатеринбург)

СТАТУС СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ ДЛЯ УРФО И РАЗВИТИЯ ЕГО МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ И ВНЕШНЕТОРГОВЫХ СВЯЗЕЙ

Vladimir V. Litovsky, DSc, the head of productive forces development and placement centre, The Institute of Economics, The Ural Branch of RAS (Ekaterinburg)

The status of Northern sea way for Ural federal district and development of its inter-regional and foreign trade communications

Аннотация

В статье исследован статус Северного морского пути для Уральского федерального округа (УрФО) и развития его межрегиональных и внешних связей. Оценены возможности грузооборота с учетом состояния ледокольного флота и инновационных подходов к хозяйственному использованию субмарин.

Показано, что основной недостаток использования ледокольного флота в Печорском и Карском морях — высокозатратный «пустой ход» от пролива Югорский Шар к порту обслуживания Мурманску, а возможности хозяйственной эксплуатации субмарин резко ограничены малыми глубинами в зонах промышленной разработки шельфа. Это сдерживает организацию новых форм мультимодальных перевозок. Для УрФО в данном аспекте рассматриваются сравнительные преимущества бухт Индига, Хабарова и Усть-Кары. Выявлено, что железнодорожное сообщение Урала с одной из этих бухт более целесообразно, чем с Архангельском (проект «Белкомур»), так как существенно увеличивает перевозки и экономические связи внутри региона по оси север — юг.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, Северный морской путь, Урал, пространственный анализ, региональные грузопотоки, природные ресурсы, проект «Урал промышленный — Урал Полярный».

Annotation

In article the status of Northern sea way for the Ural federal district and development of its inter-regional and external communications is investigated. Opportunities of a turnover of goods are appreciated in view of a condition of icebreaking fleet and innovational approaches to economic use of submarines.

It is shown, that the basic lack of modern use in Pechora sea and Kara sea icebreaking fleet is very expensive «the empty course» from a passage Yugorski Shar to port of service Murmansk, and opportunities of economic operation of submarines in the Kara sea and the Pechora sea are sharply limited to small depths in zones of industrial development of a shelf. It constrains the organization of new forms of multimodal transportations. For Ural in this aspect comparative advantages of bays Indiga, Khabarova and Ust-Kara are considered. It is revealed, that railway linkage of Ural from one of these bays more expediently than with Arkhangelsk (project «Belkomur») as essentially increases transportations and economic relations inside region on an axis the north — the south.

Key words: transport infrastructure, Northern sea way, Ural, the spatial analysis, regional freight traffics, natural resources, the project «Ural industrial — Ural Polar».

Известно [1], что развитие Северного морского пути (СМП) стало по-настоящему возможным после успешных испытаний в Арктике в 1959 г. атомного ледокола «Ленин» и введения в эксплуатацию в 1974 — 1977 гг. ледоколов «Сибирь» и «Арктика». В частности, с помощью этих, а затем и других атомных ледоколов через СМП было решено обеспечивать всем необходимым Норильский комбинат, а от идеи возобновления строительства железной дороги Игарка — Дудинка — Норильск отказаться и перейти на круглогодичную арктическую навигацию. Так в проводке караванов судов по СМП лидерство перешло от слабосильных дизель-электрических к мощным атомным ледоколам. Границы СМП, согласно действующим «Правилам плавания по трассам Северного морского пути» (1990 г.), определяются исходя из местоположения пригодных к ледовой проводке судов трасс, расположенных во внутренних морских водах, территориальном море или экономической зоне и прилегающих к северному побережью России. Крайние пункты трасс СМП ограничиваются: на западе — западными входами в новоземельские проливы и меридианом, проходящим на север от мыса Желания, на востоке — в Беринговом проливе параллелью 66° с.ш. и меридианом 168°58′37″ з.д. Перспективу возрождения СМП ныне связывают с увеличением вывоза сырьевых ресурсов, в первую очередь нефти и газа, из северных районов, а также с переносом на СМП части грузопотока из Европы в Японию и страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Расчеты показывают, что коротким путем (путь через Северный полюс дает выигрыш в 700 миль) можно провести суда из Мурманска до Берингова пролива за 10 сут летом и 16 сут зимой (от мыса Дежнева до Японии еще 5 сут хода). Обычным путем, через Суэцкий канал, суда идут из Северной Европы до Японии 42 дня.

Однако, достигнув максимума в 7 млн т в 1987 г., объем грузоперевозок по СМП существенно упал в постперестроечный период. В частности, в конце 1990-х гг. он снизился до 1,5 млн т, в 2005 — 2007 гг. объемы перевозок грузов Северным морским путем варьировались от 1,8 до 2,7 тыс. т, а к 2010 г. в связи с планируемым началом добычи нефти и газа в Баренцевом море их надеялись довести до 10 млн т. Количество линейных ледоколов и транспортных судов ледового класса с 1995 по 2000 г. сократилось соответственно в 1,5 и 2 раза, усилился отток рабочей силы. В условиях общей экономической депрессии и уменьшения государственного финансирования объекты инфраструктуры СМП стали постепенно приходить в упадок.

e-mail: VLitovskiy@rambler.ru

В начале 2000-х гг. перспектива развития СМП еще более ухудшилась. Это было обусловлено не только исчерпанием срока службы первых советских атомных ледоколов, но и попытками со стороны иностранных караванов судов отказаться от использования территориальных вод России. Действительно, к середине 2000-х гг. из 8 атомных ледоколов 3 («Арктика», «Ленин» и «Сибирь») уже были выведены из эксплуатации по причине большой изношенности. «Россия» находилась в ремонте, а «Таймыр» и «Вайгач» имели малую мощность и работали в основном на сибирских реках. В итоге для проводки судов по СМП оставались пригодными лишь два мощных ледокола — «Советский Союз» и «Ямал», но и их технический ресурс исчерпывался в 2006 и 2009 гг. соответственно [1, с. 35 — 44]. Отметим, что зимой толщина льда в Северном Ледовитом океане варьируется от 1,2 до 2 м, а в некоторых местах достигает 2,5 м. «Советский Союз» и «Ямал» способны проходить в водах, покрытых таким льдом, со скоростью 20 км/ч (11 узлов), а в свободных от льда водах — до 45 км/ч (до 25 узлов). Следует сказать, что Канада, у северного побережья которой толщина льда достигает 4 м, столкнулась с большими проблемами в использовании для ледокольных целей судов дизель-электрического типа.

Исходно (2002 г.) комплексное развитие СМП предполагало три этапа: начальный (2003 — 2005 гг.) — стабилизация работы арктической морской транспортной системы; среднесрочный (2006 — 2010 гг.) — увеличение грузопотока СМП до 5 — 7 млн т для обеспечения самоокупаемости арктической морской транспортной системы; долгосрочный (2011 — 2015 гг.) — наращивание объема перевозок грузов по СМП до 13 — 15 млн т и завершение перехода к коммерческому использованию СМП с обновлением транспортных и обеспечивающих элементов системы за счет собственных доходов.

Перспективные объемы перевозок по СМП в ряде программ [2 — 4] связаны прежде всего с освоением нефтегазовых месторождений на полуострове Ямал, в бассейнах рек Оби, Енисея и Лены, в примыкающих к СМП районах Баренцева моря (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция, Штокмановское газоконденсатное и Приразломное нефтяное месторождения и др.), а также с развитием морского экспорта нефти и газа из этих месторождений в Европу. Кроме того, предполагается, что роль СМП может возрасти и при оживлении экспорта цветных металлов, производимых Норильским комбинатом. Еще один стимул развития судоходства в восточном районе СМП — вывоз в страны Азиатско-Тихоокеанского региона полиметаллов и апатитов из арктического месторождения Томтор в Республике Саха (Якутия), а также оловянного концентрата и угля из месторождений на Чукотке. Действительно, перспектива использования СМП в связи с ожидаемым увеличением вывоза сырьевых ресурсов, в первую очередь нефти и газа, из северных районов, а также с возможностью переноса сюда части грузопотока из Европы в Японию и в страны Азиатско-Тихоокеанского региона представляется выгодной. Это обусловлено тем, что для проводки судов из Мурманска до Берингова пролива можно использовать путь через Северный полюс, который дает выигрыш в 700 миль. Поэтому время проводки судов сокращается до 10 сут летом и 16 сут зимой. С учетом того что путь от мыса Дежнева до Японии занимает 5 сут, а полное время в пути составляет от 15 до 21 сут, это даже в самом неблагоприятном случае создает выигрыш по сравнению с традиционным маршрутом из Японии через Суэцкий канал в Северную Европу в 2 раза (42 дня).

В настоящее время продолжаются проектные проработки по созданию портов-терминалов Индига, Харасавей, Яся (Обская губа), оборудуются новые рейдовые отгрузочные нефтяные терминалы Варандей и Приразломное. При этом создание портовых комплексов предусматривается за счет собственных средств коммерческих предприятий. В частности, летом 2009 г. была запущена первая логистическая цепочка по освоению ресурсов отечественного континентального шельфа, включающая морской нефтеналивной терминал Варандей, расположенный на побережье Баренцева моря, и танкеры нового типа («Василий Динков» и «Капитан Готский»). Ими начаты регулярные круглогодичные перевозки сырой нефти с терминала в Мурманск. Ожидается, что объемы перевалки сырой нефти через Варандей составят около 12 млн т в год. Известно, что по заказу компании «Совкомфлот» российские «Адмиралтейские верфи» строят еще два танкера, по классу аналогичных «Василию Динкову» («Михаил Ульянов» и «Кирилл Лавров»). Им предстоит возить нефть с месторождения Приразломное, принадлежащего ОАО «Газпром». Несмотря на сокращение объема грузоперевозок по СМП до 2,0 млн т, в 2008 г. на его трассах курсировали 10 линейных ледоколов (из них 6 атомных, в том числе «50 лет Победы», построенный в 2007 г.) и более 60 транспортных судов ледовых категорий. В целом с 1959 по 1992 г. в нашей стране было построено 9 гражданских судов с ядерными энергетическими установками: 8 ледоколов и 1 лихтеровоз. На данном этапе транспортная инфраструктура СМП возрождается лишь в западном районе Арктики, что связано с экспортом нефти и газоконденсата. В восточном районе состояние СМП пока депрессивное, поскольку грузовая база из-за свертывания производства сократилась там более чем в 4 раза. Отметим, что перспективы возрождения ледокольного флота существенно ограничивают и климатические изменения. Так, компания «Норильский никель» уже отказалась от услуг ледоколов и сделала ставку на последовательно вводимые с 2007 по 2009 г. контейнеровозы (5 единиц) высшего ледового класса Arc7, что снизит ежегодную доходность ледоколов примерно с 2,5 до 0,7 млрд руб.

Таким образом, с ледокольным флотом положение дел пока принципиально не изменилось (введен в эксплуатацию лишь 1 атомный ледокол и 2 дизельных). Поэтому нехватка атомных ледокольных судов, которые служат основой функционирования СМП, не только отрицательно сказывается на обеспечении завоза топлива, продовольствия, медикаментов и товаров первой необходимости в районы Крайнего Севера, но и осложняет создание и реконструкцию железнодорожных подъездных путей к морским портам, снижает реальное влияние России в Арктике.

Одним из вариантов инновационного решения этой проблемы стала попытка использовать для грузоперевозок по СМП подводные лодки. Так, в середине 1990-х гг. военные для снабжения своих подразделений продуктами использовали атомные субмарины. В частности, первая известная перевозка на Ямал (в порт Харасавей) состоялась в 1995 г. В дальнейшем это привело к двум принципиальным подходам в использовании атомных подводных лодок для транспортировки грузов: переоборудованию отслуживших свой срок подлодок и к разработке конструкций атомных подводных лодок специально для целей грузоперевозок. Решить эти проблемы, в частности, к 2005 г. предлагало

ЦКБ «Рубин» (Санкт-Петербург). Согласно его оценкам, в корпусах существующих лодок можно размещать до 1000 т груза, а на их строительство требуется 4 — 5 лет. При условии же дополнительной врезки в корпус секции длиной 30 м массу груза можно довести до 3500 т. Особенно интересными такие предложения считались для решения проблемы транспортировки руды «Норильского никеля», на долю которого приходилось 78% всех грузоперевозок, осуществляемых по СМП. Наиболее подходящими представлялись самые вместительные подводные лодки ВМФ России класса «Тайфун». Подводная лодка «Акула» («Тайфун» по классификации НАТО) — одно из самых крупных подводных судов: длина — 172, ширина — свыше 23, осадка — 11,5 м. Внутри стального легкого корпуса этой лодки располагаются два прочных корпуса диаметром по 7,2 м, разделенных каждый на 8 отсеков. Между ними — 3 прочных модуля: носовой с торпедными аппаратами, кормовой и центральный пост. Катамаранное расположение внутренних корпусов и определяет такую большую ширину лодки. Вскоре, однако, выяснилось, что из-за малой прибрежной глубины окраинных морей Северного Ледовитого океана использование таких подлодок весьма проблематично. Так, Печорское море в интересующих акваториях имеет глубины около 20 м. Значительная часть акваторий Карского моря расположена в пределах материковой отмели. При этом около 40% его территории имеет глубины менее 50 м. В Обской губе, устье Оби и Енисея глубины оказались еще меньшими (доходят до 10 м). В море Лаптевых глубины до 20 м простираются на север местами на сотни миль, а в устье Лены глубина составляет примерно 8 м. Немногим лучше для крупных субмарин и Восточно-Сибирское море (средняя глубина — 54 м, у порта Певек — 10 м), а также Чукотское море (глубины 50 — 60 м). Поэтому данный класс подводных судов оказался малопригодным для транспорта грузов непосредственно в порты и может использоваться лишь для доставки к плавучим терминалам в соответствующей им по глубине морской акватории (например, в 70 милях в ближайшем месте к устью Лены). Не исключены также застревания подлодок между дном и ледовыми полями берегового припая, а из-за ограничения по диаметру люкового закрытия разгрузка субмарин по времени может в разы превышать срок разгрузки, характерный для обычных надводных судов. Серьезные ограничения подлодки имеют и по наращиванию своей грузоподъемности (до 3,5 тыс. т), что в десятки раз ухудшает их эффективность по сравнению с надводным транспортом.

Таким образом, проекты использования подводных судов для Севера в современной России оказались сопряженными с проблемами размерных ограничений подводных транспортных средств, а также с проблемами малых глубин возле побережья наших северных морей.

Из этого следует, что в настоящее время необходимо либо создавать специальный подводный флот на перспективу освоения океана, либо искать иные, более экономичные варианты транспорта для СМП.

Можно отметить также, что наиболее перспективным участком СМП, районом активного судоходства, считается Печорское море. Это связано с началом широкомасштабного экспорта нефти из Тимано-Печорского и Приразломного месторождений общим объемом к 2015 г. до 20 млн т в год. В последующем (2015 — 2020 гг.) ежегодный объем только экспортных перевозок сжиженного газа с полуострова Ямал оценивается в 20 млн т, газового конденсата из района Оби и Енисея — в 1 — 3 млн т, а нефти из месторождений Тимано-Печорского бассейна — в 25 — 30 млн т. Кроме того, по СМП возможна также перевозка минеральных удобрений, никеля, леса, машин и оборудования. Тем не менее потенциальный объем транзита через Северный морской путь в рамках существующих проектов рассчитывается исходя из объема 8 — 12 млн т в год. В связи с этим проанализируем планы развития инфраструктуры СМП и транспортной сопряженной инфраструктуры. Отметим, что в федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы Российской Федерации (2010 — 2015 годы)» на подпрограмму «Морской транспорт» было запланировано 631 млрд руб. Основанием для этого стал прогноз, согласно которому объем перевалки грузов в российских портах в 2015 г. по сравнению с 2009 г. может возрасти в 1,5 раза и достигнуть 770 млн т. Однако из объектов инфраструктуры Северного морского пути в ней уделяется внимание главным образом лишь строительству терминала по перевалке сжиженного газа мощностью первой очереди 14 млн т в пос. Териберка Мурманской области. В то же время причальные сооружения большинства других арктических портов СМП также нуждаются в развитии, модернизации и капитальном ремонте для обслуживания современных крупнотоннажных судов. Это во многом обусловлено перспективой роста перевозок в результате освоения новых нефтегазовых месторождений на полуострове Ямал, в бассейнах Оби, Енисея, Лены, в районе Баренцева и Карского морей, где для требуемого обеспечения работы СМП необходимо обслуживать как минимум 6 атомных и 4 дизельных линейных ледоколов, а также 7 танкеров ледового класса суммарным дедвейтом около 380 тыс. т и около 20 сухогрузов такого же класса суммарным дедвейтом свыше 80 тыс. т. Необходимо также проведение работы по созданию и обслуживанию свыше 10 береговых станций глобальной спутниковой системы ГЛОНАСС/GPS, создание более географически удобной базы СМП и т. д.

Действительно, в настоящее время таковым требованиям в российской Арктике удовлетворяет лишь Мурманский морской порт. Его сравнительным преимуществом по отношению к другим северным портам является то, что воды залива, где он расположен, не замерзают и судоходство по чистой воде может осуществляться круглый год. Другим достоинством является должная глубоководность бухты, что позволяет принимать крупнотоннажные суда дедвейтом более 140 тыс. т. Порт наиболее пригоден для судов, направляющихся в Атлантику и Мировой океан, включая Северный Ледовитый океан. Он находится в непосредственной близости к западной границе России и соответственно к странам Северной и Западной Европы и Америке, что важно для развития отечественного судоходства в Арктике. Мурманский порт связан железной дорогой с рядом крупных грузообразующих регионов, прежде всего Северо-Западного федерального округа. Тем не менее для обслуживания грузопотоков Уральского и Сибирского федерального округов он менее удобен, равно как и для организации вывоза и ввоза грузов через Мурманский морской порт на восток по причине слишком больших затрат на «пустой ход» ледоколов к порту приписки и т. д. Поэтому для развития внешнеторговых связей УрФО и СибФО требуются более подходящие порты. Архангельский морской порт для этих целей тоже неудобен. К его главным недостаткам относятся «лишнее плечо», мелководность бухты,

проблема устьевых льдов и др. Наиболее соответствует требуемым критериям специализированный морской порт в бухте Индига. К его преимуществам относятся: достаточно большая глубоководная бухта, благоприятный рельеф и геологическая характеристика дна и береговой линии, отсутствие вечной мерзлоты, возможность почти круглогодичной проводки судов без ледокольного сопровождения, поскольку сюда доходит Гольфстрим. Другой площадкой для строительства арктического порта может быть избрана бухта Хабарова в проливе Югорский Шар. Ледовая обстановка в этом районе сходна с обстановкой в бухте Индига. Суда из западной части Арктики также проходят сюда по чистой воде подавляющую часть года. К достоинствам этой бухты относятся большая территория, отсутствие льдов более 8 месяцев в году, песчано-гравийное дно, отсутствие вечномерзлых грунтов, стабильные глубины фарватера и, главное, свободный проход практически по всему проливу Югорский Шар на восток (в Азию и Америку) и на запад (в страны Европы).

Отметим также, что в бухтах Индига и Хабарова глубины фарватеров и причалов позволяют обслуживать суда грузоподъемностью 100 — 200 тыс. т. К тому же при создании, например, в бухте Хабарова одного из центральных стратегических морских портов России в Арктике (в частности, базы технического обслуживания атомного ледокольного флота России) транспортное «плечо» (путь ледоколов к порту обслуживания Мурманску) сократилось бы на 2 — 3 тыс. км. С учетом суточных затрат на обслуживание атомных ледоколов в $50 тыс. это могло бы окупить создание портовой инфраструктуры с прокладкой к ней железной дороги от Воркуты или Западно-Уральской магистрали в течение 3 лет. К тому же Западно-Уральская магистраль могла бы привлекать в бухту Хабарова до 50 млн т потенциальных грузов из южных районов Урала, Сибири, Казахстана, прилегающих территорий, особенно с учетом выходов через станцию Полуночное на восточный склон Урала, а также связи с Троицко-Печорском, Воркутой, Интой и Елецкой, грузопотоков по реке Печоре и ее притокам. В существенной мере такой вариант отвечал бы интересам и стран Западной Европы, Америки и Азии, так как при связывании его с коридором Север — Юг существенно бы удешевлял транспортные расходы.

Предпочтительность портов Индига и Хабарово также обусловлена и тем, что прокладка туда железных дорог менее затратна, нежели проекта «Белкомур». Обусловлено это тем, что, несмотря на наличие железнодорожных веток от Архангельска до Карпогор и от Вендинги до станции Микунь, эти дороги исходно планировались как лесовывозящие, построенные в конце 1940-х годов, что не позволяет использовать их с учетом ширины насыпей без кардинальной реконструкции. Фактически из-за этого их придется строить практически заново, что в 2 — 3 раза увеличит стоимость строительства по сравнению с исходными расчетами. К тому же усредненное расстояние вывоза грузов к порту Индига по железной дороге с Урала, Сибири, Казахстана, Дальнего Востока на 350 — 400 км короче, нежели по «Белкомуру». Это предполагает экономию на возведении железной дороги и ее эксплуатации примерно на 15 — 20%. В целом в сравнении с проектом «Белкомур» организация экспортно-импортных операций через порт Индига позволяет обеспечить сокращение транспортного пути судов на запад на 500 — 600 км, а на восток — более чем на 1000 км. В совокупности это позволит окупить строительство железной дороги Урал (ст. Полуночное) — бухта Индига значительно быстрее, чем проекта «Белкомур». Наконец, с учетом того что длина дороги к бухте Индига (600 км) примерно на 200 км короче, чем «Белкомура», а ветка железной дороги ст. Сосногорск — Троицко-Печорск исходно строилась с перспективой продолжения до ст. Полуночное в конце 1960-х гг. (как часть дороги Индига — Урал — СевСиб), то ее межрегиональный статус более значим. История формирования концепции северных путей это подтверждает [5 — 8].

О реальных перспективах связывания сухопутных коммуникаций УрФО и смежных федеральных округов исчерпывающую информацию дают инвестиционные проекты, приведенные в «Стратегии развития транспорта Российской Федерации до 2030 года» и соответствующих региональных документах.

В частности, в период с 2008 по 2015 г. в УрФО выделяются инвестиции для строительства:

- железной дороги Полуночное — Обская — Салехард (61,2 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 856 км, предназначенной для создания прямого железнодорожного выхода с промышленно развитого Урала на осваиваемые месторождения полуострова Ямал и освоения месторождений полезных ископаемых восточного склона Урала;
- участка Паюта — Бованенково (45 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 331 км и обеспечения транспортных связей с полуостровом Ямал;
- участка железной дороги Салехард — Надым Уральского и Сибирского федеральных округов (43,5 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 406 км, предназначенного для альтернативного железнодорожного сообщения Ямало-Ненецкого автономного округа с населенными пунктами Северо-Западного региона, а также обеспечения, обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа;
- участка железной дороги Яйва — Соликамск Приволжского федерального округа (5,4 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 53 км, предназначенного для обеспечения технологического обхода зоны интенсивной разработки Верхнекамского месторождения калийных солей.

Все другие транспортные проекты предполагается реализовать в период с 2016 по 2030 г. А именно:

- Бованенково — Харасавей Уральского ФО (15 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 130 км — дороги, предназначенной для обеспечения подходов к новым портовым сооружениям Северного морского пути;
- Воркута (Хальмер-Ю) — Усть-Кара Северо-Западного и Уральского ФО (19,5 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 210 км — дороги, предназначенной для обеспечения выхода из Воркутинского района к Баренцеву морю;
- Сосногорск — Индига Северо-Западного ФО (102 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 612 км — дороги, предназначенной для развития подходов к новому порту и транспортировки лесных, минеральных и нефтегазовых ресурсов;
- Карпогоры — Вендинга Северо-Западного ФО (18 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 215 км — дороги, предназначенной для создания альтернативного транспортного направления с Урала в порты Белого и Баренцева морей, а также освоения лесных ресурсов севера европейской части России;

- Коротчаево — Русское Сибирского ФО (17 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) — участка протяженностью 122 км, предназначенного для обеспечения подходов к портам Дудинка и Игарка Северного морского пути, освоения и обустройства Русского и Заполярного нефтегазовых месторождений полезных ископаемых, обустройства месторождений Красноярского края;
- Русское — Игарка Сибирского ФО (65 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) — участка протяженностью 482 км, а также дороги Русское — Заполярное (7 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 49 км, предназначенной для освоения и обустройства Заполярного месторождения нефти и газа.

Строительство железной дороги Сыктывкар — Пермь (Соликамск) Северо-Западного и Приволжского ФО (48,6 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 579 км, дороги Ханты-Мансийск — Салым (24 млрд руб. в ценах на 1 января 2007 г.) протяженностью 200 км, предназначенной для обеспечения выхода на сеть железных дорог и перевозок грузов и пассажиров в административный центр, а также Северо-Сибирской железнодорожной магистрали (Нижневартовск — Белый Яр — Усть-Илимск), исключая Ельчимо — Чадобец Уральского и Сибирского ФО, отнесено на период с 2016 по 2030 г.

Из приведенного перечня проектов следует, что перспектива создания полноценных портов СМП не является близкой, так как строительство подходов к портам СМП планируется за пределами 2015 г. Основополагающие принципы строительства путей принципиально отличаются от практики создания приморских коммуникаций западноевропейских стран, не рассчитаны на освоение территорий «с моря». Соответственно статус СМП оказывается вторичным, а роль для Урала южных коридоров с учетом сильнорастущих Индии, Китая и Ближнего Востока существенно возрастает.

Литература

1. Глушков В.В. Северный морской путь в системе железных дорог России // Годичная научная конференция ИИЕТ. М. : Дельта-Т, 2005. С. 35 — 44.

2. Развитие транспортной системы РФ на 2010 — 2015 годы : федеральная целевая программа / Минтранс РФ, 2008. 363 с.

3. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу / Минпромэнерго России // Судостроение. 2007. № 6.

4. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года / Минтранс РФ, 2008. 122 с.

5. Литовский В.В. Трудный путь на Север. Транспортно-коммуникационное освоение и развитие Северного и Полярного Урала, а также северных территорий Западной Сибири // Наука. Общество. Человек : Вестник Уральского отделения РАН, 2008. № 4 (26). С. 15 — 25.

6. Литовский В.В. Трудный путь на Север. Транспортно-коммуникационное освоение и развитие Северного и Полярного Урала, а также северных территорий Западной Сибири. Ч. 2. От коммерческих дорожных изысканий к фундаментальному научному решению транспортно-коммуникационной проблемы на Севере Урала и Западной Сибири во второй половине XIX — начале XX века // Наука. Общество. Человек : Вестник Уральского отделения РАН, 2009. № 1 (27). С. 25 — 39.

7. Литовский В.В. Трудный путь на Север. Транспортно-коммуникационное освоение и развитие Северного и Полярного Урала, а также северных территорий Западной Сибири. Ч. 3. Малокларковые элементы и освоение северных территорий УрФО: к истории вопроса // Наука. Общество. Человек : Вестник Уральского отделения РАН, 2009. № 2 (28). С. 25 — 39.

8. Литовский В.В. Мегарегионы в евразийском социально-экономическом пространстве: перспективы трансформации, интеграции и развития // Пространственная экономика. 2009. № 3 (19). С. 172 — 178.

References

1. Glushkov V.V., Severny morskoj put v sisteme zheleznykh dorog Rossii // Godichnaya nauchnaya konferentsiya IIET. M.: Delta – T, 2005. S. 35-44.

2. Razvitie transportnoj sistemy RF na 2010–2015 gody: Federalnaya tselevaya programma / Mintrans RF. 2008. 363 s.

3. Strategiya razvitiya sudostroitelnoj promyshlennosti na period do 2020 goda i na dalnejshuyu perspektivu / Minpromenergo Rossii // Sudostroenie. 2007. № 6.

4. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federatsii na period do 2030 goda / Mintrans RF. 2008. 122 s.

5. Litovsky V.V. Trudny put na Sever. Transportno-kommunikatsionnoe osvoenie i razvitie Severnogo i Polyarnogo Urala, a takzhe severnykh territorij Zapadnoj Sibiri // Nauka. Obshchestvo. Chelovek: Vestnik Uralskogo otdeleniya RAN. 2008. № 4 (26). S. 15 – 25. ISSN 1997-9703.

6. Litovsky V.V. Trudny put na Sever. Transportno-kommunikatsionnoe osvoenie i razvitie Severnogo i Polyarnogo Urala, a takzhe severnykh territorij Zapadnoj Sibiri. Ch.2. Ot kommercheskih dorozhnykh izyskanij k fundamentalnomu nauchnomu resheniyu transportno-kommunikatsionnoj probleme na Severe Urala i Zapadnoj Sibiri vo vtoroj polovine XIX – nachale XX veka // // Nauka. Obshchestvo. Chelovek: Vestnik Uralskogo otdeleniya RAN. 2009. № 1 (27). s. 25 – 39. ISSN1997-9703.

7. Litovsky V.V. Trudny Put na Sever. Transportno-kommunikatsionnoe osvoenie i razvitie Severnogo i Polyarnogo Urala, a takzhe severnykh territorij Zapadnoj Sibiri. Ch.3. Maloklarkovye elementy i osvoenie severnyh territorij URFO: k istorii voprosa // Nauka. Obshchestvo. Chelovek: Vestnik Uralskogo otdeleniya RAN. 2009. № 2 28. s. 25 – 39. ISSN 1997-9703.

8. Litovsky V.V. Megaregiony v evrazijskom socialno-ekonomicheskom prostranstve: perspektivy transformatsii, integratsii i razvitiya // Prostranstvennaya ekonomika. 2009. №3 19. s. 172 – 178.

УДК 681.3

Петр Евгеньевич Булавский, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж.д.» (ПГУПС, Санкт-Петербург),
Алексей Михайлович Горбачев, инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на ж.д.» (ПГУПС, Санкт-Петербург)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНОГО ПЛАНА СТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПОРОЖДАЮЩЕЙ КОНТЕКСТНО-СВОБОДНОЙ ГРАММАТИКИ

Petr E. Bulavsky, PhD, associate professor of Railway automation and telemechanics department of Petersburg State Railway University (PGUPS),
Alexei M. Gorbachev, engineer of Railway automation and telemechanics department

Introduction automation of station's cable plan with the help of generative context-free grammar

Аннотация

В данной статье рассматриваются вопросы формализации описания кабельных планов станций с помощью атрибутной грамматики, являющейся основой языка проектирования путевых объектов. Рассмотрен синтаксис языка описания атрибутной грамматики кабельных сетей. Приводятся правила синтеза трансляторов для автоматизированного построения контекстно-свободной грамматики кабельных планов станций на основе отраслевого формата технической документации. Приводится алгоритм конвертора из отраслевого формата технической документации в формат атрибутной КС-грамматики. Рассмотрены правила вывода предложений, языка проектирования путевых объектов кабельных планов станций.

Ключевые слова: электронный документооборот; техническая документация; атрибутная грамматика; отраслевой формат технической документации; элемент отраслевого формата; атрибут элемента; кабельный план станции; язык проектирования путевых объектов.

Annotation

There are viewed the problems of stations' cable plans description formalization with the help of attribute grammar that is the base of railway units design language. There is viewed description language syntax of cable network attribute grammar. There are given the rules of translators' synthesis for automated context-free grammar design of stations' cable plans on the base of technical documentation branch format. There is given the algorithm of converter from technical documentation branch format to attributive CF-grammar format. There are described the rules of sentences' display, railway units design language of stations' cable plans.

Key words: electronic document management, technical documentation, attributive grammar, technical documentation branch format, element of branch format, element's attribute, station's cable plan, design language of railway units.

Для формализации описания всех типов технической документации, участвующих в электронном документообороте [1], необходимо разработать формальные порождающие контекстно-свободные грамматики (КС-грамматики) с последующим синтезом на их основе формальных языков описания технической документации, получивших название языков проектирования путевых объектов (ЯППО).

При таком подходе достигается:

- формализация проверки корректности технической документации, получаемой и изменяемой в процессе электронного документооборота;
- исключение ошибок на основе синтаксического и семантического анализа технической документации;
- формализация процессов разработки и проектирования технической документации;
- формализация процессов контроля качества технической документации на всех уровнях управления;
- формализация процессов контроля правильности выполнения всех этапов работ в проектных организациях, службе автоматики и телемеханики и ШЧ.

Кроме того, предложенный подход позволяет не только получать на основе формализованных операций над языками описания технических документов производную техническую документацию, но и проверять ее корректность.

Для реализации формальных методов описания ЯППО целесообразно применять атрибутные грамматики. Формализация атрибутных грамматик основывается на дереве разбора программы в КС-грамматике, что позволяет обеспечить достаточно эффективное построение трансляторов [2]. Для анализа технической документации необходимо привести существующие формы хранения информации о чертеже к описанию в рамках КС-грамматики.

Рассмотрим синтез транслятора для автоматизированного построения КС-грамматики кабельных планов станций. Для анализа кабельной сети необходимо формализовать процесс построения трансляторов, позволяющих привести чертеж, сохраняемый в отраслевом формате технической документации (ОФ-ТД) [3], к описанию в рамках КС-грамматики кабельной сети.

e-mail: pbulavsky@gmail.com

Определение атрибутных грамматик строится следующим образом. Пусть G — КС-грамматика: G = (V, W, I, P), где V, W, I, P — соответственно множество терминальных символов, нетерминальных символов, аксиома грамматики и множество правил вывода [4].

Терминальные V и нетерминальные W символы КС-грамматики могут быть записаны в следующем виде:

L(a1, a2,…, ai, an),

где L — буква алфавита языка ЯППО кабельной сети;
{ai} — множество атрибутов.

Для сравнения: в формате ОФ-ТД все элементы записываются как сущности xml-документа.

В частности, <Привод Имя="1" x="10" y="15" Провода="1@Л1, 1@Л2, 1@Л3, 1@Л4, 1@Л5"/>.

Правила вывода КС-грамматики будем записывать в виде

p: X0 -> X1 … Xn

и предполагать, что G — редуцированная КС-грамматика, т. е. в ней нет нетерминальных символов, для которых не существует полного дерева вывода, куда входит этот нетерминал.

С каждым символом X <- N U T свяжем множество A(X) атрибутов символа X. Некоторые из множеств A(x) могут быть пусты. Запись a(X) означает, что a <- A(X). С каждым правилом вывода p <- P свяжем множество F семантических правил, имеющих следующую форму:

a0 = fpa0(a1, … , aj),

где ik <- [0,np] — номер символа правила p;
ak — атрибут символа Xik , т. е. ak <- A(Xik).

В таком случае будем говорить, что a0 «зависит» от a1,…,aj или что a0 «вычисляется» по a1,…,aj. В частном случае j может быть равно нулю, тогда будем говорить, что атрибут a0 «получает в качестве значения константу». КС-грамматики, каждому символу которых сопоставлено множество атрибутов, а каждому правилу вывода — множество семантических правил, называются атрибутными грамматиками (AG).

Атрибут a(X0) называется синтезируемым, если одному из правил вывода p: X0 ->X1 … Xnp сопоставлено семантическое правило a<0> = fa<0>(…). Атрибут a(Xi) называется наследуемым, если одному из правил вывода p:X0 -> X1 … Xi … Xnp сопоставлено семантическое правило a = fa(…), i <- [1,np]. Множество синтезируемых атрибутов символа X обозначим через S(X), наследуемых атрибутов — через I(X). Будем считать, что значение атрибутов терминальных символов — константы, т. е. их значения определены, но для них нет семантических правил, определяющих их значения.

Для синтеза грамматики кабельных сетей введем следующие символы:

1. S — стрелочный привод.
2. C — светофор.
3. L — участок пути.
4. M — муфта.
5. D — дроссель-трансформатор.
6. B — трансформаторный ящик.
7. K — кабель.
8. P — пост ЭЦ.

Каждый символ имеет список присущих ему атрибутов.

Если дана атрибутная грамматика AG и цепочка, принадлежащая языку, определяемому G, то можно построить дерево разбора этой цепочки в грамматике G. В этом дереве каждая вершина помечена символом грамматики G. Припишем теперь каждой вершине множество атрибутов, сопоставленных символу, которым помечена эта вершина. Атрибуты, сопоставленные вхождениям символов в дерево разбора, будем называть вхождениями атрибутов в дерево разбора, а дерево с сопоставленными каждой вершине атрибутами — атрибутированным деревом разбора. Между вхождениями атрибутов в дерево разбора существуют зависимости, определяемые семантическими правилами, соответствующими примененным синтаксическим правилам [2].

Атрибутированное дерево разбора (рис. 1) удобно для анализа транслятором, который будет определять соответствие поданных ему на вход данных, представляющих собой кабельный план станции или перегона в виде предложений КС-грамматики, списку правил.

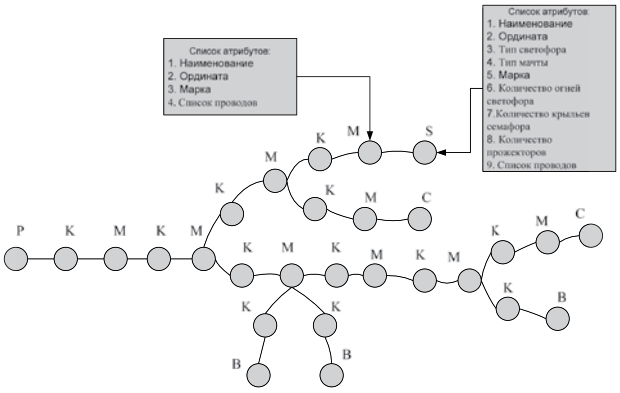


Рисунок 1 — Атрибутированное дерево разбора

На рис. 1 представлено атрибутированное дерево разбора для фрагмента кабельного плана станции. Вершиной дерева всегда является элемент P (пост ЭЦ или транспортабельный модуль, от которого светофоры, стрелки, трансформаторные ящики и т. д. получают питание). Далее элемент P связывается кабелем с другими объектами кабельной сети.

Атрибутные грамматики использовались для описания семантики языков программирования, и было создано несколько систем автоматизации разработки трансляторов, основанных на формализме атрибутных грамматик.

Для автоматизации построения КС-грамматики кабельных планов станций при записи синтаксиса будем использовать расширенную форму Бэкуса — Наура (БНФ). При этом элемент правой части синтаксического правила, заключенный в скобки [ ], может отсутствовать. Элемент правой части синтаксического правила, заключенный в скобки ( ), означает возможность пов-

торения один или более раз. Элемент правой части синтаксического правила, заключенный в скобки [( )], означает возможность повторения ноль или более раз. В скобках [ ] или [( )] может указываться разделитель конструкций.

Ниже дан синтаксис языка описания атрибутной грамматики кабельных сетей (КС). Он представляет собой предметно-ориентированную версию языка описания атрибутных грамматик общего вида.

Атрибутная грамматика ::= 'KSALPHABET'
(ОписаниеНетерминала) (Правило)
ОписаниеНетерминала ::= ИмяНетерминала
'::' [(ОписаниеАтрибутов / ';')] '.'
ОписаниеАтрибутов ::= (ИмяАтрибута / ',') ':' Тип
Правило ::= 'Name' Наименование правила 'Content' Содержание правила '.'
Синтаксис ::= ИмяНетерминала '::=' ПраваяЧасть
ПраваяЧасть ::= [(ЭлементовПравойЧасти)]
ЭлементПравойЧасти ::= ИмяНетерминала
| Терминал
| '(' Нетерминал ['/' Терминал] ')'
| '[' Нетерминал ']'
| '[(' Нетерминал ['/' Терминал] ')]'
Семантика ::= [(ЛокальноеОбъявление])
[(СемантическоеДействие])
СемантическоеДействие ::= Присваивание
| [Метка] Оператор
Присваивание ::= Переменная ':=' Выражение

Переменная ::= ЛокальнаяПеременная
| Атрибут
Атрибут ::= ЛокальныйАтрибут
| ГлобальныйАтрибут
Оператор ::= | (связь терминальных и нетерминальных объектов между собой)

Описание атрибутной грамматики состоит из раздела описания атрибутов и раздела правил. Раздел описания атрибутов определяет состав атрибутов для каждого символа грамматики и тип каждого атрибута. Правила состоят из синтаксической и семантической части. В синтаксической части используется расширенная БНФ. Семантическая часть правила состоит из локальных объявлений и семантических действий. В качестве семантических действий допускаются как атрибутные присваивания, так и составные операторы.

Существующий в настоящее время отраслевой формат хранения технической документации на устройства СЦБ ОФ-ТД полностью описывает необходимые для синтеза КС-грамматики символы и их атрибуты [3]. Поэтому для представления кабельного плана в терминах КС-грамматики достаточно определить правила отображения элементов отраслевого формата на символы КС-грамматики. Для этого достаточно представить элементы КС из отраслевого формата в виде, удобном для входа транслятора. Так как множество данных, хранящихся в ОФ-ТД про каждый элемент, больше того множества, которое требуется для описания в ЯППО КС, но в дальнейшем множество ЯППО КС может расширяться, целесообразно сохранить весь объем информации, обеспечив взаимооднозначное отображение ОФ-ТД на ЯППО КС и обратно. В результате получим, что грамматика КС позволит не только проверять кабельные планы, но и вносить в них изменения с возможностью дальнейшего сохранения информации в формате ОФ-ТД (рис. 2).

Алгоритм конвертора из формата ОФ-ТД в формат атрибутной КС-грамматики показан на рис. 3.

Исходными данными для работы алгоритма являются:
1 {OFF Elems} — множество элементов чертежа в формате ОФ-ТД;
2 {KS Elems} = {0} — множество элементов чертежа в формате КС-грамматики (пустое);
3 {KS Elems Types} — множество типов, которые существуют в КС-грамматике;
4 {KS List} — список элементов кабельной сети в формате КС-грамматики (заполняется в функции AddToKSList);
5 {KS Sentences} — список предложений кабельной сети в формате обратной польской нотации.

Перед началом работы алгоритма необходимо определить следующие функции:
1 Операция | — связь между элементами КС-грамматики;
2 Функция Bool Is KS Elem(OF Elem el) — возвращает значение «истина», если элемент el типа {KS Elems Types}, иначе возвращает значение «ложь»;
3 Функция AddToKSList (OF Elems el) — добавляет элемент в список KS List (список обработанных объектов) и заносит в список KS Sentences.

Пример структуры одного предложения из списка KS Sentences (P K|M|K|M|C|) — описывает подключение к посту ЭЦ светофора через разветвительную муфту.

Применение обратной польской нотации означает, что после каждых двух элементов следует операция, которая над ними выполняется. Элементами в этом списке могут быть как элементы КС-грамматики, так и вложенные списки, состоящие из элементов кабельной сети.

Для формализации описания кабельных сетей на основе порождающей КС-грамматики синтезируется язык проектирования путевых объектов (ЯППО).

Предложения на языке ЯППО описывают все возможные варианты подводки жил к объектам КС с помощью кабеля. Правила вывода предложений и их семантика основываются на следующих положениях.

Предложением считается любой набор слов языка.

Синтаксически верным предложением считается такое, для которого выполняются все следующие правила:

1. В предложении присутствует хотя бы одна буква «Р» («Пост ЭЦ»).
2. В предложении должно быть хотя бы одно синтаксически верное слово.
3. Первыми и последними буквами в предложении не являются буквы «К» («Кабель»).

Например, предложение P|K|M|K|M|S описывает подключение стрелки (S) к посту ЭЦ через муфту (M) и кабели (K).

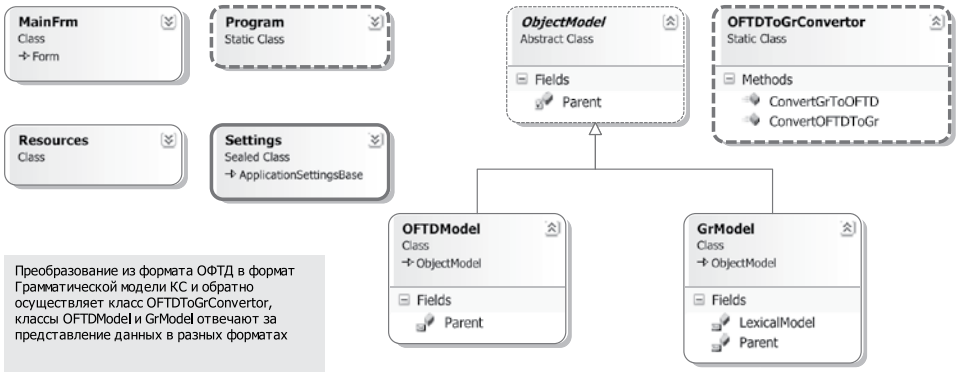


Рисунок 2 — UML-диаграмма для представления классов и методов конвертора из формата ОФ-ТД в формат модели КС

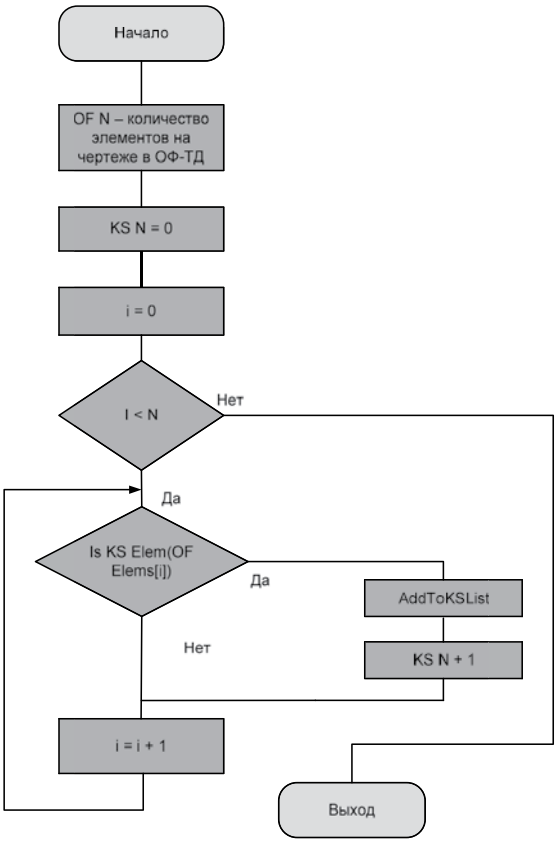


Рисунок 3 — Алгоритм конвертора из формата ОФ-ТД в формат атрибутной КС-грамматики

Семантически верным предложением будет то, в котором присутствует более одной буквы, а также выполняются правила объединения проводов. Так, в частности, в одном предложении не могут быть вместе буквы «В» (трансформаторный ящик), для одной из которых «Тип» — «два питающих», а для другой — «два релейных». Это соответствует правилу запрета совмещения питающих и релейных концов.

Рассмотрим составление предложений ЯППО КС на примере горловины станции (рис. 4). Чертеж кабельной сети для нее показан на рис. 5.

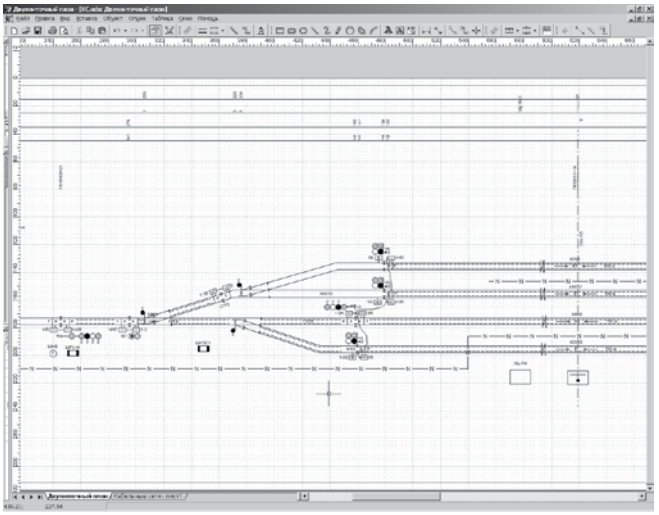


Рисунок 4 — Двухниточный план нечетной горловины станции

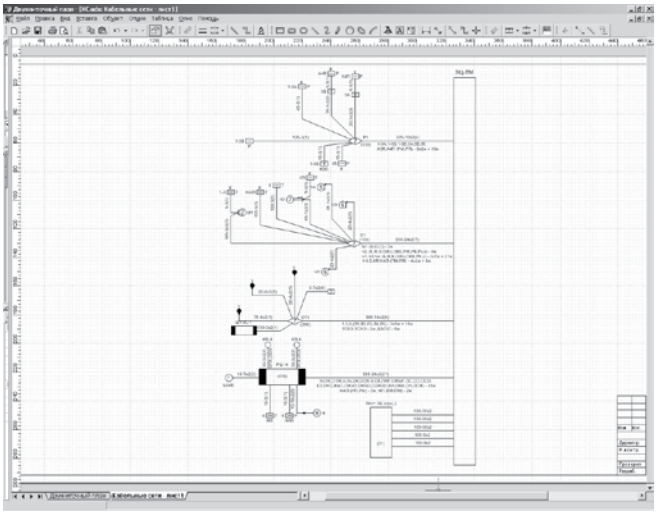


Рисунок 5 — Кабельная сеть нечетной горловины станции

Будем указывать в скобках после буквы алфавита имя каждого объекта, если такое имеется. Подключению стрелки 3 к посту ЭЦ соответствует следующее предложение: S(3)|M|K|M(Ст1)|K|P(Пост ЭЦ). Для стрелки 5 — S(3)|M|K|M(Ст1)|K|P(Пост ЭЦ), для стрелки 1 — S(1)|M|K|M(Ст1)|K|P(Пост ЭЦ). Структура предложения во всех случаях одинакова: S|M|K|M|K|P. Как видно из приведенного примера, подключению разных объектов может соответствовать одна и та же структура предложения.

По аналогии подключению релейных концов 5А и 5Б будет соответствовать структура предложения: D|K|B|K|M|K|P.

Исходное описание на языке xml имеет следующий вид, например, для привода:

<Привод id =”10” Имя=”1” СхУправления=”5-проводная” Связы=”1”/>.

Уникальный идентификатор id обеспечивает целостность чертежа. В грамматике кабельных сетей уникальным идентификатором является имя, как это и принято на обычном чертеже.

Формализация процессов автоматического синтеза кабельных планов на основе схематических и двухниточных планов станций с помощью порождающей КС-грамматики позволяет улучшить контроль качества технической документации и исключить ошибки методами синтаксического и семантического анализа технической документации. Формализация процессов разработки и проектирования технической документации приводит к существенному улучшению качества проектных работ.

Литература

1. Василенко М.Н., Булавский П.Е., Денисов Б.П. Организация электронного документооборота на полигоне Октябрьской ж.д. при реконструкции и модернизации систем автоматики и телемеханики // Вестник РГУПС. 2008. № 4. С. 67 — 72.

2. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т. 2: Получисленные алгоритмы. М., 1977.

3. Василенко М.Н., Трохов В.Г., Булавский П.Е., Максименко О.А. Отраслевой формат технической документации на устройства СЦБ // Автоматика, связь, информатика. 2003. № 4. С. 9— 11.

4. Белявский Г.И., Чакрян В.Р. Имитационная модель телекоммуникационного канала и источников шумов на основе модифицированных атрибутных грамматик // Вестник РГУПС. 2008. № 2. С. 60 — 67.

References

1. Vasilenko M.N., Bulavsky P.E., Denisov B.P. Organizatsiya elektronnogo dokumentooborota na poligone Oktyabrskoj Zh.D. pri rekonstruktsii i modernizatsii sistem avtomatiki i telemekhaniki // Vestnik RGUPS. 2008. № 4. S. 67–72.

2. Knut D. Iskusstvo programmirovaniya dlya EVM. T. 2: Poluchislennye algoritmy. M., 1977.

3. Vasilenko M.N., Trokhov V.G., Bulavsky P.E., Maksimenko O.A. Otraslevoj format tekhnicheskoj dokumentatsii na ustrojstva STSB // Avtomatika, svyaz, informatika. 2003. № 4. S. 9–11

4. Belyavsky G.I., Chakryan V.R. Imitatsionnaya model telekommunikatsionnogo kanala i istochnikov shumov na osnove modifitsirovannykh atributnykh grammatik // Vestnik RGUPS. 2008. № 2. S. 60 – 67.

УДК 656.212.5

Сергей Анатольевич Бессоненко, кандидат технических наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работы, Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС), Новосибирск

РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ ОТЦЕПОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Sergey A. Bessonenko, PhD, associate professor of "Track Maintenance Management" department, Siberian Transport University (STU, Novosibirsk)

Calculated combinations of cuts for gravity yards design

Аннотация

В статье приводится обоснование отказа от традиционных «расчетных бегунов» при проектировании сортировочных горок. Отмечено, что применение «расчетных бегунов» не позволяет в должной мере учесть местные условия работы, в том числе климатические. Кроме этого, проектирование на основе скатывания «расчетных бегунов» препятствует нахождению оптимальных параметров сортировочной горки. Обосновывается необходимость непосредственного использования функции распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов. Приводится методика определения параметров расчетных сочетаний отцепов.

Ключевые слова: сортировочная горка, параметры сортировочной горки, удельное сопротивление движению отцепов, расчетные бегуны, хороший бегун, плохой бегун, расчетные сочетания отцепов, вероятностные показатели, горочный технологический интервал.

Annotation

In the article there is offered the refusal justification from traditional «calculated chasers» while gravity yards design. It is noted that the use of «calculated chasers » doesn't allow to take into account adequately the local work conditions including climatic ones. Moreover the design on the base of «calculated chasers » rolling-down impedes to find optimal parameters of gravity yard. There is proved the necessity of direct use of probabilities distribution function of specific resistance to cuts' drive. There is given the method of calculated cuts' sets parameters detection.

Key words: gravity yard, gravity yard's parameters, specific resistance to cuts' drive, calculated chasers, good chaser, bad chaser, calculated cuts' sets, probabilities rate, yard technological interval.

Формулировка задачи. Требуется разработать принципы определения характеристик сочетаний отцепов для расчета параметров сортировочной горки, которые позволяют наиболее полно учесть влияние всех факторов на процесс расформирования составов и получить оптимальные результаты.

Методы решения. Для решения поставленной задачи используются положения теории вероятностей, такие как законы распределения вероятностей случайных величин, расчет функции распределения вероятностей случайной величины, методика расчета распределения вероятностей функции нескольких случайных величин [1, 2].

Условия задачи и принятые предпосылки. Проектирование сортировочной горки включает в себя расчет высоты, уклонов участков продольного профиля, мощности тормозных позиций. При определении данных параметров необходимо стремиться к тому, чтобы сортировочная горка перерабатывала поступающий вагонопоток с наибольшей эффективностью.

Расчет параметров сортировочных горок основан на использовании расчетных бегунов (очень плохой — ОП, плохой — П, хороший — Х, очень хороший — ОХ). Характеристики расчетных бегунов должны учитывать условия работы сортировочной горки.

Каждая сортировочная горка работает в определенной климатической зоне. Это учитывается при проектировании сортировочных горок тем, что в расчете используются исходные данные, взятые за наиболее неблагоприятные месяцы. Принимается самое неблагоприятное сочетание скорости и направления ветра и температуры наружного воздуха. Предполагается, что сортировочная горка, рассчитанная таким образом, будет способна работать в любых условиях, характерных для той климатической зоны, где она расположена. Вопрос о том, насколько часто встречаются такие неблагоприятные условия, не рассматривается.

Такой же подход и к выбору параметров расчетных бегунов, которые используются при расчете сортировочной горки. Например, в качестве расчетного бегуна для определения высоты сортировочной горки принимается крытый четырехосный вагон. Вероятность появления таких вагонов в перерабатываемом вагонопотоке не учитывается. В Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств записано, что если доля вагонов другого типа в перерабатываемом вагонопотоке

e-mail: Bessonenkosa@mail.ru

превышает 70%, то в качестве расчетного бегуна может быть принят данный тип вагона [3].

Решение. Ключевым параметром расчетных сочетаний отцепов является удельное сопротивление движению. Оно включает в себя основное удельное сопротивление, удельное сопротивление от воздушной среды, от снега и инея, от стрелочных переводов и кривых участков пути. Основное удельное сопротивление движению отцепов зависит от состояния подвижного состава и от весовой категории отцепов. На удельное сопротивление от воздушной среды влияют скорость и направление ветра, а также температура воздуха, вес и тип вагонов, скорость движения отцепов. Сопротивление движению отцепов от стрелочных переводов и кривых участков пути определяется планом горочной горловины. Таким образом, общее удельное сопротивление движению отцепов зависит от характеристик перерабатываемого вагонопотока и климатических условий местности, в которой расположена сортировочная станция.

Вероятность появления отцепов с разными ходовыми свойствами учтена при определении параметров расчетных бегунов путем нормированных отклонений от среднего значения. Следовательно, расчетные бегуны появляются в перерабатываемом вагонопотоке с определенной вероятностью. Имеют место случаи, когда в перерабатываемом вагонопотоке встречается отцеп с ходовыми свойствами, худшими, чем у «плохих» бегунов, или лучшими, чем у «хороших» бегунов. Таким образом, нельзя утверждать, что расчетные бегуны являются крайними случаями, встречающимися в перерабатываемом вагонопотоке. Значит, вероятность появления расчетных бегунов должна учитываться при определении параметров сортировочной горки. При этом она будет разной для разных сортировочных горок. Таким образом, параметры расчетных сочетаний отцепов необходимо определять для каждой сортировочной горки с учетом всех местных условий работы горки — как климатических, так и по характеру и объему перерабатываемого вагонопотока.

Необходимо отказаться от использования традиционных расчетных бегунов и определять расчетные сочетания отцепов непосредственно по распределению вероятностей удельного сопротивления их движению, определенному для конкретной сортировочной горки. Учитывать влияние всех факторов, влияющих на удельное сопротивление движению отцепов, следует путем вычисления распределения вероятностей общего удельного сопротивления движению отцепов как функции нескольких случайных величин. Методика расчета распределения вероятностей общего удельного сопротивления движению отцепов приведена в работе [4].

Плотность и функция распределения вероятностей общего удельного сопротивления движению отцепов для одной из станций приведена на рис. 1 и 2.

Поскольку удельное сопротивление движению отцепов с горки — случайная величина и расчетные бегуны не являются крайними случаями распределения вероятностей данной случайной величины, то при расчете сортировочной горки имеется вероятность того, что условия технологического процесса расформирования составов не будут выполнены.

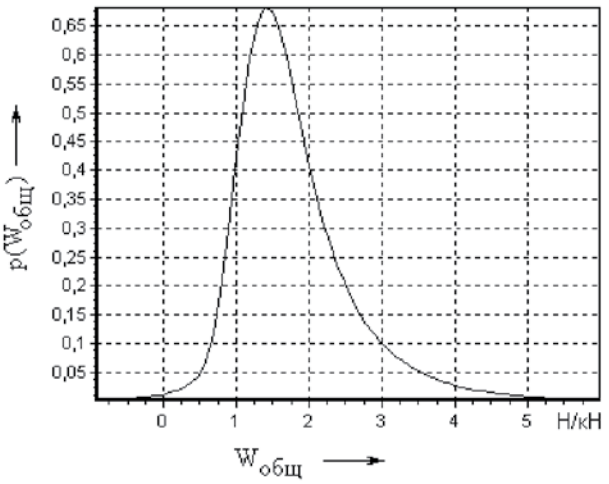


Рисунок 1 — Плотность распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов

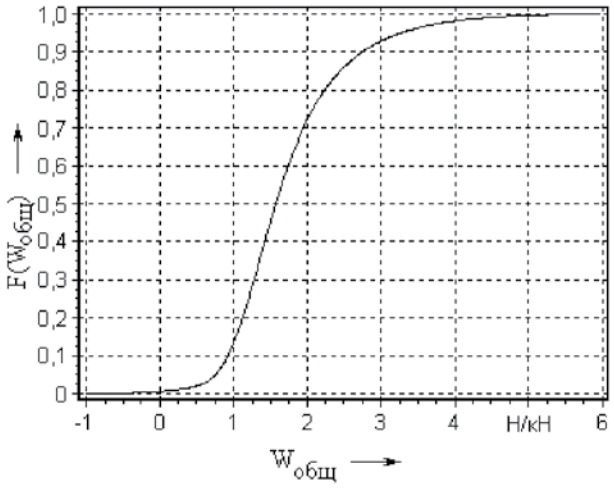


Рисунок 2 — Функция распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов

Например, отцеп может не докатиться до расчетной точки или разделительная стрелка не успеет перевестись между соседними скатывающимися отцепами. Построить сортировочную горку, на которой подобные случаи будут полностью исключены, невозможно. Однако если задать вероятность выполнения технологических условий процесса расформирования составов и по распределению вероятностей удельного сопротивления движению отцепов определить расчетные сочетания отцепов, то станет возможным получить параметры сортировочной горки, отвечающей предъявленным требованиям.

Вероятность того, что отцеп докатится до расчетной точки в подгорочном парке, не должна быть равна вероятности разделения отцепов на разделительных стрелках и вероятности того, что допустимая скорость входа отцепов на тормозные позиции не будет превышена и т. д.

Таким образом, расчетные сочетания отцепов должны определяться для каждой сортировочной горки и для расчета каждого параметра горки.

Для определения характеристик расчетных сочетаний отцепов необходимо иметь распределение вероятностей удельного сопротивления движению отцепов и вероятностные показатели, характеризующие вероятность выполнения условий технологического процесса расформирования составов. В качестве таких показателей предложены следующие:

- вероятность входа отцепов на тормозные позиции с допустимой скоростью;
- вероятность докатывания отцепов до расчетной точки;
- вероятность разделения отцепов на разделительных стрелках;
- вероятность остановки отцепов на тормозной позиции в случае необходимости;
- вероятность трогания отцепа с места и освобождения им вагонного замедлителя в случае его остановки на тормозной позиции.

По вероятностным показателям вычисляются параметры расчетных сочетаний отцепов для расчета сортировочной горки.

На рис. 3 и 4 показан принцип определения удельного сопротивления движению расчетных сочетаний отцепов (приведены крайние области функции распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов).

На рис. 3 и 4 приведены следующие обозначения:

w — общее удельное сопротивление движению отцепов, Н/кН;

$F(w)$ — функция распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов;

P_i, P_j — значение вероятностных показателей, по которым определяются параметры расчетных сочетаний отцепов;

$w_{расч}$ — расчетное значение удельного сопротивления движению отцепа (определяется для отцепов с хорошими и плохими ходовыми свойствами), Н/кН.

Если на вертикальной оси отложить значение вероятностного показателя, то на горизонтальной получим расчетное значение удельного сопротивления движению отцепов. При использовании данного значения удельного сопротивления будет рассчитана сортировочная горка, которая обеспечит выполнение условий технологического процесса расформирования составов с вероятностью, соответствующей значениям вероятностных показателей.

Вероятностные показатели влияют на время осаживания отцепов в сортировочном парке, на время, затраченное на маневровую работу по перестановке составов в подгорочной горловине сортировочного парка, и на скорость роспуска. Значения вероятностных показателей непосредственно определяют горочный технологический интервал и перерабатывающую способность горки. Вероятность входа отцепов на тормозные позиции с допустимой скоростью, вероятности остановки отцепов на тормозных позициях и трогания остановленного отцепа с места нормируются по условиям безопасности роспуска.

В данной статье рассматривается определение расчетных сочетаний отцепов для оптимизации параметров сортировочной горки по максимальной перерабатывающей способности.

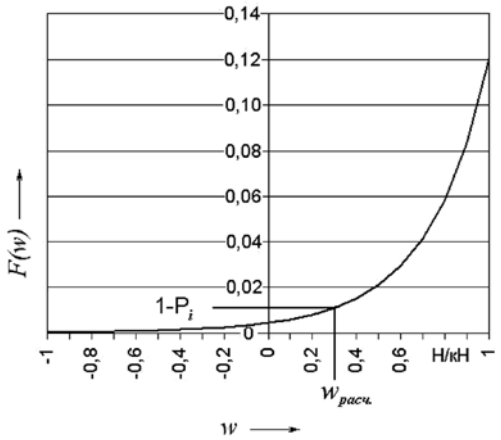


Рисунок 3 — Определение расчетного значения удельного сопротивления движению отцепов с хорошими ходовыми свойствами по вероятностным показателям

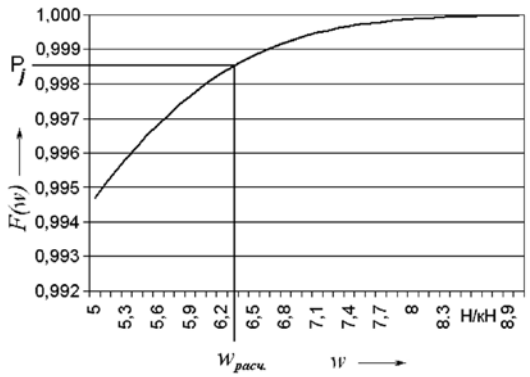


Рисунок 4 — Определение расчетного значения удельного сопротивления движению отцепов с плохими ходовыми свойствами по вероятностным показателям

В качестве критерия оптимизации выбран горочный технологический интервал. В этом случае сортировочная горка с оптимальными параметрами будет иметь максимальную перерабатывающую способность для конкретных климатических условий, конкретного вагонопотока и технического оснащения сортировочной станции.

Увеличение вероятности докатывания отцепов до расчетной точки приводит к повышению высоты горки и увеличению затрат на тормозные средства и на надвиг составов на горку. Однако при этом уменьшается время на осаживание отцепов в сортировочном парке и увеличивается перерабатывающая способность горки, что сокращает затраты на простой составов в ожидании расформирования и способствует снижению простоя поездов на подходах к станции. Увеличение вероятности разделения отцепов на разделительных стрелках уменьшает время на маневровую работу в сортировочном парке, однако приводит к росту скорости роспуска составов.

Пример определения оптимальных значений вероятностных показателей по критерию минимального горочного технологического интервала приведен на рис. 5.

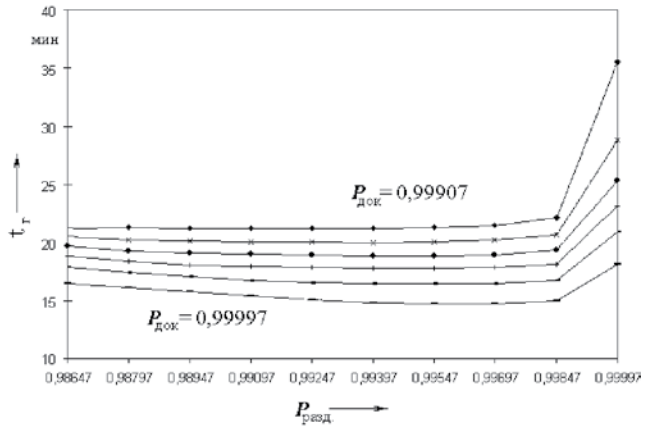


Рисунок 5 — Поиск оптимальных значений вероятностных показателей по минимальной величине горочного технологического интервала

На рис. 5 приведены следующие обозначения:
$P_{док}$, $P_{разд}$ — вероятность докатывания отцепов до расчетной точки и вероятность разделения отцепов на разделительных стрелках;
$t_Г$ — горочный технологический интервал, мин.

При переустройстве сортировочных горок оптимизации по максимальной перерабатывающей способности может быть недостаточно.

Поиск оптимальных значений параметров сортировочной горки по критерию экономической эффективности учитывает затраты на строительство или реконструкцию горки, а также затраты на расформирование составов (потери из-за простоев поездов на подходе к сортировочной станции и на станции в ожидании расформирования, затраты по надвигу составов на горку, на содержание и обслуживание технических средств и др.).

Использование распределений вероятностей исходных величин для конкретной сортировочной станции позволяет проектировать сортировочную горку с оптимальными параметрами, которая будет перерабатывать поступающий вагонопоток в определенных климатических условиях с наибольшей эффективностью.

Анализ полученных результатов. Представленные в работе принципы установления расчетных сочетаний отцепов позволяют находить их параметры для сортировочной горки, расположенной в определенной климатической зоне и перерабатывающей конкретный вагонопоток. Путем задания значений вероятностных показателей рассчитывается сортировочная горка, которая обеспечивает выполнение условий технологического процесса расформирования составов с требуемой вероятностью.

По значениям вероятностных показателей определяются параметры сортировочной горки, обеспечивающие максимальную перерабатывающую способность для конкретной сортировочной станции [4, 5].

Выводы

1. Использование при проектировании сортировочных горок традиционных расчетных бегунов не позволяет в достаточной степени учесть влияние местных условий на работу сортировочных горок.

2. Применение расчетных бегунов не дает возможность использовать методы оптимизации и находить оптимальные значения параметров для конкретной сортировочной горки.

3. Необходимо отказаться от использования традиционных расчетных бегунов, параметры расчетных сочетаний отцепов должны определяться непосредственно по функции распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов.

4. Применение распределения вероятностей удельного сопротивления отцепов позволит рассчитывать сортировочную горку, имеющую оптимальные параметры для конкретной сортировочной станции, перерабатывающей определенный поступающий вагонопоток.

Литература

1. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений. М. : Наука, 1966. 588 с.

2. Гурский Е.И. Теория вероятностей с элементами математической статистики. М. : Высшая школа, 1971. 328 с.

3. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. М. : ТЕХИНФОРМ, 2003. 168 с.

4. Правдин Н.В., Бессоненко С.А. Расчет закона распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочной горке // Транспорт: наука, техника, управление. 2006. № 3. С. 3 — 10.

5. Бессоненко С.А. Оптимизация параметров сортировочной горки по времени расформирования составов // Транспорт: наука, техника, управление. 2007. № 9. С. 30 — 34.

References

1. Kendall M.Dzh., Styuart A. Teoriya raspredelenij. M.: Nauka, 1966. 588 s.

2. Gursky E.I. Teoriya veroyatnostej s elementami matematicheskoj statistiki. M.: Vysshaya shkola, 1971. 328 s.

3. Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustrojstv na zheleznykh dorogakh kolei 1 520 mm. M.: TEKHINFORM, 2003. 168 s.

4. Pravdin N.V., Bessonenko S.A. Raschet zakona raspredeleniya veroyatnostej udelnogo soprotivleniya dvizheniyu otsepov na sortirovochnoj gorke // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2006. №3. S. 3-10.

5. Bessonenko S.A. Optimizatsiya parametrov sortirovochnoj gorki po vremeni rasformirovaniya sostavov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2007. №9. S.30-34.

УДК 656.225

Александр Леонидович Казаков, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник (Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск),
Марина Аркадьевна Журавская, кандидат технических наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой (УрГУПС, Екатеринбург),
Анна Ананьевна Лемперт, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник (Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск)

ВОПРОСЫ СЕГМЕНТАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ В УСЛОВИЯХ СТАНОВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ

Alexander L. Kazakov, DSc, associate professor, key scientific associate, Institute for System Dynamics and Control Theory of RAS SB, Irkutsk,
Marina A. Zhuravskaya, PhD, associate professor of "Management of Exploitation Work" department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg,
Anna A. Lempert, PhD, scientific associate. Institute for System Dynamics and Control Theory of RAS SB, Irkutsk

The problems of logistic platforms segmentation in the conditions of regional logistics development

Аннотация

В работе исследуется проблема идентификации и сегментации логистических платформ региона на примере утилизации старых автомобилей в Свердловской области. Предложена новая методика определения географических границ логистических платформ, основанная на аналогии с задачами геометрической оптики, которая не требует предварительной дискретизации задачи и не предполагает использования экспертных оценок. Выполнена программная реализация и проведена апробация методики при решении актуальной задачи региональной логистики. Показано, что практическая реализация данного подхода позволит рационально размещать производительные силы и оптимально использовать имеющуюся инфраструктуру.

Ключевые слова: логистика, регион, инфраструктура, логистическая платформа.

Annotation

Questions of planning optimization of modernization and reconstruction of transport mechanical engineering enterprises are considered. The options' pre-selection method of an enterprise modernization for further financial analysis is offered. The construction method of target function, depending on quantitative and qualitative production characteristics is developed. The problem statement of integer programming is given. The task solutions are the options of enterprise modernization, which most fully answer the set targets of strategic development. The method of analysis of enterprises modernization variants, which allows to solve the task of finding the optimal investment plan, depending on the volume of investments, is offered and the example of calculations is presented.

Key words: transport mechanical engineering, production indexes, enterprise's modernization and reconstruction, optimization, investments planning.

Актуальность создания логистических систем на уровне региона возрастает в условиях глобализации мировой экономики. Для эффективного управления новыми структурами, которые возникают в результате более высокой степени связности и взаимообусловленности производительных сил, требуются новые соответствующие формы, методы и системы управления, адекватные по своей сложности структурному многообразию объектам управления [1]. В новых условиях появляются логистические центры, координирующие работу участников рынка. В связи с этим встает проблема сегментации или определения границ логистических площадок региона.

В классической производственно-транспортной задаче распределения материальных потоков между транспортными терминалами, выполняющими роль логистических центров, площадки, а также районы тяготения к этим площадкам не идентифицируются [2]. Классический механизм рыночного регулирования, основанный на мозаичном и спонтанном хозяйствовании множества экономически и юридически самостоятельных структур, недостаточен в этих условиях, поскольку не всегда обеспечивает реализацию их системных интересов и эффект деятельности.

Отсюда возникает проблема адаптации накопленных за рубежом знаний и навыков по такой научно-практической дисциплине, как логистика, к отечественным и, в частности, региональным реалиям. Поэтому модификация форм и методов современной логистики применительно к ситуации конкретного региона, в том числе создание комплексной методики определения границ логистических зон, представляет большой интерес.

Рассмотрим задачу определения логистических платформ на примере утилизации старых автомобилей на территории Свердловской области. В регионе по программе утилизации старых автомобилей ВЭТС могут быть сданы в 38 торговых организаций (торговых дилеров), которые расположены в 4 городах: в Екатеринбурге — 29 дилеров, Нижнем Тагиле — 7, Верхней Пышме и Каменске-Уральском — по 1 дилеру. Подобная схема расположения

e-mail: MZhuravskaya@cca.usurt.ru, kazakov@icc.ru, lempert@icc.ru

торговых организаций, участвующих в программе, не оправдывает себя, так как большая часть территории (западная, восточная и особенно северная) области остается не охваченной программой из-за сложностей доставки старого автомобиля к дилеру.

Принимая во внимание возможности участия местного населения в реализации программы, необходимо выработать рекомендации по размещению дилерских центров в других городах области и обосновать их.

В современной логистике для определения оптимальных параметров размещения логистических центров используется дискретный подход, который является наиболее употребительным [3] и подразумевает рассмотрение только крупных населенных пунктов, которые отождествляются с точками на плоскости. До сих пор это было вполне уместно, поскольку естественно, что центры логистических зон должны располагаться в больших городах.

Однако очевидны и недостатки такого подхода. Во-первых, города с населением более 100 000 человек на карте Свердловской области, строго говоря, уже не являются точками (особенности это касается Екатеринбурга); во-вторых (и это главное), при таком подходе из рассмотрения выпадает около 1 млн человек (более 20% населения области), проживающих в небольших городах и сельской местности.

Отметим, что последнее обстоятельство является слабым местом методик сегментации логистических зон, предложенных ранее [4, 5], а одна из целей настоящей статьи как раз развитие и уточнение методики [5].

В связи с вышеизложенным в дальнейшем задача кластеризации логистических зон рассматривается в непрерывной постановке. То есть предполагается, что население не сосредоточено в конечном числе населенных пунктов, являющихся точками на плоскости, а непрерывным образом распределено по территории области. В таком случае задача кластеризации логистических зон сводится к определению их территорий и точных географических границ.

Наиболее простым и естественным путем решения проблемы выглядит равномерное разделение территории на зоны, что вполне адекватно, например, для Европы, однако для России это поверхностное впечатление. При попытке разделить область на равные по площади полигоны обслуживания выясняется, что, поскольку плотность населения в разных районах области отличается в сотни и даже в тысячи раз (в Таборинском муниципальном районе плотность населения составляет 0,4 человека на км^2, а в Екатеринбурге и Нижнем Тагиле — более 1 000), загрузка разных логистических платформ при такой сегментации будет отличаться на порядки.

Например, в пределах круга радиусом 130 км с центром в Екатеринбурге проживает около 40% населения Свердловской области. Если же попытаться разделить территорию области на логистические зоны с одинаковым населением с целью обеспечить равномерную загрузку зон, то (по той же самой причине) для многих жителей области ближайший к ним центр обслуживания становится недоступным и транспортные затраты неоправданно возрастают. Например, автомобили на утилизацию из Шали при реализации такой схемы будут приниматься в Нижнем Тагиле, хотя отсутствует прямая дорога, соединяющая эти населенные пункты (соответствующие расчеты были выполнены, но здесь не приводятся).

Очевидно, что требования равномерности логистических зон по территории (что удобно для клиентов) и равномерной загрузки логистических центров (что удобно для дилеров) являются в условиях большой неравномерности плотности населения противоречивыми. Для преодоления этого противоречия будем искать такой способ сегментации, при котором загрузка логистических центров относительно равномерна (это должны быть величины по крайней мере одного порядка), а расходы на транспортировку возрастают несущественно.

Поставленную задачу эффективно решает «волновой метод». Первоначально он был предложен В.В. Башуровым [6] для решения математических задач безопасности и некоторых смежных вопросов и адаптирован авторами для решения задач логистики.

Суть «волнового метода» заключается в том, что задача отыскания глобального минимума интегрального функционала решается путем построения траектории движения фронта «световой» волны, движущегося в оптически неоднородной среде.

Пусть в некоторой ограниченной области $D \supseteq R^2$ с кусочно-гладкой границей задана интегрируемая (например, кусочно-непрерывная) функция $f(x,y) \geq 0$. Функция $f(x,y)$ может быть задана таблично, ее аналитический вид в общем случае неизвестен. Пусть A,B — замкнутые множества, такие, что $A,B \subset D$, $A \cap B = \varnothing$. Требуется найти линию Γ_0 из $G(A,B)$ — множества кусочно-гладких кривых, лежащих в области D и соединяющих точки из множеств A и B, вдоль которой принимает минимальное значение интегральный функционал

$$\min_{\Gamma \in G(A,B)} C(\Gamma) = \int_{\Gamma_0} f(x,y)d\Gamma. \qquad (1)$$

С точки зрения геометрической оптики выражение (1) определяет время, за которое свет, выпущенный из точек множества A, достигает множества B, двигаясь в оптически-неоднородной среде с местной скоростью света $c(x,y) = 1/f(x,y)$. В соответствии с принципом Гюйгенса любую точку области D, которой свет уже достиг, можно считать самостоятельным источником света. Таким образом, выпустив световую волну из точек границы множества A, можно построить траекторию ее движения и зафиксировать фотон, который первым достигнет какой-либо точки множества B. Далее, двигаясь в обратном направлении по времени, можно восстановить траекторию движения этого фотона, которая и будет искомой кривой Γ_0. При этом очевидно, что если задача разрешима, то будет найдено хотя бы одно решение.

Для описанного метода разработан вычислительный алгоритм и выполнена его программная реализация. При дискретизации задачи использовалась равномерная сетка. При этом возникли неудобства, связанные с тем, что фронт световой волны обычно имеет форму окружности или близкую к ней, поэтому прямоугольная сетка не вполне удобна. Однако трудности удалось достаточно успешно преодолеть. Дискретизация проводится с постоянным шагом h по пространству, по времени дискретизация не производится. Основу вычислительно алгоритма составляет процедура, определяющая для каждого узла сетки время, за которое его достигнет световая волна, выпущенная из начальной точки (0,0). При этом на каждом шаге фиксируется «предыдущий» узел. Это позволяет, двигаясь из точки M в обратном направлении по времени, приближенно построить экстремаль в виде ломаной. Детальное описание алгоритма и программы здесь не приводится.

Программа протестирована на следующих примерах, для которых известны аналитические решения: 1) $f(x,y)$ постоянная (т. е. волна распространяется в однородной среде); 2) $f(x,y)$ кусочно-постоянная (т. е. проход волны через границу двух сред); 3) $f(x,y) = 1/\sqrt{2gy}$ (классическая «задача о брахистохроне»).

Во всех случаях получено хорошее соответствие численного и аналитического решений.

Предположим, что имеется m логистических центров, расположенных в точках $A_1(x_1,y_1)$, $A_2(x_2,y_2)$,..., $A_m(x_m,y_m)$. Требуется произвести разбиение полигона обслуживания на зоны, каждая из которых обслуживается одним центром, оптимальное в некотором смысле. Такая задача иногда называется в логистике «задачей идентификации и сегментации логистических зон» [2, 5]. Требования к такому разбиению сформулированы. При этом предполагается, что потребители непрерывно распределены по полигону обслуживания, что соответствует случаю, когда имеется большое количество мелких клиентов, т. е. некоторой ограниченной области $D \supseteq R^2$ с кусочно-гладкой границей задана кусочно-непрерывная функция $f(x,y)>0$, характеризующая плотность населения.

Для построения решения поставленной задачи используется следующая модификация волнового метода: из всех точек $A_1,...,A_n$ в начальный момент времени выпускаются световые волны, имеющие в каждой точке скорость движения $1/\sqrt{f(x,y)}$, и для всех точек $A \in D$ фиксируется $k^*(A)$ — номер волны, пришедшей в точку A первой. Значение $k^*(A)$ и определяет зону обслуживания, к которой относится точка A. Если $k^*(A)$ определяется неоднозначно (т. е. две или более волны достигают этой точки одновременно), то точка A лежит на границе зон обслуживания.

Предложенный подход позволяет удовлетворительно решить поставленную логистическую проблему. В самом деле:
разбиение за счет выбора функции, задающей скорости движения волн, будет близко к равномерному по числу клиентов. Точное равенство, в том числе из-за взаимодействия волн между собой и с границами области, вообще говоря, выполняться не будет, однако значения при этом получаются одного порядка;
поскольку скорость движения для каждой волны тем больше, чем меньше плотность населения, суммарные расходы на доставку для всех клиентов в данном случае будут меньше, чем при равномерном по территории разбиении.

Ранее говорилось, что существующие дилерские центры по приему автомобилей, подлежащих утилизации, расположены в Екатеринбурге, Нижнем Тагиле, Каменске-Уральском и Верхней Пышме.

С учетом того что восточные и северные районы области оказываются весьма удаленными от дилерских центров, предлагается увеличить количество городов — центров утилизации старых автомобилей до шести.

На рис. 1 представлена сегментация полигона обслуживания на шесть платформ, полученная с использованием описанной выше методики. При проведении расчетов учитывалась структура дорожной сети. В частности, считались «непроходимыми» границы между Гаринским ГО и Таборинским районом, а также между Горноуральским ГО и Шалинским ГО.

При этом границы платформ приведены в соответствии с административно-территориальным делением Свердловской области, другими словами, каждое муниципальное образование целиком отнесено к одной из платформ.

Первичное разбиение территории Свердловской области на логистические зоны утилизации определило новый состав логистических платформ, где к предложенным ранее центрам добавились Первоуральск (вместо Верхней Пышмы), Серов и Ирбит (табл. 1).

Рисунок 1 — Разбиение территорий на шесть логистических платформ по границам муниципальных образований

Таблица 1 — Характеристика логистических платформ утилизации старых автомобилей

№	Центр	Состав	Население, тыс. чел.	Территория, тыс. км^2
1	Екатеринбург	Арамильский ГО, Дегтярск ГО (22), Екатеринбург (23)	1 369,3	1,528
2	Нижний Тагил	Верх-Нейвинский ГО (13), Верхнесалдинский ГО (4), Верхний Тагил ГО (12), Верхняя Тура ГО, Горноуральский ГО, Кировградский ГО (10), Красноуральск ГО (3), Кушвинский ГО, Невьянский ГО (9), Нижний Тагил ГО, Нижняя Салда ГО (6), ЗАТО Свободный (5)	695,11	17,9088
3	Серов	Верхотурский ГО, Волчанский ГО (1), Гаринский ГО, Ивдельский ГО, Карпинск ГО, Качканарский ГО, Краснотурьинск ГО, Лесной ГО, Нижнетуринский ГО, Новолялинский ГО, Пелым ГО, Североуральский ГО, Серовский ГО (2), Сосьвинский ГО	499,57	78,508
4	Ирбит	Алапаевск (7), Алапаевское МО, Артемовский ГО, Байкаловский МР, Ирбит (8), Ирбитское МО, Режевской ГО, Слободо-Туринский МР, Таборинский МР, Тавдинский ГО, Талицкий ГО, Тугулымский ГО, Туринский ГО	455,47	57,335
5	Каменск-Уральский	Асбестовский ГО (20), Белоярский ГО (26), Березовский ГО (17), Богданович ГО, Верхнее Дуброво ГО (24), Заречный ГО (25), Каменский ГО, Каменск-Уральский, Камышловский ГО, Камышловский МР, Малышевский ГО (18), Полевской ГО, Пышминский ГО, Рефтинский ГО (19), Сухой Лог ГО, Сысертский ГО, п. Уральский (27)	762,6	17,179
6	Первоуральск	Артинский ГО, Ачитский ГО, Бисертский ГО (21), Верхняя Пышма ГО (15), Красноуфимск, МО Красноуфимский округ, Нижнесергинский МР, Новоуральский ГО (14), Первоуральск ГО, Ревда ГО, Среднеуральск ГО (16), Староуткинск ГО (11), Шалинский ГО	643,7	22,914

Из табл. 1 видно, что все платформы (за исключением Екатеринбурга) будут обслуживать примерно одинаковое количество клиентов: коэффициент неравномерности менее 1,7. Особое положение занимает Екатеринбург: размещение дилерских центров на территории города является отдельной логистической задачей, решение которой в данной статье не приводится.

На рис. 2 представлены точные границы платформ обслуживания утилизационных цепей поставок, полученные с помощью «волнового метода».

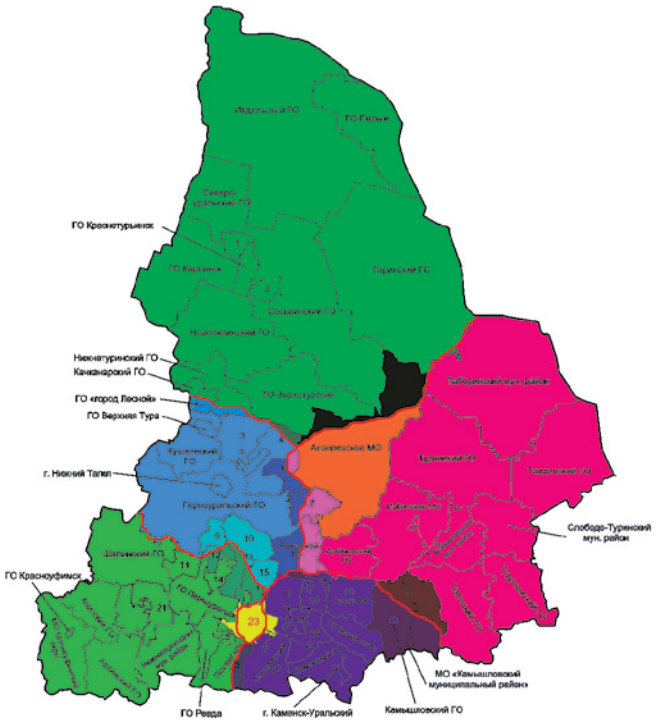


Рисунок 2 — Фактические границы логистических платформ при шести центрах

Легко видеть, что фактические границы логистических зон не всегда совпадают с границами муниципальных образований, однако каждое муниципальное образование было отнесено к той из логистических зон, в которую попала наибольшая часть его территории. Это предположение является некоторым упрощением, что, однако, удобно при практической реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье на основе «волнового метода» предложено новое решение задачи сегментации и идентификации логистических платформ для заданного количества логистических центров. Достоинства предложенного подхода:

1. Универсальность. Поскольку специфика задачи используется только при определении числовых значений параметров и никак не влияет на алгоритм решения, подобный подход может быть с успехом использован для определения границ не только утилизационных зон или платформ, но и при построении практически любых логистических цепей поставок.

2. Простота. В отличие от известных способов идентификации и сегментации логистических зон, метод не предъявляет специальных требований к квалификации пользователя. В частности, отпадает необходимость в предварительном построении экспертных оценок. Достаточно иметь статистические и географические данные, которые можно найти в свободном доступе.

3. Полнота. В отличие от известных методов при решении задачи не требуется предварительная дискретизация, при которой постановка существенно упрощается, однако теряется значительный объем.

Таким образом, предложен новый универсальный инструмент решения проблем региональной логистики, который, как надеются авторы, не только будет интересен как теоретическое достижение, но и поможет решить сложные и актуальные прикладные задачи.

Литература

1. Карнаухов С.Б. Логистические системы в экономике России. М. : Благовест-В, 2002. 216 с.

2. Смехов А.А. Маркетинговые модели транспортного рынка. М. : Транспорт, 1998. 120 с.

3. Лукинский В.С. и др. Модели и методы теории логистики. СПб. : Питер, 2007. 448 с.

4. Казаков А.Л., Поспелов А.М. Определение оптимального местонахождения базового контейнерного терминала // Транспорт Урала. 2008. № 2. С. 57 — 64.

5. Журавская М.А., Тарасян В.С. Идентификация и сегментация логистических зон утилизации старых автомобилей на основе теории нечетких множеств // Транспорт Урала. 2010. № 3. С. 29 — 33.

6. Башуров В.В., Филимоненкова Т.И. Математические модели безопасности. Новосибирск : Наука, 2009. 87 с.

References

1. Karnauhov S.B. Logisticheskie sistemy v ekonomike Rossii. M. OOO Firma «Blagovest-V», 2002. 216 s.

2. Smekhov A.A. Marketingovye modeli transportnogo rynka. M.: Transport, 1998. 120 s.

3. Lukinsky V.S. i dr. Modeli i metody teorii logistiki. Piter. 2007. 448 s.

4. Kazakov A.L., Pospelov A.M. Opredelenie optimalnogo mestonahozhdeniya bazovogo kontejnernogo terminala. Transport Urala. 2008. № 2(17). S. 57-64.

5. Zhuravskaya M.A., Tarasyan V.S. Identifikatsiya i segmentatsiya logisticheskikh zon utilizatsii starykh avtomobilej na osnove teorii nechetkikh mnozhestv // Transport Urala. № 3 (26) 2010. S. 11-14.

6. Bashurov V.V., Filimonenkova T.I. Matematicheskie modeli bezopasnosti. Novosibirsk, Nauka. 2009. 87 s.

УДК 656.13.07

Николай Николаевич Якунин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта (ОГУ, Оренбург),
Светлана Владимировна Мячкова, генеральный директор ООО «Логистический Центр «ФОРВАРД», соискатель кафедры автомобильного транспорта ОГУ (Оренбург)

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Nikolai N. Yakunin, DSc, prof., head of Automobile transport department of Orenburg State University (OSU),
Svetlana V. Myachkova, general manager OOO Logistic Centre "FORVARD", applicant of Automobile transport department of Orenburg State University (OSU)

Requirements for trucks' fleet rational structure substantiation of automobile transport enterprise

Аннотация

Объектом исследования являются ведомственные автотранспортные предприятия, выделенные в отдельные юридические лица. Цель исследования — повышение эффективности эксплуатации смешанного автотранспортного предприятия за счет совершенствования структуры парка подвижного состава. Для достижения поставленной цели были использованы отдельные положения системного анализа, логистический подход, математическая статистика и математический аппарат теории вероятности. Предложенные научные разработки являются инструментом для решения задачи принятия эффективных управленческих решений. Выполнен анализ научных разработок, посвященных выбору оптимального подвижного состава. В результате предложен коэффициент валентности, который показывает, насколько эффективно используется технически исправный подвижной состав. Согласно разработанному алгоритму, для различных значений коэффициентов технического использования и валентности предлагаются управленческие решения, цель которых — повышение эффективности работы бывшего ведомственного предприятия.

Ключевые слова: автомобильный транспорт России, алгоритм принятия управленческих решений, ведомственный автомобильный транспорт, грузовые перевозки, критерий оценки эффективности подвижного состава, методика принятия и реализация управленческого решения, методы экспертной оценки, подвижной состав, структура парка подвижного состава, технико-экономические показатели, управленческие решения.

Annotation

The object of the investigation is the departmental automobile transport enterprises made as legal entity. The purpose of the investigation is the operating efficiency increase of various automobile transport enterprises by trucks' fleet rational structure improvement. There were used system analysis separate statements, logistic method, mathematical statistics and probability theory body of mathematics. The offered scientific developments are the means for problem decision of effective management decisions. There is made the analysis of scientific developments of choosing the best trucks' fleet in the paper. So there is offered the valence's coefficient which indicates the effective use of trucks' fleet. According to the developed algorithm for different coefficient's values of technical use and valence, there are offered management decisions, the purpose of which is the efficiency increase of previous departmental enterprise.

Key words: automobile transport of Russia, algorithm of management decisions, departmental automobile transport, cargo traffic, criterion of trucks' efficiency estimation, method of management decision making and its realization, methods of expert's judgment, trucks, structure of truck fleet, engineering-and-economical factors, managerial decisions.

Цель данной работы — повышение эффективности эксплуатации смешанного автотранспортного предприятия (АТП) за счет совершенствования структуры парка подвижного состава.

Действительно, процесс разукрупнения автотранспортных предприятий достаточно активно наблюдался начиная с 2000 г., после введения льготных режимов налогообложения субъектов малого предпринимательства.

До 2000 г. ведомственный транспорт был более «разношерстным». В строительном, агропромышленном и нефтегазодобывающем секторах экономики имелось достаточно много крупных автопредприятий.

Период начала рыночных преобразований в стране привел к ликвидации многих крупных предприятий и к уменьшению их автопарков. С возрастающим грузопотоком прежние АТП уже не могли справиться. Таким образом, стали создаваться новые частные автотранспортные компании небольшой мощности. Получило огромное развитие индивидуальное автопредпринимательство [1].

Индивидуальное (малое) автопредпринимательство позволило сформировать конкурентную среду, что, в свою очередь, привело к ценовому регулированию тарифов на грузоперевозки и соответственно к снижению доли транспортной составляющей в себестоимости продукции.

Перед руководителями таких автопредприятий встал вопрос выбора критериев оценки эффективности использования подвижного состава.

В случаях чрезвычайной сложности проблемы, ее новизны, недостаточности имеющейся информации, невозможности математической формализации процесса решения приходится обращаться к рекомендациям компетентных специалистов — экспертов. Их решение задачи, аргументация, формирование количественных оценок, обработка последних формальными методами получили название метода экспертных оценок.

В условиях недостаточно полной и недостоверной информации методы экспертных оценок дают вполне приемлемые результаты. Качество экспертных оценок в значительной степени определяется подготовкой экспертизы и применяемыми методами обработки информации, получаемой от экспертов.

e-mail: business-swm@yandex.ru

Основные этапы подготовки и проведения метода экспертной оценки с помощью анкетирования:

- формулировка цели экспертного анализа;
- подбор экспертов;
- получение экспертных оценок;
- обработка результатов опроса и анализ полученных данных.

Рациональное использование информации, получаемой от экспертов, возможно при условии преобразования ее в форму, удобную для дальнейшего анализа.

Групповая экспертная оценка может считаться надежной лишь при условии достаточной согласованности оценок экспертов. Проверку согласованности мнений экспертов можно осуществить с помощью:

- коэффициента ранговой корреляции Спирмена;
- коэффициента конкордации Кендела [2, 3].

Перед началом проведения экспертной оценки технико-эксплуатационных показателей работы автотранспортного предприятия дадим определение нашему объекту исследования.

Для эффективной работы автотранспортного предприятия необходимо, чтобы содержание подвижного состава в технически исправном состоянии было на высоком уровне. Ведомственные автотранспортные подразделения после выведения их в отдельное юридическое лицо помимо «разношерстного» подвижного состава получили в свое распоряжение и готовую ремонтную базу.

Таким образом, в исследовании будет учтено, что ведомственные автотранспортные подразделения, выделенные в отдельное юридическое лицо, имеют следующие характерные особенности:

1) автопарк состоит из автомобилей различного модельного ряда и разного срока эксплуатации;

2) работа ремонтной базы АТП соответствует стандартам, таким образом, коэффициент технической готовности будет оценивать техническое состояние самого подвижного состава;

3) появилась необходимость поиска и оценки заказов от сторонних организаций;

4) базовый заказ от головного предприятия сохранился и составляет в общем объеме работ более 70%;

5) в производственных целях для головного предприятия необходим специализированный подвижной состав. Поэтому автономное ведомственное автотранспортное подразделение обязано иметь на балансе данный вид транспорта для обеспечения нужд производства.

Необходимо понимать, что оптимальная организационная структура парка подвижного состава АТП — это одно из условий его эффективной деятельности.

В процессе оказания качественной услуги заказчику важную роль играют организация транспортного процесса и эффективное использование технически исправных транспортных средств; изыскание возможности для наиболее рационального осуществления перевозок с наименьшими затратами.

В общем случае принятие управленческого решения о выборе оптимального подвижного состава представляет собой сложную задачу. В то же время состоятельность того или иного решения можно изучить на упрощенном варианте модели этой задачи.

Рассмотрим модель принятия управленческого решения по выбору эффективного подвижного состава, введя предварительно следующие допущения:

1) ведомственное автотранспортное подразделение выделено в отдельное юридическое лицо;

2) на балансе предприятия числится подвижной состав различного возраста группы N_3;

3) одинаковые условия эксплуатации;

4) высокий уровень работы технической службы;

5) эффективным подвижным составом будет считаться подвижной состав, который соответствует следующим критериям:

$$\left.\begin{array}{l} \alpha^{\text{Факт}}{}_{\text{ТЧ}} \geq \alpha^{\text{Норм}}{}_{\text{ТЧ}} \\ t^{РИЭ}/\, t^{РИ} \geq k^{1}{}_{эксп} \end{array}\right\}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{ТЧ}}$ — коэффициент исправного технического состояния автомобиля (парка автомобилей);

$\alpha^{\text{Норм}}{}_{\text{ТЧ}}$ — нормативный коэффициент исправного технического состояния автомобиля [4];

$t^{\text{РИЭ}}$ — промежуток рабочего времени, в течение которого автомобиль находится в исправном состоянии и эксплуатируется [4];

$t^{\text{РИ}}$ — период пребывания автомобиля в исправном состоянии в рабочее время [4];

$k^{1}{}_{эксп}$ — экспертное определение значения соотношения $t^{РИЭ}/t^{РИ}$, выше которого подвижной состав является эффективным;

6) необходимо принятие управленческого решения, направленного на улучшение организации работы диспетчерской службы, если соблюдается условие

$$k^{2}{}_{эксп} \leq t^{РИЭ}/\, t^{РИ} < k^{1}{}_{эксп}, \quad (2)$$

где $k^{2}{}_{эксп}$ — экспертное определение значения соотношения $t^{РИЭ}/t^{РИ}$, ниже которого подвижной состав является неэффективным и выводится из АТП;

7) неэффективным является подвижной состав при соблюдении следующих условий:

$$\left.\begin{array}{l} \alpha^{\text{Факт}}{}_{\text{ТЧ}} < \alpha^{\text{Норм}}{}_{\text{ТЧ}} \\ t^{РИЭ}/\, t^{РИ} < k^{2}{}_{эксп} \end{array}\right\}. \quad (3)$$

При принятых допущениях $\alpha_{ТЧ}$ будет характеризовать только техническое состояние автомобиля и являться индикатором, позволяющим принять грамотное управленческое решение.

Нормативный, или ожидаемый, коэффициент технической готовности ($\alpha^{Норм}{}_{ТЧ}$) может быть рассчитан в АТП по каждому автомобилю. Фактический показатель $\alpha^{Норм}{}_{ТЧ}$, равный или превышающий нормативный (ожидаемый), говорит о высоком уровне технической исправности подвижного состава.

Для количественного определения критериев принятия управленческого решения присвоены соответственно коэффициенты $k^{1}{}_{эксп}$, $k^{2}{}_{эксп}$; выбрана группа экспертов из 10 человек.

Чтобы выбрать наиболее компетентных экспертов из числа имеющихся, необходимо определить шкалу оценок экспертов. Максимальный балл, равный 10, присваиваем

наиболее компетентному члену группы экспертов, минимальный балл, равный 1, — наименее компетентному. Мнения экспертов относительно друг друга приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Оценка компетентности группы экспертов

Эксперты, принимающие участие в оценке значимости других экспертов группы	Номер оцениваемого эксперта									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1-й эксперт	8	8	9	7	10	6	9	7	10	6
2-й эксперт	6	8	8	7	10	5	8	7	10	7
3-й эксперт	7	7	10	8	9	4	10	8	9	6
4-й эксперт	8	8	9	9	10	7	9	9	10	7
5-й эксперт	6	7	8	8	10	6	8	8	10	6
6-й эксперт	7	7	9	7	10	8	9	7	10	8
7-й эксперт	10	8	9	4	7	10	8	9	7	10
8-й эксперт	9	9	10	7	8	9	9	8	7	10
9-й эксперт	8	8	10	6	7	8	8	10	8	9
10-й эксперт	9	7	10	8	7	9	7	9	9	10
Математическое ожидание оценки эксперта $M_o = \frac{\sum_{1}^{m} a_{oi}}{m}$	7,8	7,7	9,2	7,1	8,8	7,2	8,5	8,2	9,0	7,9
Место эксперта в ранжированном ряду	7	8	1	10	3	9	4	5	2	6

Определив математическое ожидание, т. е. коллективное мнение экспертов о значимости каждого, можно проранжировать данную группу оценок. Первое место присваивается третьему эксперту, у которого математическое ожидание оценки равно 9,2, второе место девятому — M_o = 9,0 и т. д.

Для определения места эксперта в ранжированном ряду построим диаграмму (рис. 1) приоритетности экспертов. По оси абсцисс отложим номер эксперта, по оси ординат — математическое ожидание баллов его групповой оценки.

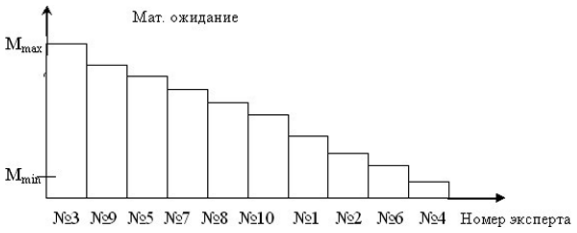


Рисунок 1 — Диаграмма распределения приоритетности экспертов

Таким образом, для оценки значения $k_{вал}$ экспертам необходимо было определить значение соотношения $t^{РИЭ}/t^{РИ}$, выше которого подвижной состав является эффективным. Выбраны 6 экспертов с наибольшими математическими ожиданиями групповой оценки.

Им предложено оценить два предела соотношения $t^{РИЭ}/t^{РИ}$:

- предел, выше которого подвижной состав является эффективным;
- предел, ниже которого подвижной состав является неэффективным и выводится из АТП.

Шесть экспертов дали оценки соотношению $t^{РИЭ}/t^{РИ}$, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2 — Значения экспертных оценок

Эксперт	**3**	**9**	**5**	**7**	**8**	**10**	**Сред.**
Верхний предел $t^{РИЭ}/t^{РИ}$	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,733
Нижний предел $t^{РИЭ}/t^{РИ}$	0,45	0,5	0,45	0,40	0,5	0,40	0,450

Так как в опросе участвуют несколько экспертов, расхождения в их оценках неизбежны, однако величина этого расхождения имеет значение. Групповая оценка может считаться достаточно надежной только при условии хорошей согласованности ответов отдельных специалистов.

Для анализа разброса и согласованности оценок применяются статистические характеристики — меры разброса.

Данные расчета согласованности экспертов сведены в табл. 3.

Таблица 3 — Расчет согласованности экспертов

$t^{РИЭ}/t^{РИ}$	Разница между оценкой *j*-го эксперта и среднеарифметической оценкой всех экспертов						Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации
	3	**9**	**5**	**7**	**8**	**10**		
Верхний предел $t^{РИЭ}/t^{РИ}$	0,067	0,067	-0,033	-0,033	0,067	-0,133	0,0817	10,43
Нижний предел $t^{РИЭ}/t^{РИ}$	0	0,05	0	-0,05	0,05	-0,05	0,0447	10,33

Такое низкое значение коэффициента вариации говорит о высокой согласованности экспертов.

Таким образом, лицо, принимающее управленческое решение по повышению эффективности работы автотранспортного предприятия, должно руководствоваться данными экспертной оценки.

В предыдущем разделе эксперты определили количественные пределы критерия принятия управленческого решения.

Результаты экспертной оценки соотношения $t^{РИЭ}/t^{РИ}$ следующие.

1. Предел, выше которого подвижной состав является эффективным, равен 0,733.

2. Предел, ниже которого подвижной состав является неэффективным и выводится из АТП, равен 0,450.

Важнейшая стратегическая задача технической эксплуатации на любом АТП — максимизация коэффициента технического использования автомобиля. Пропорция, устанавливающая связь между показателями $\alpha_{тч}$ и $\alpha_{вч}$, показывает, что $t^{РИЭ}$ достигает максимального значения, т. е. становится равным периоду пребывания автомобиля в исправном состоянии в рабочее время, если $\alpha_{тч} = \alpha_{вч}$, а $t^{РИ}$ становится равным $t^{Р}$ (рабочее время):

$$\frac{t^{РИЭ}}{t^{РИ}} = \frac{\alpha_{ВЧ}}{\alpha_{ТЧ}}, \qquad (4)$$

где $\alpha_{вч}$ — коэффициент использования автомобиля (парка автомобилей).

В качестве показателя, по которому будет принято управленческое решение, введем новый коэффициент — коэффициент валентности ($k_{вал}$).

Коэффициент валентности показывает, насколько эффективно используется технически исправный подвижной состав и как индикатор обращает внимание руководителя на то, какой подвижной состав требует принятия управленческих решений.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле

$$k_{вал} = \frac{k_{возр} \cdot \alpha_{ВЧ}}{\alpha^{Фактч}_{ТЧ}}, \quad (5)$$

где $\alpha^{Факт}_{тч}$ — коэффициент исправного технического состояния автомобиля (парка автомобилей);

$\alpha_{ВЧ}$ — коэффициент использования автомобиля (парка автомобилей);

$k_{возр}$ — коэффициент, учитывающий изменение приведенных затрат на отрезке времени $(0, t^C)$ и принимающий следующие значения: $k_{возр} = 0{,}9$ для подвижного состава старше 8 лет и $k_{возр} = 0{,}95$ для подвижного состава от 5 до 8 лет [5].

Из формулы (5) видно, что ее основу составляет отношение двух коэффициентов $\alpha_{ВЧ}$ и $\alpha^{Факт}_{ТЧ}$, что соответствует соотношению в формуле (4), и будет рассматриваться согласно принятым допущениям.

Из формул (4) и (5) следует, что

$$k^{Эксп}_{вал} = \frac{k_{возр} \cdot t^{РИ}}{t^{РИЭ}}. \quad (6)$$

Определим, какие управленческие решения может принять руководитель, используя имеющиеся данные (табл. 4).

Таблица 4 — Управленческие решения для повышения эффективности работы АТП

Номер решения	Условия принятия управленческого решения	Управленческое решение
Управленческое решение № 1	$\alpha^{Факт}_{тч} \geq \alpha^{Норм}_{тч}$; $k_{вал} \geq k^{Эксп}_{вал\,1}$	Подвижной состав является эффективным
Управленческое решение № 2	$\alpha^{Факт}_{тч} \geq \alpha^{Норм}_{тч}$; $k^{Эксп}_{вал\,2} \leq k_{вал} < k^{Эксп}_{вал\,1}$	Развиваем диспетчерскую службу
Управленческое решение № 3	$\alpha^{Факт}_{тч} \geq \alpha^{Норм}_{тч}$; $k_{вал} < k^{2}_{эксп}$	Продаем по рыночной цене
Управленческое решение № 4	$k^{ТИ}_{min} \leq \alpha^{Факт}_{тч} < \alpha^{Норм}_{тч}$; $k_{вал} \geq k^{Эксп}_{вал\,1}$	Обновляем подвижной состав
Управленческое решение № 5	$\alpha^{Факт}_{тч} < \alpha^{Норм}_{тч}$; $k_{вал} < k^{Эксп}_{вал\,1}$	Продаем по рыночной цене
Управленческое решение № 6	$\alpha^{Факт}_{тч} < k^{ТИ}_{min}$	Продаем по рыночной цене

Рассчитаем значения $k^{Эксп}_{вал\,1}$ и $k^{Эксп}_{вал\,2}$ (табл. 5).

Таблица 5 — Определение среднего значения $k^{Эксп}_{вал}$

Коэффициент	$k_{возр} = 0{,}9$	$k_{возр} = 0{,}95$	$k_{возр} = 1{,}0$	Сред.
$k^{Эксп}_{вал\,1}$	0,660	0,696	0,733	0,696
$k^{Эксп}_{вал\,2}$	0,405	0,428	0,450	0,428

Алгоритм решений представлен в виде блок-схемы на рис. 2.

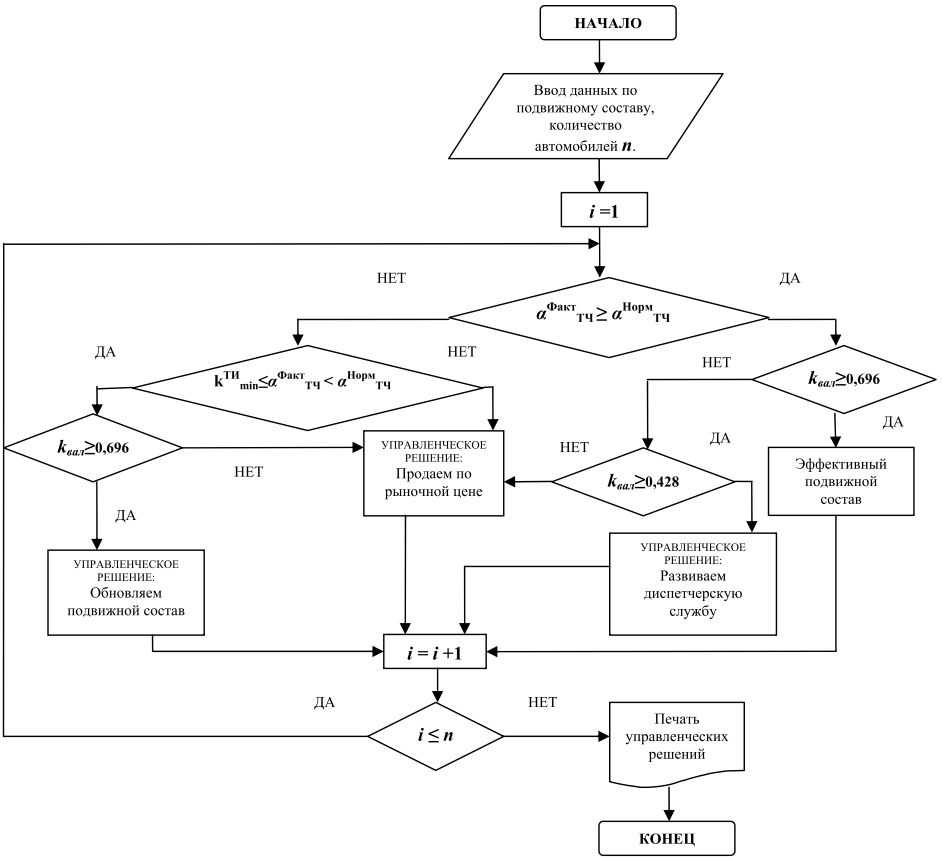


Рисунок 2 — Блок-схема принятия управленческих решений

На основе научных исследований была разработана методика принятия управленческого решения, нацеленного на повышение эффективности работы автономного ведомственного автотранспортного подразделения.

В табл. 6 представлена методика принятия и реализации управленческого решения средствами математико-статистического анализа.

Таким образом, решая задачу разработки методики, исходили из следующих условий:

1) методика должна учитывать полный срок эксплуатации и ухудшения параметров по мере старения автомобиля;

2) методика должна рассматривать экономическую и техническую сторону эксплуатации автомобиля;

3) методика должна быть нетрудоемкой, чтобы с ее помощью можно было оперативно оценить эффективность автомобиля;

4) методика должна быть пригодна для применения на практике [6].

Правомерность рассуждений может подтвердить или опровергнуть только практика. Покажем это на примере применения методики принятия управленческого решения с использованием коэффициента валентности в автономных ведомственных автотранспортных подразделениях Уральского и Восточно-Сибирского федеральных округов.

После проведения анализа, согласно разработанной методике и алгоритму управления структурой парка подвижного состава автотранспортного предприятия, были получены следующие результаты (табл. 7 и 8).

Таблица 7 — Сводная таблица достигнутых результатов работы АТП Уральского федерального округа

Факторы	Показатели		
	До проекта	После проекта	Результат
Количество подвижного состава категории N_3	25	20	
Коэффициент исправного технического состояния автомобиля (среднее значение по парку ООО «Транспорт-ЧТЗ») $\alpha^{Факт}_{тч}$	0,714	0,815	+14%
Коэффициент использования автомобиля $\alpha_{вч}$	0,608	0,803	+33%
Маржинальный доход, тыс. руб.	34 594,14	35 575,49	
Средний маржинальный доход на одно АТС, тыс. руб.	1383,77	1778,78	+28,6%

После принятия и реализации в АТП трех управленческих решений (продать неэффективный подвижной состав в количестве 5 единиц; обновить подвижной состав на 3 единицы; развить диспетчерскую службу с использованием программного обеспечения при планировании работы подвижного состава) прирост маржинального дохода составил 951 350,00 руб., $\alpha^{Факт}_{тч}$ в среднем по предприятию вырос на 14% и составил 0,815, $\alpha_{вч}$ вырос в среднем на 33% и составил 0,803.

Таблица 6 — Методика принятия и реализации управленческого решения

Этап	Цели и задачи	Методы	Средства
Подготовительный	Определение проблемы. Сбор исходных данных	Проведение аудита АТП	Таблица со статистическими данными (MS Office). Информационные потоки
Аудит финансово-хозяйственных результатов деятельности АТП	Изучение основных методов, принципов и форм организации работы АТП. Анализ системы управления АТП	Производственная программа по эксплуатации подвижного состава. Программа по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава. Экономические показатели работы АТП	Таблица со статистическими данными (MS Office). Информационные потоки. Данные бухгалтерского учета
Определение критериев выбора	Формирование альтернативных вариантов управленческих решений	Выбор эффективного подвижного состава по технико-эксплуатационным показателям	Алгоритм принятия управленческого решения. Коэффициент исправного технического состояния автомобиля. Коэффициент валентности
Принятие управленческого решения	Выбор управленческого решения по повышению эффективности работы подвижного состава	Принимаем одно из управленческих решений: подвижной состав является эффективным; развиваем диспетчерскую службу; продаем по рыночной цене; обновляем подвижной состав	Алгоритм принятия управленческого решения. Коэффициент исправного технического состояния автомобиля. Коэффициент валентности
Реализация управленческого решения	Повышение эффективности работы АВАП-методами и средствами управления	Развиваем диспетчерскую службу. Продаем по рыночной цене. Обновляем подвижной состав	Маржинальный калькулятор. Интернет-биржа. Спутниковый мониторинг. Рынок автотранспорта
Контроль реализации решения	Установление стандартов деятельности системы, подлежащих проверке. Измерение достигнутых результатов с ожидаемыми результатами. Корректировка управленческих процессов, если достигнутые результаты существенно отличаются от установленных стандартов	Проведение промежуточного аудита: производственная программа по эксплуатации подвижного состава; программа по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава; экономические показатели работы АТП	Таблица со статистическими данными (MS Office). Информационные потоки. Данные бухгалтерского учета

Таблица 8 — Сводная таблица достигнутых результатов работы АТП Восточно-Сибирского федерального округа

Факторы	Показатели		
	До проекта	После проекта	Результат
Количество подвижного состава категории N_3	67	55	
Коэффициент исправного технического состояния автомобиля (среднее значение по парку ООО «КраМЗ-Авто») $\alpha^{Факт}_{тч}$	0,81	0,83	+2,5%
Коэффициент использования автомобиля $\alpha_{вч}$	0,58	0,82	+41,4%
Маржинальный доход, тыс. руб.	30 957,69	36 488,11	
Средний маржинальный доход на одно АТС, тыс. руб.	462,06	663,42	+43,6%

После принятия и реализации в данном АТП трех управленческих решений (продажа неэффективного подвижного состава в количестве 12 единиц; обновление подвижного состава на 5 единиц; развитие диспетчерской службы с использованием программного обеспечения при планировании работы подвижного состава) прирост маржинального дохода составил 36 488 110,00 руб., $\alpha^{Факт}_{тч}$ в среднем по предприятию вырос на 2,5% и составил 0,83, $\alpha_{вч}$ вырос в среднем на 41,4% и составил 0,82.

В настоящей статье были проанализированы результаты аудита, проведенного в автотранспортных предприятиях с «разношерстной» структурой парка подвижного состава. Для принятия управленческого решения была использована блок-схема различных вариаций коэффициента валентности. Все это позволило после внедрения мероприятий достигнуть положительных результатов.

Данная модель принятия управленческих решений является универсальной и может быть применена в автотранспортных предприятиях, занимающихся перевозкой грузов.

Литература

1. Харазов А.М., Фанталов И.О. Политика и цели в области качества предприятий авторемонтного комплекса к.т.н. / Фонд сертификации ФТОЛА-НАМИ. [Электронный ресурс]. URL: http: //quality.eup.ru/ MATERIALY13 /pc_auto.htm

2. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта с помощью математических моделей. М.: МАДИ, 1980. 84 с.

3. Технология ремонта автомобилей: учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство» / Л.В. Дехтеринский, В.П. Апсин, Г.Н. Доценко и др.; под ред. Л.В. Дехтеринского. М.: Транспорт, 1979. 342 с.

4. Прудовский Б.Д., Ухарский В.Б. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям М.: Транспорт, 1990. 239 с.

5. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: методические рекомендации: распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р. М.: Ось-89, 2008. 128 с.

6. Нуретдинов Д.И. Методика выбора подвижного состава для автотранспортного предприятия по технико-экономическим критериям: дис. … канд. техн. наук. Набережные Челны, 2004. 172 с.

References

1. Harazov A.M., Fantalov I.O. Politika i tseli v oblasti kachestva predpriyatij avtoremontnogo kompleksa k.t.n. / Fond sertifikatsii "FTOLA_NAMI" http: //quality.eup.ru/ MATERIALY13 /pc_auto.htm

2. Zavadsky Yu. V. Reshenie zadach avtomobilnogo transporta s pomoshchyu matematicheskikh modelej. M.: MADI, 1980. 84 s.

3. Tekhnologiya remonta avtomobilej: Uchebnik dlya studentov vuzov po spets. «Avtomobili i avtomobilnoe hozyajstvo» / Dekhterinsky L.V., Apsin V.P., Dotsenko G.N. i dr. pod red. L.V. Dekhterinskogo. M.: Transport, 1979. 342 s.

4. Prudovsky B.D., Ukharsky V.B. Upravlenie tekhnicheskoj ekspluatatsiej avtomobilej po normativnym pokazatelyam M.: Transport, 1990. 239 s.

5. Normy rashoda topliv i smazochnykh materialov na avtomobilnom transporte metodicheskie rekomendatsii rasporyazhenie ministerstva transporta rossijskoj federatsii ot 14 marta 2008 g. № AM-23-p . M. Izdatelstvo «Os-89», 2008. 128 s.

6. Nuretdinov D.I. Metodika vybora podvizhnogo sostava dlya avtotransportnogo predpriyatiya po tekhniko-ekonomicheskim kriteriyam: dis. … kand. tekh. nauk. Naberezhnye Chelny, 2004. 172 s.

УДК 629.4.083:621.9.025.11

Александр Валентинович Сладковский, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики и промышленного транспорта, факультет транспорта (Силезский технический университет),
Владислав Николаевич Рубан, ассистент кафедры прикладной механики Национальной металлургической академии Украины (НМетАУ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРНЫХ ФАСОННЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ НА СТАНКАХ КЖ20

Alexander V. Sladkowski, DSc, professor, Head of Logistics and industrial transport department, Transport Faculty, Silesian University of Technology
Vladislav N. Ruban, assistant of Applied mechanics department of National metallurgical academy of Ukraine (NMetAU)

Interlocking shaped cutter design for repair of locomotives' wheel pairs roll surface on the machines KZh20

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы проектирования инструмента для колесофрезерных станков типа КЖ20. Известно, что применение новых профилей, например ДМетИ, позволяет уменьшить износ колесных пар локомотивов. При этом основным инструментом для ремонтной обточки колесных пар являются специальные фасонные фрезы. Статья посвящена вопросам автоматизированного проектирования таких фрез. Предлагается с этой целью использовать программный комплекс SolidWorks. Выполняется также моделирование напряженного состояния отдельных деталей фрез при помощи встроенного модуля COSMOSXpress.

Использование предложенной методики позволит усовершенствовать конструкцию фасонных фрез, повысить их надежность и долговечность, а также обеспечить обработку колесных пар локомотивов на новые профили поверхности катания с повышенной чистотой обработки их поверхности.

Ключевые слова: колесофрезерные станки КЖ20, фасонные фрезы, SolidWorks, напряженное состояние, COSMOSXpress.

Annotation

In the article there are viewed the issues of toll design for wheel milling machines of type KZh 20. It is known that application of new profiles, for example DMetI allows to decrease locomotives' wheel pairs' wear. The main tool for wheel pairs' repair turning is special shaped cutter. The article is devoted to the problems of such cutters automated design. There is offered the use of the program complex SolidWorks. There is also performed tension state simulation of some cutters' details with the help of embedded module COSMOSXpress.

The use of the offered method will allow to improve the construction of shaped cutters, to increase their reliability and durability and also to provide locomotives' wheel pairs' treatment to roll surface's new profiles with the higher processing frequency of their surface.

Key words: Wheel milling machines KZh20, shaped cutter, SolidWorks; tension state, COSMOSXpress.

Проблема износа вагонных и локомотивных колес на протяжении более 20 лет остается актуальной проблемой для железных дорог на постсоветском пространстве. В ряде работ разных исследователей назывались причины этого явления. В данной статье авторы не ставят своей задачей обсуждать эти причины. Тем не менее следует отметить, что значительные потери экономика несет не только от обычного, но и от «технологического» износа колес. Этот термин появился в работах ученых петербургской школы технологов. Под таковым явлением И.А. Иванов, С.В. Урушев и другие понимают непроизводительные потери колесной стали, которые имеют место при ремонтном восстановлении колесных пар.

Если для вагонных колесных пар во всем мире в основном используется одна технология — токарная обработка, то для локомотивов — два способа обработки без выкатки колесных пар: токарный и фрезерный. Сложилось исторически, что в большинстве европейских стран применяется токарная обработка, например, на станках фирмы RAFAMET UGD-150N или UGE-150N [1]. ООО «Рязанский станкостроительный завод» производит аналогичный станок модели РТ90801 [2]. Тем не менее для большинства колесных пар, обрабатываемых без их выкатки из-под локомотива, используется фрезерная обработка. Разработчиками указанной технологии были американские фирмы. По аналогии с колесофрезерными станками американского производства в СССР был создан и выпускался на протяжении многих лет ряд моделей станков типа КЖ20. В данных станках применяются специальные фасонные фрезы, которые являются высокотехнологической продукцией, использующей для резания твердосплавные резцы (чашки). Их количество отличается для разного типа фрез, а также зависит от того, для какого профиля поверхности катания предназначена фреза.

Одним из способов снижения износа колесных пар является использование перспективных профилей колес вагонов и

e-mail: aleksander.sladkowski@polsl.pl, vladislavruban@ua.fm

локомотивов. Очевидно, что такой подход должен быть комплексным, т. е. профили колес и рельсов должны быть согласованы по ряду критериев, например, таким, как динамика подвижного состава или напряженное состояние приконтактной зоны. Отметим, что подобные проблемы стоят не только для стран СНГ, но и для ряда других стран с развитой железнодорожной инфраструктурой. Например, в статье [3] разработан ряд новых профилей колес и рельсов для железных дорог США.

Аналогичный подход был использован в 80 — 90-е годы прошлого века для разработки новых профилей вагонных и локомотивных колес, которые доказали свою эффективность на магистральном и промышленном транспорте бывшего СССР. Указанные профили получили общее название «профили ДМетИ» (Днепропетровский металлургический институт, в настоящее время НМетАУ — Национальная металлургическая академия Украины). После многолетних испытаний они были допущены для повсеместной эксплуатации и вошли в ряд руководящих документов железнодорожного транспорта, например в инструкцию [4].

Освоение технологии восстановительного ремонта колесных пар локомотивов с использованием профилей ДМетИ заняло несколько лет. Первым в СНГ серийный выпуск фрез для обработки колесных пар локомотивов с данным профилем освоил Невьянский механический завод [5]. Совместно с группой разработчиков НМетАУ здесь также было освоено производство фрез с другими профилями.

Тем не менее при фрезерной обработке колесных пар чистота обработки поверхности колес и точность выполнения профиля оставляют желать лучшего. Например, «законодатель моды» в данном вопросе фирма Simmons Machine Tool Corporation производит фрезы для станков TN-84C, для которых точность выполнения профиля составляет 0,25 мм [6]. К сожалению, точность и чистота обработки поверхности для станков КЖ20 еще ниже.

Указанные недостатки фрезерной обработки на станках КЖ20, которые в условиях эксплуатации многократно увеличиваются из-за проблем с поддержанием работоспособности фрез в деповских условиях, могут быть решены только при помощи усовершенствования конструкции фрез. Авторами статьи [5] при разработке фрез была сделана попытка автоматизировать процесс расчета координат и углов наклона отдельных чашек. Для этого была разработана вычислительная программа, написанная на алгоритмическом языке MS QuickBASIC Extended. Указанная программа позволяла распределять резцы для каждого из ножей (резцедержателей) фрезы, а также для определения проектируемой чистоты обработки показать графически расположение всех резцов одновременно. К сожалению, графические возможности моделирования расположения резцов при помощи указанной программы являются весьма ограниченными. Данная программа не позволяла проанализировать возможности увеличения количества ножей, что могло бы способствовать повышению точности воссоздания профиля и чистоты обработки поверхности колес.

Важнейшей проблемой при проектировании новых конструкций фрез является увеличение срока их службы. Указанные фрезы используются не только для магистрального транспорта, но и в локомотивном хозяйстве промышленного транспорта. При этом обычно срок службы такого инструмента на промтранспорте существенно меньше. Это обусловлено более сложными условиями эксплуатации локомотивных колес, что, в свою очередь, приводит к их преждевременному износу с появлением ползунов, наваров и прочих дефектов, которые требуют особых режимов фрезерной обработки колесных пар. Например, в условиях работы горно-металлургического комплекса межремонтный срок службы сборных фасонных фрез составляет 3 — 6 месяцев. После чего потребуется ремонт с заменой ножей, твердосплавных резцов и кропотливая работа по настройке фрезы по соответствующему профилю поверхности катания.

Наиболее существенным фактором обеспечения долговечности фрез является прочность и надежность их конструкции. Стремление к повышению чистоты обработки ведет к уменьшению расстояния между отдельными чашками в ноже. Это ослабляет металлические перегородки между соседними чашками, а в условиях циклических нагрузок, воздействующих на данные резцы, способствует ослаблению посадки чашки в ее отверстии, что может приводить к разрушению как отдельных чашек, так и ножа в целом.

Использование для проектирования фрез современных систем автоматизированного проектирования и конструирования изделий (САПР) может устранить эти недостатки. Применение указанных программных продуктов позволяет существенно сократить время выхода изделия на рынок, повысить качество и в конечном счете конкурентоспособность выпускаемой продукции. Среди ряда доступных средств CAD была выбрана конструкторская система SolidWorks. Выбор этот был обусловлен, с одной стороны, большими возможностями проектирования, которыми обладает данная система, а с другой — благодаря относительно простому и понятному интерфейсу пользователя. Еще одним преимуществом рассматриваемой системы является интегрирование в нее модулей, позволяющее провести анализ напряженно-деформированного состояния изделий при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Это возможно осуществить с использованием модуля COSMOSWorks.

Сборная фасонная фреза для ремонтного восстановления профиля поверхности катания колеса подвижного состава машин рельсового транспорта состоит из корпуса со вставными ножами фасонного профиля, где по винтовой линии установлены сменные цилиндрические твердосплавные резцы, режущие кромки которых расположены по профильной линии ножа, отвечающей профилю поверхности катания колеса.

Конструкция сборной фасонной фрезы должна быть такой, чтобы каждый цилиндрический твердосплавный резец обрабатывал новый участок рабочей поверхности профиля катания локомотивного колеса при восстановительном ремонте на станке КЖ20. Однако именно это требование и создает значительные сложности при проектировании и изготовлении сборных фасонных фрез. Провести расчет фрезы вручную достаточно затруднительно. С учетом указанных недостатков на кафедре «Прикладная механика» НМетАУ был разработан проект, который позволит увеличить срок службы и межре-

монтный период работы сборных фасонных фрез и поверхности катания колесных пар локомотивов.

На первом этапе моделирования задается геометрия профиля локомотивного колеса, которая должна появиться после обработки его поверхности катания. На следующем этапе моделирования по заданным значениям габаритных размеров корпуса сборной фасонной фрезы и параметров цилиндрического и конического хвостовиков проектируется заготовка (рис. 1). САПР позволяет визуально контролировать результаты конструирования путем построения трехмерной модели в процессе выполнения каждого этапа в системе SolidWorks.

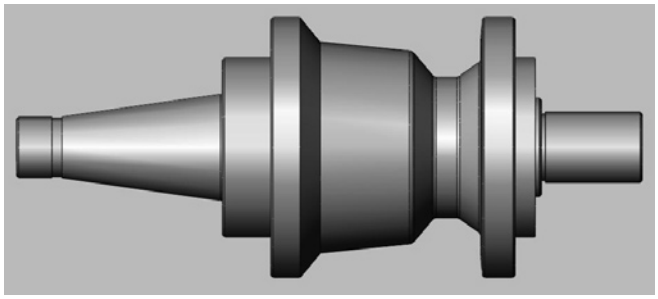


Рисунок 1 — Трехмерная модель заготовки корпуса фасонной фрезы

Далее задаются геометрические параметры шпоночного паза на цилиндрическом хвостовике, пазов для передачи крутящего момента, а также пазов, в которых непосредственно будут располагаться ножи. Количество пазов под ножи, их глубина и ширина, угол их наклона относительно оси корпуса задаются в зависимости от условий резания [7]. Программа SolidWorks позволяет моделировать технологические операции, которые выполняются на экране монитора с заготовкой корпуса фрезы, так, как это бы происходило при помощи технологических операций точного фрезерования, точения, сверления и т. д. На рис. 2 показана модель корпуса после выполнения указанных выше операций.

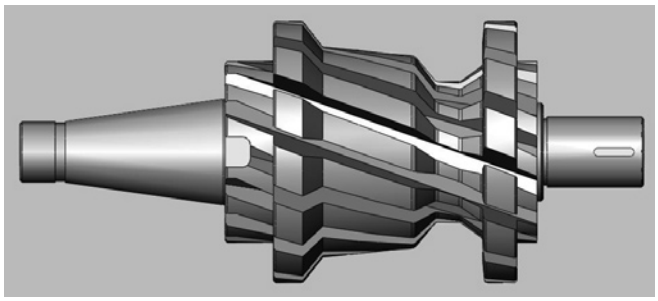


Рисунок 2 — Модель корпуса фасонной фрезы с пазами под ножи

Затем производится формирование пазов для клиньев, резьбовых отверстий под крепление ножей и фиксирующих колец (рис. 3). Ножи крепятся в корпусе при помощи двух болтовых соединений с корпусом фрезы. Тем не менее это крепление недостаточно. Для более надежного крепления ножей предусматриваются дополнительные клинья, которые прижимают каждый нож к стенке паза, выполненного в корпусе. В зависимости от технологической оснастки производства клинья могут быть разной геометрической формы, как и их пазы в корпусе. Один из вариантов выполнения пазов под клинья показан на рис. 3.

Далее в соответствии с выбранным профилем поверхности катания колесных пар выполняется моделирование заготовки ножей. Геометрические размеры находятся в зависимости от размеров пазов в корпусе. Если перед авторами проекта стоит задача увеличения количества ножей для фрезы, что может способствовать улучшению чистоты обработки поверхностей, следует вносить изменения в конструкцию как корпуса фрезы, так и заготовок ножей. Проектировщик в данном случае ограничен весовыми характеристиками фрезы, ее габаритными размерами, а также соображениями прочности ее конструкции. Увеличение количества ножей, которое было бы целесообразно с точки зрения качества обработки, если оставлять неизменной конструкцию заготовки ножей, приводит к существенному увеличению диаметра фрезы, ее массы, а также момента на приводном валу станка. Подобные решения являются спорными и должны рассматриваться отдельно для каждой предлагаемой конструкции. При этом обязательно должен выполняться прочностной расчет, позволяющий оценить напряженно-деформированное состояние всех элементов фрезы.

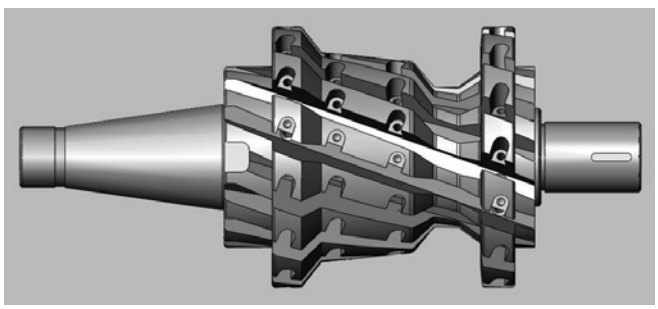


Рисунок 3 — Модель корпуса фрезы с пазами под ножи и пазами под клинья

Согласно технологии изготовления фрез, сначала в заготовках ножей выполняются отверстия под чашки, потом ножи устанавливаются в пазы корпуса в строго определенном порядке и маркируются в соответствии с номерами пазов. Затем левое (базовое) кольцо и правое кольцо крепятся к корпусу винтами. Далее выполняется токарная обработка собранной фрезы, при которой проводится так называемое «вскрытие ножей». Это достаточно ответственная операция, поскольку при неправильном монтаже и чрезмерном вскрытии ослабляются посадочные места отдельных чашек, что может приводить к их выкрашиванию. Недостаточное вскрытие ножей также плохо, поскольку в этом случае может происходить наволакивание металла колеса на элементы фрезы (ножи), что ухудшает качество обработки рабочей поверхности колес. Последней технологической операцией, проводимой над ножами, установленными в корпусе, является удаление заусенец металла, которые обязательно появляются при операции вскрытия.

При моделировании производства отдельных элементов фрез с использованием пакета SolidWorks авторы несколько

отступили от порядка выполнения реальных технологических операций, проводя сначала «обточку» ножей по заданному профилю, в результате чего получается заготовка, единая для всех ножей (рис. 4), а уже потом в готовой заготовке ножа, в зависимости от диаметра и высоты цилиндрических твердосплавных резцов, фрезеруются отверстия. Каждое отверстие под цилиндрический твердосплавный резец имеет свои две координаты X и Y, глубину h и угол наклона α. На рис. 5 в качестве примера показан нож № 1.

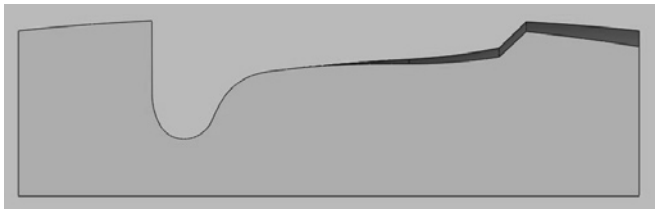


Рисунок 4 — Модель заготовки ножа

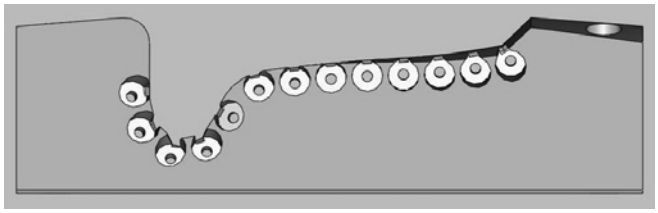


Рисунок 5 — Трехмерная модель ножа № 1

В зависимости от выбранных геометрических размеров ножей и цилиндрических твердосплавных резцов проектируются крепежные элементы или выбираются из библиотеки стандартных крепежных изделий в случае, если применены стандартные цилиндрические твердосплавные резцы. Последовательно из готовых элементов комплектуем каждый нож. При этом твердосплавные резцы устанавливаются в отверстия, а далее закрепляются при помощи болтового соединения (винт со специальной головкой под отверстие в чашке, гайка, шайба), как это показано на рис. 6.

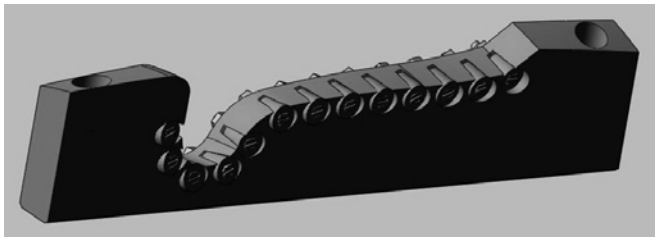


Рисунок 6 — Модель ножа № 1 в сборе

Последним этапом является окончательная сборка фасонной фрезы. При этом в корпусе закрепляются винтами фиксирующие кольца. Последовательно устанавливаются ранее собранные ножи и фиксируются в корпусе винтами. Указанные винты фиксируют ножи в вертикальном направлении. В горизонтальном (осевом) направлении ножи фиксируются установочными винтами, которые прижимают ножи к базовому кольцу. После чего устанавливаются клинья в пазы, прижимая ножи к корпусу фрезы и фиксируя их в окружном направлении. Такое крепление ножей обеспечивает их точное расположение в корпусе и работоспособность фрезы под воздействием циклических нагрузок. На рис. 7 показана модель фасонной фрезы в сборе.

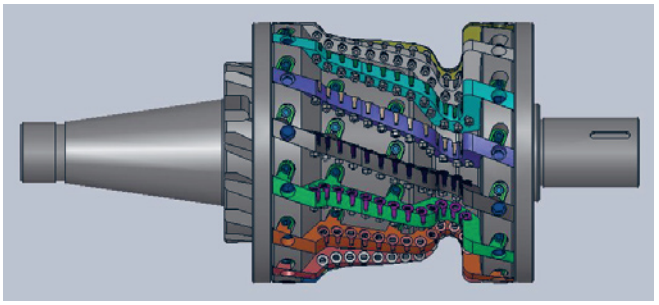


Рисунок 7 — Трехмерная модель фасонной фрезы в сборе

Для исследования напряженно-деформированного состояния элементов модели был использован модуль COSMOSXpress, интегрированный в CAD-систему SolidWorks, в котором результаты анализа проектирования базируются на линейном статическом анализе при помощи МКЭ. В качестве примера на рис. 8 и 9 представлены результаты расчета напряженного состояния (эквивалентные напряжения в соответствии с критерием Губера — Мизеса — Генки) для твердосплавного резца и корпуса фрезы.

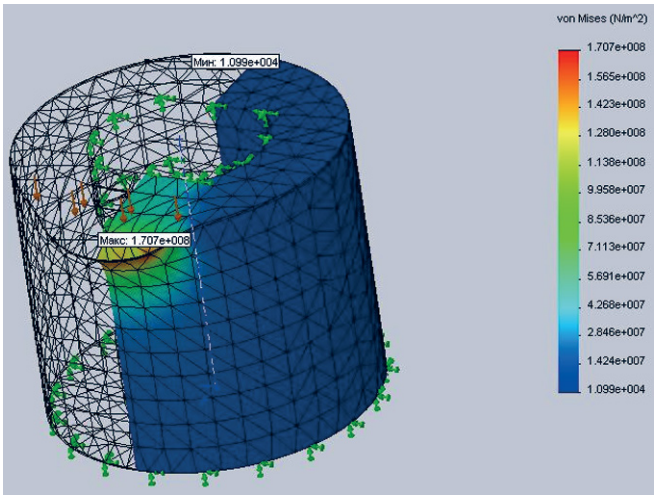


Рисунок 8 — Напряженное состояние твердосплавного резца

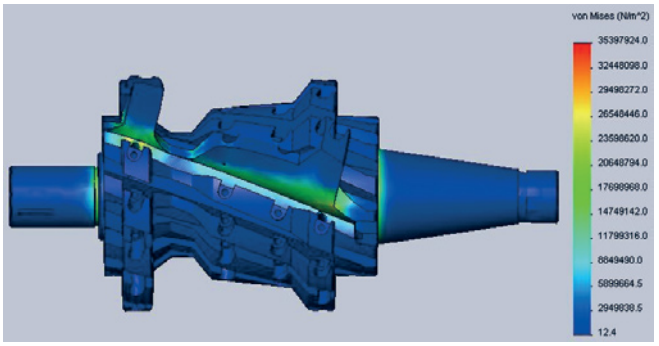


Рисунок 9 — Расчет корпуса фасонной фрезы

Указанный выше расчет был выполнен по упрощенной схеме. Очевидно, что полный расчет должен был бы учитывать не только усилия резания или условия закрепления отдельных деталей, но также и их контактное взаимодействие между собой. Выполнение такого расчета возможно только при помощи специализированных МКЭ-программ, например MSC.MARC. Однако для оценки работоспособности конструкции фрезы описанный выше подход представляется достаточным.

Практическая ценность работы заключается в совокупности научно обоснованных технических решений по эффективному проектированию и моделированию сборных фасонных фрез для восстановительного ремонта поверхности катания колесных пар локомотивов, что может способствовать сокращению сроков проектирования и снижению трудоемкости конструкторско-технологической подготовки производства.

Литература

1. Станки компании RAFAMET для обработки колесных пар // Железные дороги мира. 1999. № 4.

2. Данилов Б. Колесотокарные станки. Часть I / Оборудование. 2006. № 2.

3. Saurenman H., Caldwell R. Implementing Optimized Wheel and Rail Profiles on the Sacramento LRT System. [Электронный ресурс]. URL: http://www.arema.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arema/library/2001_Conference_Proceedings/00025.pdf

4. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. ЦТ-329. М. : МПС РФ, 1995.

5. Есаулов В.П., Сладковский А.В., Шмурыгин Н.Д. Фасонные фрезы для профильной обработки локомотивных колес // Машиностроение Украины. 1995. № 2.

6. TN-84C Stanray Wheel Truing Machine. [Электронный ресурс]. URL: http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=58

7. Сладковский А.В., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. Выбор угла наклона ножей фасонной фрезы для колесофрезерного станка КЖ-20 // Науковий вісник Національного гірничого університету. 2003. № 11.

References

1. Stanki kompanii RAFAMET dlya obrabotki kolesnykh par // Zheleznye dorogi mira. 1999. № 4.

2. Danilov B. Kolesotokarnye stanki. Chast I: Oborudovanie. 2006. № 2 (110).

3. Saurenman H., Caldwell R. Implementing Optimized Wheel and Rail Profiles on the Sacramento LRT System // http://www.arema.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arema/library/2001_Conference_Proceedings / 00025.pdf

4. Instruktsiya po formirovaniyu, remontu i soderzhaniyu kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 mm. TST-329. Moskva / MPS RF, 1995.

5. Esaulov V.P., Sladkovsky A.V., Shmurygin N.D. Fasonnye frezy dlya profilnoj obrabotki lokomotivnykh koles // Mashinostroenie Ukrainy. 1995. № 2.

6. TN-84C Stanray Wheel Truing Machine // http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=58

7. Sladkovsky A.V., Khmilenko V.S., Ruban V.N. Vybor ugla naklona nozhej fasonnoj frezy dlya kolesofrezernogo stanka KZH-20 // Naukovij visnik Natsionalnogo girnichogo universitetu. 2003. №11.

УДК 528.48(625.11+625.72)

Вячеслав Семенович Шварцфельд, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Изыскания и проектирование железных дорог» (ДВГУПС, Хабаровск),
Андрей Вячеславович Никитин, доцент кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» (ДВГУПС, Хабаровск),
Аркадий Рудольфович Едигарян, доцент кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» (ДВГУПС, Хабаровск)

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Vyacheslav S. Shvartsfeld, DSc, professor, The head of "Railway survey and construction" department, (FESTU, Khabarovsk),
Andrey V. Nikitin, associate professor of "Railway survey and construction" department, (FESTU, Khabarovsk),
Arkady R. Edigaryan, associate professor of "Railway survey and construction" department, (FESTU, Khabarovsk)

Problems of perfection of methods engineering-geodetic surveys for development of multimodal transport corridors infrastructure

Аннотация

Применение приемников глобальных навигационных спутниковых систем (GPS и ГЛОНАСС) позволяет оперативно получать надежные данные для контроля технического состояния и геометрии различных элементов инфраструктуры системы международных мультимодальных транспортных коридоров. Также рационально применение двухчастотных GPS-приемников Trimble 5700 с целью контроля теодолитных ходов большой протяженности для проектирования реконструкции верхнего строения пути участков железных дорог с использованием относительного метода определения. При этом при построении плановой геодезической сети с применением электронных тахеометров и GPS-приемников двукратное отклонение от нормативных требований к расстояниям между точками съемочного обоснования не влияет на ее качество. Разработаны способы определения радиусов при паспортизации автомобильных дорог при помощи спутниковых приемников, позволяющие увеличить производительность и качество работ.

Ключевые слова: мультимодальные транспортные коридоры, приемники глобальных навигационных спутниковых систем.

Annotation

Ways of definition of radiuses are developed at certification of highways with application of the satellite receivers, allowing to increase productivity and quality of works .The application of receivers of global navigating satellite systems (GPS and ГЛОНАСС) allows operatively to receive the reliable data for the control of a technical condition both geometry of various infrastructure elements of system of the international multimodal transport corridors. Also use of two-frequency GPS-receivers Trimble 5700 for the purpose of the control theodolitic courses for designing of reconstruction of the top structure of a way of sites of railways with use of a relative method of definition is rational the big extent. Thus at construction of a planned geodetic network with application electronic takheometrs and GPS-receivers the double deviation from standard requirements to distances between points of a film-making substantiation does not influence its quality. Ways of definition of radiuses are developed at certification of highways with application of the satellite receivers, allowing increasing productivity and quality of works.

Key words: multimodal transport corridors, receivers of global navigating satellite systems.

В настоящее время Россия активно участвует в создании и формировании международных мультимодальных транспортных коридоров (ММТК). При этом важная роль отводится Дальневосточному региону, обеспечивающему связь между поставщиками и потребителями грузов стран АТР и Европы.

Вопросам системного представления и методологии создания ММТК посвящены работы ученых МГУПС и ДВГУПС [1 — 3]. Магистральный транспорт как элемент системы мультимодальных транспортных коридоров включает в себя железнодорожный, автодорожный транспорт, трубопроводы и терминалы, позволяющие осуществлять взаимодействие между объектами системы.

Важнейшим фактором функционирования системы ММТК является получение оперативных данных для контроля технического состояния и геометрии различных элементов и узлов. На данном этапе выполнение инженерно-геодезических работ осуществляется предприятиями и организациями, относящимися к различным министерствами и ведомствам. В связи с этим назрела необходимость проведения единой политики в области геодезии для повышения надежности и качества предоставления геоданных.

Решение проблемы совершенствования инженерно-геодезических изысканий для ММТК становится актуальным в настоящее время, когда появились современные средства автоматизации геодезических измерений, такие как электронные тахеометры, кодовые нивелиры и теодолиты, приемники глобальных навигационных спутниковых систем (GPS — США и ГЛОНАСС — Россия), позволяющие в автоматическом режиме определять координаты различных точек земной поверхности и инженерных сооружений. Это делает возможным использовать их в качестве пространственных данных в геоинформационных системах, призванных накапливать, сохранять и выдавать нужную информацию на этапах изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации линейных сооружений.

e-mail: svs@festu.khv.ru, avnik1961@mail.ru, sad@festu.khv.ru

Данная работа посвящена вопросам комплексного использования приемников глобальных навигационных спутников систем (ГНСС) и электронных тахеометров при выполнении геодезических работ на железных и автомобильных дорогах как элементах инфраструктуры ММТК.

В 2008 г. изыскательской партией ДВГУПС были выполнены инженерно-геодезические работы для проектирования реконструкции верхнего строения пути участков Забайкальской железной дороги общей протяженностью около 165 км. Работа производилась совместно с проектно-изыскательским институтом «Забайкалжелдорпроект» — филиалом ОАО «Росжелдорпроект», который выполнил разбивку пикетажа и предоставил отметки головки рельса по пикетам и по осям искусственных сооружений.

Для выполнения тахеометрической съемки в пределах полосы отвода намеченных участков специалистами ДВГУПС были проложены базисные ходы съемочного геодезического обоснования. В соответствии с нормативными документами [4, 5] допустимая относительная ошибка проложения базисных ходов съемочного геодезического обоснования вне путевого развития железнодорожных станций не должна превышать 1/2000.

С целью обеспечения необходимой точности измерений нами была разработана специальная методика, основные постулаты которой рассмотрим на примере участка протяженностью 39 км, расположенного на Шилкинской дистанции пути.

Геодезическое обоснование осуществлялось с применением электронных тахеометров Sokkia 510L и Sokkia 530RL, при этом количество точек сети составило 79 (st1 — st79). Расстояние между ними в основном соответствовало требованиям СНиП. Из источников [6, 7] известно, что на точность определения местоположения объектов на таких протяженных участках значительно влияет угловая ошибка, которая в нашем случае может достигать нескольких метров.

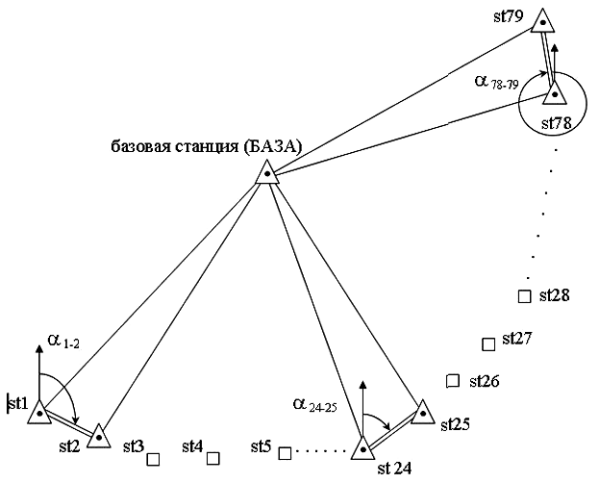
В соответствии с техническим заданием были определены координаты точек геодезического обоснования в условной системе с применением двухчастотных спутниковых навигационных GPS-приемников Trimble 5700.

Основные положения о современных спутниковых системах навигации, принципиальных методах измерения базисных линий, а также их применении при инженерно-геодезических изысканиях линейных сооружений приведены в работах [7 — 9].

Так как координаты пунктов были определены в условной системе координат, в начале которой была установлена базовая станция (база), то калибровка координат для перехода в местную или государственную систему в дальнейшем не требовалась.

При проектировании геодезической сети учитывался ряд факторов: расстояние между GPS-пунктами, определенными в режиме Fast Static, должно быть не более 4 — 5 км; пункты должны быть расположены в условиях хорошей видимости южной стороны (специфика траектории орбит спутников группировки GPS); для передачи азимута (дирекционного угла) необходимо определять попарно две рядом расположенные точки.

Схематично опорная GPS-геодезическая сеть представлена на рис. 1. Базовая станция (база) непрерывно работала весь период наблюдений (около 10 ч при температуре воздуха в диапазоне от -20 до -30°С), а подвижный приемник отключался при перемещении. При определении координат пунктов сети подвижным приемником использовалась двухчастотная статическая съемка (Fast Static) как наиболее точный метод GPS-наблюдений. Рекомендуемое время нахождения на пункте в этом режиме составляет 8 мин при отслеживании 7 и более спутников. Но для контроля время нахождения было увеличено двукратно. Кроме того, после 15.00 местного времени количество спутников в районе производства работ резко уменьшалось (временами до 4), что приводило к ухудшению PDOP, поэтому приходилось проводить повторные измерения в оптимальные утренние часы.



△ – базовая станция и пункты GPS определений;

st3□ – точки геодезического съёмочного обоснования;

$\alpha_{1\text{-}2}$, $\alpha_{24\text{-}25}$, $\alpha_{78\text{-}79}$ – дирекционные углы.

Рисунок 1 — Опорная GPS-геодезическая сеть

После сбора полевых данных информация из приемников (базовой станции и ровера) передавалась в специализированную программу Trimble Geomatics Office (TGO). Программа TGO позволяет создавать новый проект, задавать свойства и устанавливать необходимую систему координат. В проекте были заданы плоские прямоугольные координаты базы (X = 0.000, Y = 0.000) и Балтийская система высот.

После автоматической обработки базовых линий процессор базовых линий представляет информацию об итогах обработки. Критериями обработки являются: отношение, коэффициент дисперсии, СКО, тип решения. На основании значений указанных критериев определяется, какие из решений по базовым линиям будут приемлемыми. После окончательной обработки базовых линий был получен отчет, на основе которого был составлен каталог координат пунктов. Полученные координаты использовали для дальнейшей обработки геодезической съемочной сети в программе уравнивания теодолитных ходов, разработанной в ДВГУПС.

В табл. 1 приведены данные геодезических параметров, характеризующих плановое геодезическое обоснование.

Таблица 1 — Геодезические параметры планового геодезического обоснования

GPS-станции (от)	GPS-станции (до)	Горизонтальные проложения, м	Количество точек геодезического обоснования	Количество переходов с коротких на длинные стороны	Относительная ошибка $f_{отн}$
1 — 2	11 — 12	3826	10	4	1/1562
11 — 12	24 — 25	5216	13	1	1/7372
24 — 25	33 — 34	3767	9	2	1/6808
33 — 34	42 — 43	4210	8	1	1/3886
42 — 43	53 — 54	5204	11	4	1/1646
53 — 54	58 — 59	2357	5	2	1/19124
58 — 59	65 — 66	3286	7	2	1/15797
70 — 71	78 — 79	3829	8	1	1/3951

Другим важнейшим элементом инфраструктуры ММТК являются автомобильные дороги. При этом одной из наиболее характерной и значимой задачей реконструкции автомобильных дорог является съемка криволинейных участков.

Решать эту задачу можно различными способами. Один из них предусматривает восстановление положения вершины угла поворота путем продолжения створов прямых участков оси дороги до и после кривой с последующим измерением угла поворота и биссектрисы и нахождением по их значениям радиуса круговой кривой и других элементов [7, 10].

Однако положение вершины угла поворота не всегда возможно установить из-за условий местности. В таких случаях используют иные методы определения радиусов горизонтальных кривых.

Авторами предложен способ определения радиусов кривых на автомобильных дорогах с применением приемников ГНСС. Он основан на геометрической теореме о том, что центральный угол, образованный радиусами и опирающийся на дугу окружности, равен удвоенному значению угла, образованного отрезками, проведенными к этой же дуге из любой точки окружности, не лежащей на данной дуге.

Первым рассмотрим случай определения элементов кривой (рис. 2), когда перед кривой и за ней находятся прямые участки трассы (линии 1 — 2 и 3 — 4).

Точки 2 и 3 находятся в начале и конце кривой. Для точек 1 — 4 на местности определены координаты приемником ГНСС. Из решения обратных геодезических задач находятся дирекционные углы α_{1-2}, α_{3-4}, α_{2-3} и горизонтальная длина хорды 2 — 3 (ℓ) по формулам:

$$tg\alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1};$$

$$\alpha_{1-2} = arctg\alpha_{1-2}, tg\alpha_{2-3} = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}, tg\alpha_{3-4} = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3};$$

$$\ell_{2-3} = \frac{x_3 - x_2}{cos\,\alpha_{2-3}} = \frac{y_3 - y_2}{sin\,\alpha_{2-3}}, \quad (1)$$

где x_i, y_i — координаты точек, определяемые GPS-приемниками.

Для контроля вычислений в соответствующем модуле программы TGO также решается обратная геодезическая задача, определяются дирекционные углы и длины линий.

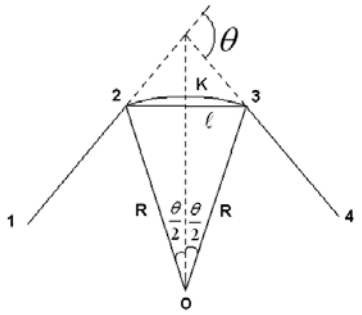


Рисунок 2 — Определение радиуса горизонтальной кривой

Угол поворота трассы θ вычисляют так:

$\theta_п = \alpha_{3-4} - \alpha_{1-2}$ (для правых углов поворота);

$\theta_л = \alpha_{1-2} - \alpha_{3-4}$ (для левых углов поворота). (2)

Радиус кривой определяют по формуле

$$\frac{\ell}{2} = R\,sin\frac{\theta}{2};\ R = \frac{\ell}{2\,sin\frac{\theta}{2}}. \quad (3)$$

Длину кривой K находят из известного выражения

$$K = \frac{\pi R\theta^\circ}{180^\circ}. \quad (4)$$

Довольно часто в практике паспортизации автомобильных дорог встречаются случаи, когда прямые участки трассы незначительны по величине или отсутствуют. Тогда для нахождения элементов кривой необходимо на кривой иметь координаты не менее 3 точек, как это показано на рис. 3.

Точки 1 и 3 находятся в начале и конце кривой, а точка 2 в произвольной части кривой. По координатам точек 1, 2 и 3 решаются обратные геодезические задачи по формулам (1) и находятся дирекционные углы α_{1-2}, α_{2-3}, α_{1-3}, а также горизонтальные длины хорд ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3.

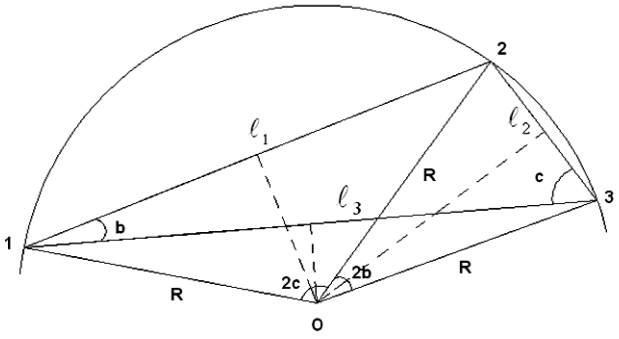


Рисунок 3 — Схема определения радиусов горизонтальных кривых

Решение задачи сводится к вычислению горизонтальных углов b и c как разности соответствующих дирекционных углов:

$$b = \alpha_{1-3} - \alpha_{1-2};\ c = \alpha_{3-2} - \alpha_{3-1}. \quad (5)$$

Если угол b образован прямыми, исходящими из точки, лежащей на окружности к дуге 2 — 3, то центральный угол, образованный радиусами к той же дуге 2 — 3, равен $2b$ (см. рис. 3). Угол поворота $\theta = 2b + 2c = 2(b + c)$.

Радиус находится по формулам:

$$R = \frac{\ell_2}{2\sin b};\ R = \frac{\ell_1}{2\sin c};\ R = \frac{\ell_3}{2\sin(b+c)}. \quad (6)$$

Длину кривой определяют так:

$$\frac{K}{2(b+c)} = \frac{\pi R}{180^\circ};\ K = \frac{\pi R(b+c)^\circ}{90^\circ}. \quad (7)$$

С помощью предложенной теоремы также возможно вычислять и радиусы вертикальных кривых на автомобильных дорогах.

Анализируя полученные данные и результаты, можно сделать следующие выводы:

— использование приемников ГНСС и электронных тахеометров позволяет оперативно получать надежные геоданные для контроля элементов инфраструктуры ММТК;

— применение двухчастотных GPS-приемников с целью контроля теодолитных (полигонометрических) ходов большой протяженности для проектирования реконструкции верхнего строения пути участков железных дорог с использованием относительного метода определения координат обеспечивает необходимую точность измерений;

— при построении плановой геодезической сети с применением электронных тахеометров и GPS-приемников двукратное отклонение от нормативных требований к расстояниям между точками съемочного обоснования не влияет на ее качество;

— негативное воздействие на точность теодолитных (полигонометрических) ходов оказывают построения, в которых присутствует значительное количество переходов с коротких на длинные стороны обоснования;

— расстояния между GPS-пунктами в ходах съемочного обоснования следует проектировать в интервале 2500 — 3500 м;

— разработанные способы определения радиусов при паспортизации автомобильных дорог с применением спутниковых приемников позволяют увеличить производительность и качество работ.

Литература

1. Галахов В.И. Мультимодальные транспортные коридоры. М. : Транспорт, 2001. 71 с.

2. Смолева С.В., Гончарук С.М. Системное представление облика мультимодального транспортного коридора // Проблемы развития сети железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. С. 15 — 27.

3. Смолева С.В., Гончарук С.М. Проблемы совершенствования методологии формирования эффективной области альтернатив изменения облика и мощности мультимодальных транспортных коридоров // Проблемы развития сети железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. С. 27 — 35.

4. ВСН 208-89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог. М. : Минтрансстрой, 1990. 111 с.

5. СНиП 11.02.96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М. : Росстройизыскания, 1997. 102 с.

6. Инструкция по полигонометрии и триангуляции. М. : Недра, 1976. 105 с.

7. Никитин А.В. Совершенствование методов геодезических работ в транспортном строительстве : монография. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2007. 152 с.

8. Жданов Н.Д., Макаренко Н.Л. О концепции перехода топографо-геодезического производства на автономные методы спутниковых координатных определений // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 1998. № 2 (14). С. 27 — 28.

9. Гольдман В.И. Специальная геодезическая сеть скоростной железнодорожной магистрали // Транспортное строительство. 1998. № 3. С. 17 — 19.

10. Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений. М. : Транспорт, 1983. 102 с.

References

1. Galahov V.I. Multimodalnye transportnye koridory. M.: Transport, 2001. 71s.

2. Smoleva S.V., Goncharuk S.M. Sistemnoe predstavlenie oblika multimodalnogo transportnogo koridora // Problemy razvitiya seti zheleznykh dorog : Mezhvuz. sb. nauch. tr. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS 2006. S.15 — 27.

3. Smoleva S.V., Goncharuk S.M. Problemy sovershenstvovaniya metodologii formirovaniya effektivnoj oblasti alternativ izmeneniya oblika i moshchnosti multimodalnykh transportnykh koridorov // Problemy razvitiya seti zheleznykh dorog : Mezhvuz. sb. nauch. tr. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2006. S.27 — 35.

4. VSN 208-89. Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya zheleznykh i avtomobilnykh dorog. M.: Mintransstroj , 1990. 111s.

5. SNiP 11.02.96. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Osnovnye polozheniya. M.: Rosstrojizyskaniya, 1997. 102s.

6. Instruktsiya po poligonometrii i triangulyatsii. M.: Nedra, 1976. 105s.

7. Nikitin A.V. Sovershenstvovanie metodov geodezicheskikh rabot v transportnom stroitelstve: Monografiya. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2007. 152s.

8. Zhdanov N.D., Makarenko N.L. O kontseptsii perekhoda topografo-geodezicheskogo proizvodstva na avtonomnye metody sputnikovykh koordinatnykh opredelenij // Informatsionnyj byulleten GIS – Assotsiatsii, 1998. № 214. S.27 — 28.

9. Goldman V.I. Spetsialnaya geodezicheskaya set skorostnoj zheleznodorozhnoj magistrali // Transportnoe stroitelstvo. 1998. №3. S.17 19.

10. Instruktsiya po razbivochnym rabotam pri stroitelstve, rekonstruktsii i kapitalnom remonte avtomobilnyh dorog i iskusstvennykh sooruzhenij. M.: Transport, 1983. – 102s.

УДК 625.7/8004(075.8)

Юрий Дмитриевич Силуков, доктор технических наук, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург), заслуженный деятель науки и техники России, Почетный дорожник России

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СЦЕПЛЕНИЕ КОЛЕС ТРАНСПОРТА

Yuri D. Silukov, DSc, professor of "Transport and Road Construction" department of the Ural State Forest Engineering University (Ekaterinburg), Honoured Science and Technology Worker, Honorary railwayman of Russia

Influence of surface roughness wear of motor roads on the transport wheels' grip

Аннотация

Устройство шероховатых слоев износа на асфальтобетонных дорогах увеличивает срок службы и безопасность движения. Использование слоев износа в Свердловской области стало возможным благодаря производству битумной эмульсии и кубовидного щебня, местными предприятиями. Толщина слоя износа 1 см.

Полученная шероховатость (глубина впадин) измерялась методом песчаного пятна. Глубина впадин составила: после первого года эксплуатации — 0,82 мм, через 2 года — 0,62 мм и через 3 года — 0,22 мм.

Коэффициент сцепления после первого года эксплуатации равен 0,43, через 2 года — 0,33, через 3 года 0,25 — 0,30, т.е. через 3 года работы слой износа не обеспечивает нормальную эксплуатацию дороги.

Ключевые слова: шероховатость, сцепление, износ шероховатости, слой износа, гладкий асфальтобетон, ремонт слоя износа.

Annotation

The device of rough layers' wear on the asphaltic concrete road increases traffic life time and safety. The use of wear layers in Sverdlovsk region became possible due to the emulsified asphalt and cubiform crushed stone production by the local enterprises. Layers' wear thickness is 1 cm.

The investigated roughness (spot's depth) was measured by the method "Sand spot". Spot's depth was: after the first year of maintenance — 0,82 mm and after 2 years — 0,62 mm and after 3 years 0,25-0,30 so after 3 years of work the wear' s layer don't provide the normal road maintenance.

Key words: roughness, grip, roughness wear, wear's layer, even blacktops, repair of layer's wear.

Устройство шероховатых слоев износа на асфальтобетонных дорогах имеет большое значение, так как увеличивает срок службы покрытия дороги и обеспечивает более безопасное движение автомобильного транспорта. При этом уменьшается длина тормозного пути и повышается сила тяги автомобиля по сцеплению его колес с дорогой.

Устройство слоев износа на дорогах Свердловской области стало возможным благодаря разработанной технологии [1, 2], учитывающей использование местных дорожно-строительных материалов. Битумная эмульсия выпускается на Сухоложском заводе, а кубовидный щебень на Монетном щебеночном заводе.

Слои износа делаются на дорогах многих стран, технология их укладки называется «Сларри Сил». Обычно слои износа имеют толщину 1 см.

В Свердловской области слои износа по технологии «Сларри Сил» были сделаны на опытных участках дорог Сухой Лог — Богданович и Екатеринбург — Нижний Тагил — Серов. Протяженность слоев износа от 5 до 10 км. Применялся кубовидный щебень фракции до 10 мм и битумная эмульсия ЭБП К-3.

Измерение полученной шероховатости на поверхности слоя износа делалось методом песчаного пятна. Для этого на чистое, сухое и ровное место на слое износа распределялся заданный объем песка, который разравнивался вровень с поверхностью покрытия. Затем измерялась площадь песка и рассчитывалась глубина впадин шероховатой поверхности путем деления объема песка на его площадь.

Глубина впадин измерялась после 1, 2 и 3 лет эксплуатации дороги. Статистическая обработка результатов измерений велась с помощью табличного процессора MS Excel.

Были получены следующие значения глубины впадин слоя износа: после 1 года эксплуатации — 0,82 мм, через 2 года — 0,62 мм и через 3 года — 0,22 мм. Получается, что после 2 лет износ шероховатости составляет 26%, а спустя 3 года уже 74%.

Наиболее интенсивный износ шероховатости наблюдается в течение третьего года эксплуатации дороги. В первые два года толщина слоя износа уменьшается гораздо медленнее. Можно предположить, что после 2 лет эксплуатации слоя износа начинается старение его материалов, образуются мик-

e-mail: silukov.ud@mail.ru

ротрещины, увеличиваются деформации и наступает более интенсивный его износ.

В конце третьего года эксплуатации глубина впадин шероховатости уменьшается до 0,22 мм, что соответствует практически гладкому асфальтобетонному покрытию. На таком покрытии уменьшается сцепление колес автомобилей, что снижает их эксплуатационные качества.

С целью проверки влияния глубины впадин на коэффициент сцепления были произведены измерения на опытных участках с помощью переносного прибора ППК-МАДИ-ВНИИБД. Движение имитаторов прибора устанавливалось параллельно оси проезжей части, что обеспечивало однородное покрытие под обоими имитаторами. Дорожное покрытие было сухое.

Измерения выполнены на достаточно высоком уровне. Коэффициент точности не превышал 5%, что свидетельствует о достаточном количестве опытов.

На рис. 1 показано изменение коэффициента сцепления в зависимости от продолжительности эксплуатации слоя износа на покрытии дороги.

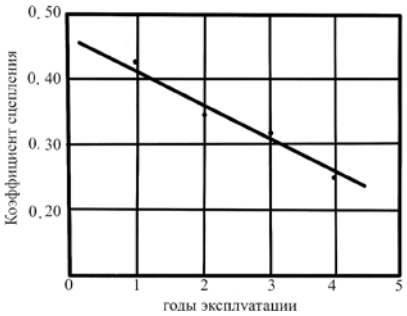


Рисунок 1 — Зависимость коэффициента сцепления на поверхности слоя износа от продолжительности эксплуатации дороги

Выполненные эксперименты позволяют установить как изменение коэффициента сцепления в зависимости от продолжительности эксплуатации слоя износа, так и зависимость коэффициента сцепления от величины глубины впадин (шероховатости) на поверхности покрытия дороги.

Из рис. 1 следует, что через 1 год эксплуатации дороги коэффициент сцепления колес с дорогой равен 0,43. К этому времени глубина впадин на слое износа составит 0,82 мм. Такая глубина обеспечивает достаточный коэффициент сцепления и безопасность движения автомобилей на дороге.

Через 2 года работы дороги коэффициент сцепления снижается до 0,33, т. е. на 24%. В этом случае глубина впадин шероховатости покрытия составляет 0,62 мм, или становится меньше на 26%. Следовательно, через 2 года эксплуатации слоя износа на дороге величина коэффициента сцепления и глубина впадин шероховатости покрытия уменьшаются примерно на 25%.

Через 3 года эксплуатации дороги коэффициент сцепления снизился до 0,25 — 0,30, а глубина впадин слоя износа составила 0,22 мм. Практически автомобили стали работать на гладкой поверхности покрытия дороги. При таком низком коэффициенте сцепления не обеспечивается безопасное движение автомобилей. Износ шероховатости слоя износа составляет 70%.

Следовательно через 3 — 3,5 года эксплуатации дороги износ шероховатости покрытия требует восстановления и устройства нового слоя износа.

После обработки эксплуатационных данных были получены аналитические выражения, по которым можно подсчитать:

- зависимость коэффициента сцепления от продолжительности эксплуатации слоя износа на покрытии дороги

$$\varphi = 0{,}460 - 0{,}046X,$$

где X — срок эксплуатации слоя износа, лет;

- зависимость глубины впадин (мм) слоя износа от срока эксплуатации дороги

$$\beta = 0{,}988 - 0{,}193X;$$

- зависимость коэффициента сцепления от глубины впадин слоя износа

$$\varphi = 0{,}20 + 0{,}25\,\beta.$$

Можно рекомендовать дорожно-строительным организациям включать в план ремонта дорог укладку нового слоя износа через 3 — 3,5 года эксплуатации дороги.

Литература

1. Дмитриев В.Н. Развитие системы проектирования, строительства и ремонта автомобильных дорог в Свердловской области : автореф. дис. … д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2007. 59 с.

2. Силуков Ю.Д. Эксплуатация автомобильных дорог. Екатеринбург : УГЛТУ, 2008. 267 с.

References

1. Dmitriev V.N. Razvitie sistemy proektirovaniya, stroitelstva i remonta avtomobilnykh dorog v Sverdlovskoj oblasti: Avtoref. dis… dokt. tekhn. nauk. Ekaterinburg, 2007. 59s.

2. Silukov Yu.D. Ekspluatatsiya avtomobilnykh dorog. Ekaterinburg: UGLTU, 2008. – 267s.

УДК 656.254.16

Дмитрий Германович Неволин, доктор технических наук, профессор кафедры «Связь» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Ольга Юрьевна Жайворонская, ассистент кафедры «Системы и технологии защиты информации» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЕТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Dmitry G. Nevolin, Professor, DSc, 'Telecommunications' department, The Ural State University of railway Transport (USURT),
Olga Yu. Zhaivoronskaya, assistant lecturer of 'Systems and Technologies of Information Security' department, The Ural State University of railway Transport (USURT)

Optimization of monitoring system of technological communications network on railway transport

Аннотация

Рассматриваются вопросы оптимизации системы мониторинга технологической связи на железнодорожном транспорте с использованием моделирования. Произведено компьютерное моделирование параметров системы мониторинга поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи. Установлены закономерности по степени готовности оборудования для поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи. Произведено статистическое оценивание полученных результатов моделирования, которое показало, что все рассматриваемые варианты подчиняются нормальному закону распределения. Предложен показатель ранговой оценки коэффициента готовности технологической связи, с помощью которого производится оценка качества мониторинга.

Ключевые слова: система мониторинга, методы оптимизации, коэффициент готовности, технологическая связь, статистическое оценивание, диаграмма рассеяния.

Annotation

The issues of optimization of monitoring system of technological communications on railway transport with use of simulation are studied in the article. The computer simulation of monitoring system's parameters of train, shunting and bidirectional fleet radio communication is carried out. The regularities on readiness rate of equipment for train, shunting and bidirectional fleet communication are established. The statistical estimation of the simulation results, which showed that all the studied variants comply with distribution law, is carried out. The index of rank estimation of readiness coefficient of technological communication, which helps to evaluate monitoring quality, is suggested.

Key words: monitoring system, optimization methods, readiness coefficient, technological communication, statistical estimation, scatter chart.

Одна из наиболее важных стратегических задач на железнодорожном транспорте заключается в совершенствовании систем управления и оптимизации эксплуатационной работы на основе развития телекоммуникаций, информатизации и связи, в частности центров мониторинга и диспетчеризации работы технологического оборудования, создании единого информационного пространства.

Значительную роль в выполнении этих задач играет технологическая связь, предназначенная для обеспечения эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта. Система технологической связи охватывает всю сеть железных дорог России.

Наиболее крупной системой мониторинга ОАО «Российские железные дороги» является ЕСМА (Единая система мониторинга и администрирования), которая была внедрена на каждой железной дороге с 2007 г. Система охватывает практически все возможные направления деятельности дороги [1, 2].

В связи с большим многообразием анализируемых объектов системы была предложена ее классификация: по виду, по листу регистрации, по классам [3, 4].

В результате проведенных исследований был выполнен анализ системы организации работ по мониторингу различных видов связи и разработана классификация мониторинга сетей связи, которая представлена на рис. 1.

Следующей задачей исследований являлась разработка модуля «Оптимизация» системы мониторинга сетей технологической связи на железнодорожном транспорте, совместимого с ЕСМА. Модуль позволяет в автоматическом режиме производить выбор их максимальных значений и рассчитывать коэффициент готовности оборудования.

Была разработана модель параметров системы мониторинга технологической связи на железнодорожном транспорте, которая позволяет рассчитывать коэффициент готовности оборудования $К_г$, используемый для расчетов в системе ЕСМА.

Целевая функция модели имеет вид

$$y = f(x) \rightarrow \min (\max), \qquad (1)$$

e-mail: dnevolin@e1.ru, user1983@bk.ru

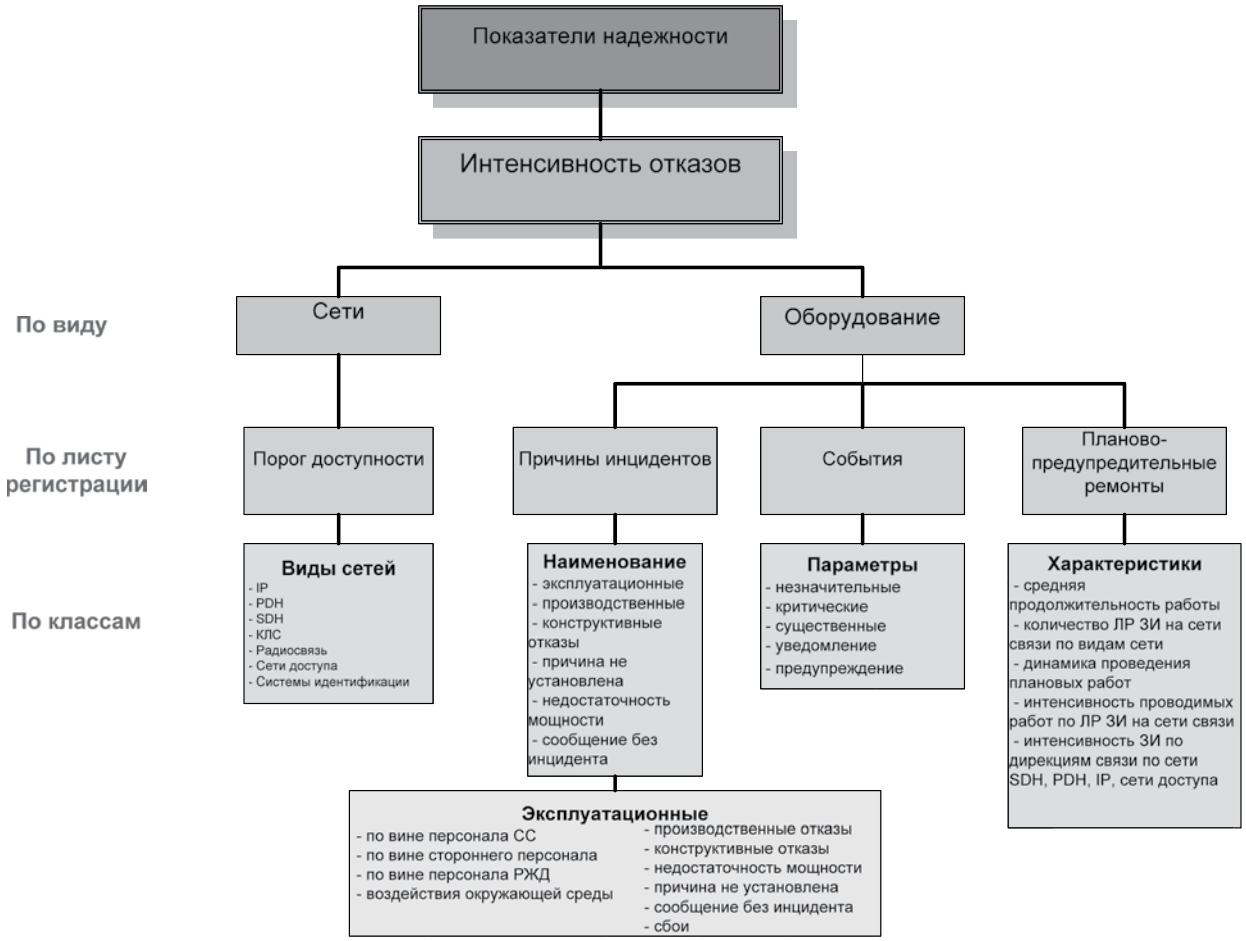


Рисунок 1 — Классификация мониторинга сетей связи

где y — целевая функция;
x — количество отказов, %.

Для расчета целевой функции необходимо найти x_0 и x_1, чтобы выполнялись условия $f(x_0) = \min f(x)$ при $x \in X$ и $f(x_1) = \max f(x)$ при $x \in X$.

Коэффициент готовности можно определить по формуле

$$K_г = T/(T+ t_в), \quad (2)$$

где $K_г$ — коэффициент готовности, ед;
T — среднее время между отказами (наработка на отказ), ч;
$t_в$ — среднее время восстановления связи, ч.

На основании разработанного модуля «Оптимизация» было произведено моделирование параметров системы мониторинга технологической связи, включающей в себя параметры поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи.

Исходными данными для моделирования являются: среднее время восстановления оборудования (часы) с интервалом 2,5 мин (0,042 ч), периоды моделирования по годам с 2006 по 2010 г. Рассматривается интервал времени восстановления от 0,042 до 2 ч.

В качестве примера представлено моделирование коэффициента готовности поездной радиосвязи за период 2006 — 2010 гг. (табл. 1).

Таблица 1 — Результаты моделирования коэффициента готовности поездной радиосвязи за период 2006 — 2010 гг.

№	Среднее время восстановления, ч	Период по годам				
		2006	2007	2008	2009	2010
1	0,042	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,083	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
…						
38	1,595	0,988	0,988	0,988	0,989	0,989
39	1,637	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988
40	1,679	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988
41	1,721	0,987	0,987	0,988	0,988	0,988
42	1,763	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987

По результатам моделирования коэффициента готовности поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи были построены графики коэффициентов готовности по среднему времени восстановления 30, 45, 60, 75, 90 мин, которые представлены на рис. 2.

На рис. 2 диапазон коэффициента готовности в интервале от 0,995 до 1 (область зеленого цвета) принимаем как высокую степень готовности; от 0,995 до 0,998 (область желтого цвета) — как среднюю степень готовности; от 0,985 до 0,997 (область красного цвета) — как низкую степень готовности.

Рисунок 2 — Коэффициент готовности по результатам моделирования технологической связи на 2010 г.

Для подтверждения сходимости данных моделирования технологической связи полученные данные сопоставлялись с данными статистической отчетности за предыдущие годы. Моделируемый 2010 г. сравнивался с отчетностью предыдущего — 2009 г.

Коэффициенты готовности, рассчитанные по результатам моделирования, имеют расхождения по сравнению со статистическими данными отчетности не более 5%, что подтверждает адекватность разработанной модели.

На рис. 3 представлен пример сравнения результатов моделирования коэффициентов готовности для поездной радиосвязи со статистическими данными.

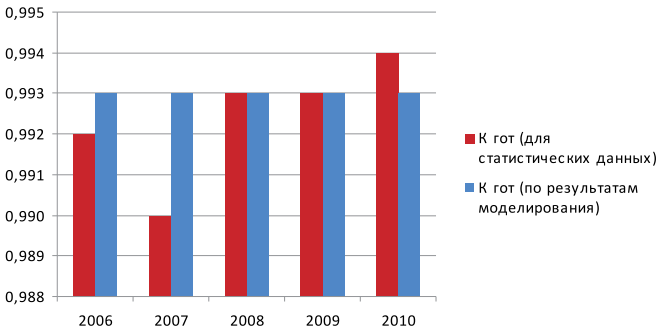


Рисунок 3 — Сравнение результатов моделирования коэффициентов готовности для поездной радиосвязи со статистическими данными

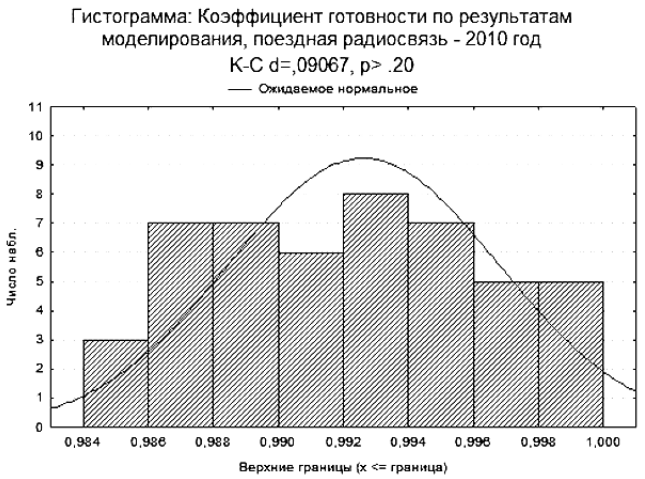
Статистическое оценивание полученных результатов моделирования произведено с помощью программного продукта Statistica 6.1. Использован модуль «Основные статистики и таблицы», позволяющий произвести описательный анализ данных, вычислить статистики для группированных данных.

Вывод о нормальности распределения частот переменных сделан с использованием построенных гистограмм распределения и на основании критерия Колмогорова — Смирнова. Объем выборки для анализа параметров составляет 48 [5].

На нормальность распределения частот оценивались значения величины коэффициента готовности поездной радиосвязи Кг. Установлено, что все рассматриваемые частоты подчиняются нормальному закону распределения и не существует значимой разницы между распределениями, поскольку расчетные распределения статистики d меньше статистики $d_{кр}$ критического, равного 0,2856, при вероятности ошибки $p<0,05$ [7].

На рис. 4 представлена гистограмма частот нормального распределения коэффициента готовности и диаграммы рассеяния коэффициента готовности по результатам моделирования поездной радиосвязи за 2010 г.

а)



б)

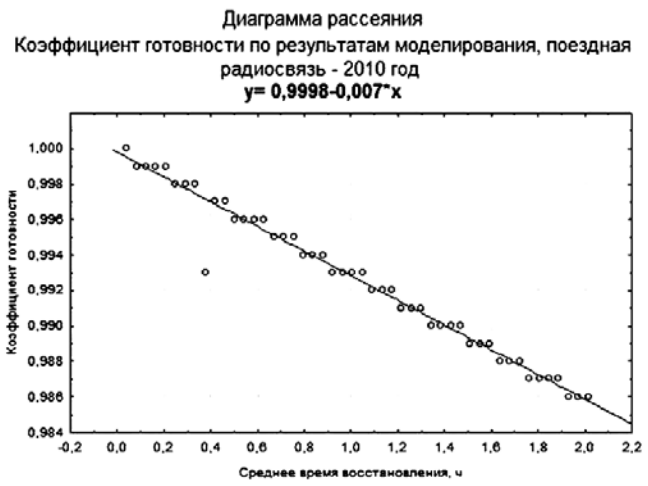


Рисунок 4 — Статистическое оценивание коэффициента готовности по результатам моделирования поездной радиосвязи за 2010 г.: а) гистограмма; б) диаграмма рассеяния

На основании проведенного моделирования коэффициента готовности технологической связи были установлены следующие закономерности: маневровая и двухсторонняя парковая радиосвязь имеют высокую степень готовности, а поездная радиосвязь имеет высокую и среднюю степень готовности.

Коэффициенты готовности, рассчитанные по результатам моделирования для маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи, имеют расхождения по сравнению со статистическими данными отчетности не более 5%.

Произведенное статистическое оценивание полученных результатов моделирования показало, что все рассматриваемые частоты подчиняются нормальному закону распределения и не существует значимой разницы между распределениями, поскольку расчетные распределения статистики d меньше статистики $d_{кр}$, равной 0,2856, при вероятности ошибки $p < 0{,}05$ [7].

По результатам статистического оценивания были выведены формулы для подсчета коэффициента готовности поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи на 2010 г., которые представлены в табл. 2.

Таблица 2 — Аналитическая зависимость для подсчета коэффициента готовности поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи на 2010 г.

Радиосвязь	Коэффициент готовности, %	Формула
Поездная	y = 0,9998 — 0,007x	(2)
Маневровая	y = 1,0001 — 0,0012x	(3)
Двухсторонняя парковая	y = 1,0001 — 0,0036x	(4)

Выводы

1. Разработана классификация мониторинга сетей связи: по виду, по листу регистрации, по классам.

2. Разработан модуль «Оптимизация» системы мониторинга сетей технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте, совместимый с системой мониторинга ЕСМА, позволяющий в автоматическом режиме производить выбор их максимальных значений и рассчитывать коэффициент готовности оборудования.

3. Разработана модель параметров системы мониторинга технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте, которая позволяет рассчитывать коэффициент готовности оборудования и определять их закономерности: маневровая и двухсторонняя парковая радиосвязь имеют высокую степень готовности, а поездная радиосвязь имеет высокую и среднюю степень готовности.

4. Разработанный модуль «Оптимизация» носит универсальный характер и может служить для создания аналогичных модулей различных процессов мониторинга, которые будут интегрироваться в систему ЕСМА на железнодорожном транспорте.

Литература

1. Жайворонская О.Ю., Неволин Д.Г. Особенности единой системы мониторинга и администрирования сетей связи на железнодорожном транспорте // Связь-пром 2009 : труды междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. С. 179 — 182.

2. Жайворонская О.Ю., Неволин Д.Г. Использование систем мониторинга и диспетчеризации в ОАО «РЖД» / Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод». Нижний Тагил, 2010. С. 144 — 147.

3. Zhayvoronskaya O., Nevolin D. Monitoring of information system on railway transport // Proceedings of the 8th international interdisciplinary scientific conference of students and young scientists. Kyiv, 2010. P. 102 — 103.

4. Жайворонская О.Ю., Неволин Д.Г. Классификация надежности сети связи на железнодорожном транспорте / Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод». Нижний Тагил, 2010. С. 138 — 140.

5. Закс Л. Статистическое оценивание : пер. с нем. М. : Статистика, 1976. 598 с.

References

1. Zhajvoronskaya O.Yu., Nevolin D.G. Osobennosti edinoj sistemy monitoringa i administrirovaniya setej svyazi na zheleznodorozhnom transporte svyaz – prom 2009 : Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakt. konf.: Ekaterinburg UGTU-UPI. 2009. S.179–182

2. Zhajvoronskaya O.Yu., Nevolin D.G. Ispolzovanie sistem monitoringa i dispetcherizatsii v OAO «RZhD»/ Nauchno-proizvodstvennaya korporatsiya «Uralvagonzavod». Nizhnij Tagil, 2010. S. 144–147

3. Zhayvoronskaya O., Nevolin D. Monitoring of information system on railway transport // Proceedings of the 8th International interdisciplinary scientific conference of students and young scientists. Kyiv. 2010. S. 102–103

4. Zhajvoronskaya O.Yu., Nevolin D.G. Klassifikatsiya nadezhnosti seti svyazi na zheleznodorozhnom transporte / Nauchno-proizvodstvennaya korporatsiya «Uralvagonzavod». Nizhnij Tagil, 2010. S.138–140

5. Zaks L. Statisticheskoe otsenivanie: Per. s nem. Varygin V.P. M.: Statistika, 1976. 598 s.

УДК 656.254.16

Дмитрий Германович Неволин, доктор технических наук, профессор кафедры «Связь» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Ольга Юрьевна Жайворонская, ассистент кафедры «Системы и технологии защиты информации» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

РАНГОВАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Dmitry G. Nevolin, Professor, DSc, 'Telecommunications' department, The Ural State University of railway Transport (USURT),
Olga Yu. Zhaivoronskaya, assistant lecturer of 'Systems and Technologies of Information Security' department, The Ural State University of railway Transport (USURT)

Rank estimation of readiness coefficient of technological communication monitoring

Аннотация

Рассмотрены вопросы ранговой оценки коэффициентов готовности технологической связи на железнодорожном транспорте с использованием графиков размерности рангов по величинам. Произведено компьютерное моделирование параметров системы мониторинга поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи. Сделана разбивка среднего времени восстановления на ранги. В качестве единицы ранга выбрано время восстановления 0,209 ч. Всего рассмотрено 8 рангов в интервале от 0,042 до 2 ч. Установлены закономерности количества величин одинаковой размерности в рангах. Для поездной радиосвязи наблюдается одинаковая размерность по 2 и 3 величины в 2006 — 2010 гг., в маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи — одинаковая размерность по 1 и 2 величинам в 2006 — 2010 гг.

Ключевые слова: система мониторинга, ранговая оценка, коэффициент готовности, технологическая связь, размерность рангов по величинам.

Annotation

The issues of optimization of rank estimation of technological communications' readiness coefficients on railway transport with use of dimension graphs of ranks by quantities are studied in the article. The computer simulation of monitoring system's parameters of train, shunting and bidirectional fleet radio communication is carried out. The breaking of approximate time of ranks reconstruction is done. The reconstruction time (0,209 h) is chosen as a rank unit. There are 8 ranks in the interval from 0,042 h to 2 h which are studied. The regularities of quantity of the same dimension values in ranks are established. For a train radio communication there is the same dimension on two and three values, in shunting and bidirectional fleet communication there is the same dimension on one and two values in 2006 — 2010.

Key words: monitoring system, rank estimation, readiness coefficient, technological communication, ranks dimension on values.

Ранговая оценка обладает достаточно высокой визуальной наглядностью представления оцениваемых технических показателей по сравнению с традиционными формами оценивания и широко используется в практике ОАО «Российские железные дороги» [1 — 4].

Ранговая оценка на основании данных моделирования по величинам времени восстановления и коэффициента готовности была предложена для оценки технологической связи на транспорте, состоящей из поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи.

В качестве исходных данных были приняты результаты моделирования коэффициентов готовности. Всего рассматривается 8 рангов в интервале от 0,042 до 2 ч. За единицу ранга выбрано время восстановления оборудования после отказа (инцидента) 0,209 ч.

В каждом ранге подсчитывается общее количество величин коэффициентов готовности одинаковой размерности. Строятся таблицы рангов коэффициентов готовности технологической связи (табл. 1 — 3).

На основании этих таблиц строятся графики рангов коэффициентов готовности для поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи на год.

В табл. 1 представлены параметры коэффициентов готовности поездной радиосвязи, в табл. 2 — маневровой радиосвязи, в табл. 3 — двухсторонней парковой радиосвязи.

В каждом ранге табл. 1 представлено минимально по 2 величины одинаковой размерности, максимально — по 3 (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что для 1 ранга (темно-синий цвет) Кг = 1,000 только один, Кг = 0,999 — четыре. Для 6 ранга (красный цвет) два Кг = 0,991 и четыре Кг = 0,990 и т. д.

Анализ табл. 2 показывает, что в каждом ранге представлено минимально по одной величине одинаковой размерности, максимально — по две.

На рис. 2 представлены ранги коэффициентов готовности маневровой радиосвязи.

e-mail: dnevolin@e1.ru, user1983@bk.ru

Таблица 1 — Ранги коэффициентов готовности поездной радиосвязи

Коэффициент готовности	1 ранг	2 ранг	3 ранг	4 ранг	5 ранг	6 ранг	7 ранг	8 ранг
1,000	1							
0,999	4							
0,998		4						
0,997		2						
0,996			4					
0,995			2	1				
0,994				3				
0,993				2	2			
0,992					3			
0,991					1	2		
0,990						4		
0,989							3	
0,988							3	
0,987								4
0,986								3

Ранги коэффициентов готовности поездной радиосвязи для 2010 г.

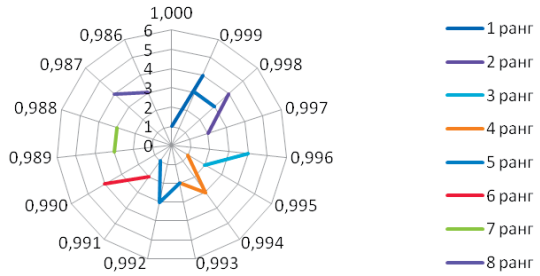


Рисунок 1 — Ранги коэффициентов готовности поездной радиосвязи

Таблица 2 — Ранги коэффициентов готовности маневровой радиосвязи

Коэффициент готовности	1 ранг	2 ранг	3 ранг	4 ранг	5 ранг	6 ранг	7 ранг	8 ранг
1,000	5	6						
0,999			6	6	6	3		
0,998						3	6	
0,997								6

Ранги коэффициентов готовности маневровой радиосвязи для 2010 г.

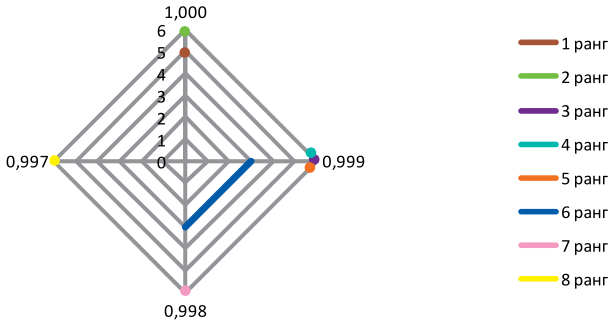


Рисунок 2 — Ранги коэффициентов готовности маневровой радиосвязи

Таблица 3 — Ранги коэффициентов готовности двухсторонней парковой радиосвязи

Коэффициент готовности	1 ранг	2 ранг	3 ранг	4 ранг	5 ранг	6 ранг	7 ранг	8 ранг
1,000	3							
0,999	2	5						
0,998		1	5					
0,997			1	6				
0,996					6	1		
0,995						5	1	
0,994							5	2
0,993								5

Анализ табл. 3 показывает, что в каждом ранге представлено минимально по одной величине одинаковой размерности, максимально — по две. На рис. 3 представлены ранги коэффициентов готовности двухсторонней парковой радиосвязи.

Ранги коэффициентов готовности двухсторонней парковой радиосвязи для 2010 г.

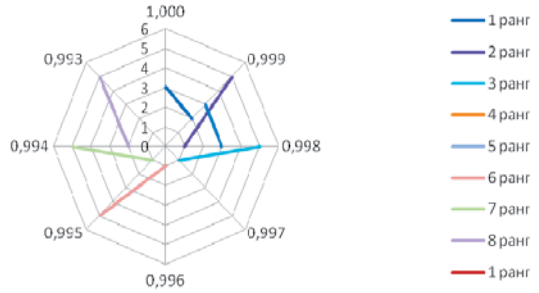


Рисунок 3 — Ранги коэффициентов готовности двухсторонней парковой радиосвязи

Для установления общих закономерностей количества величин одинаковой размерности были построены ранги коэффициентов готовности поездной, маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи для 3 лет.

Чтобы оценить финансовую составляющую рангов коэффициентов готовности, использовали методику рисков отказов контактной сети железнодорожного транспорта, особенность которой — сравнение величины интенсивности затрат в зависимости от числа отказов. Сумма рисков отказов элементов какой-либо системы является риском отказа данной системы [5].

Каждый отказ имеет свою стоимость восстановления. Для выработки рекомендаций по приоритетам восстановления необходимо учитывать суммарную стоимость восстановления каждой причины отказа.

Рассмотрим причины (табл. 4) и риски отказов (табл. 5, рис. 4) поездной радиосвязи с точки зрения финансовых затрат на восстановление (в ценах 2010 г.).

Таблица 4 — Причины отказов поездной радиосвязи

№	Причины отказов	Доля, %		
		2006 г.	2007 г.	2008 г.
1	Отказы приемопередатчиков	23	22	17,4
2	Отказы низкочастотных блоков	16	31	17,4
3	Отказы блоков питания	20	13	21,7
4	Отказы пультов управления и микротелефонных трубок	17	18	21,7
5	Отказы антенно-фидерных устройств	10	0	8,7
6	Помехи	8	16	13,1
7	Прочие	6	0	0

Таблица 5 — Риски отказов оборудования поездной радиосвязи

№	Причины отказов	Величина ущерба от отказа, руб./%	Риск, руб. (в ценах 2010 г.)		
			2006 г.	2007 г.	2008 г.
1	Приемопередатчик РС-46МЦ	24 500	563 500	124 000	98 000
2	Низкочастотный блок	7 000	112 000	34 700	19 500
3	Блок питания	2 000	40 000	5 200	8 700
4	Пульт управления и микротелефонная трубка	12 000	204 000	36 700	44 300
5	Антенно-фидерное устройство	3 300	33 000	0	2 900
6	Помехи	300	2 400	400	300
7	Прочие	300	1800	0	0

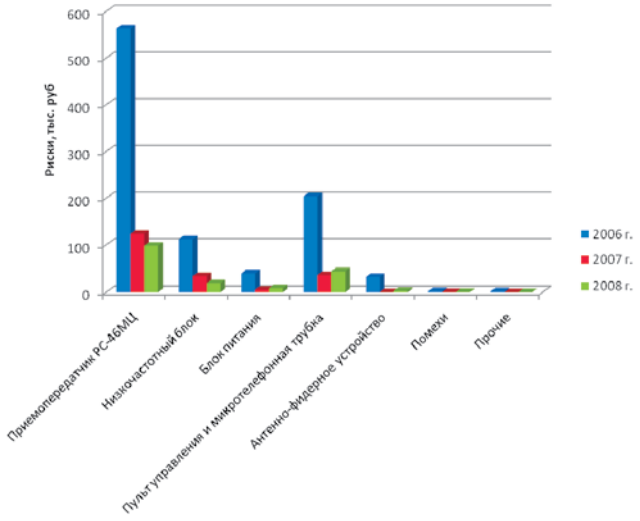


Рисунок 4 — Риски отказов оборудования поездной радиосвязи

Риски отказов оборудования поездной радиосвязи (см. табл. 5 и рис. 4) показывают, что окончательную величину ущерба от отказа необходимо оценивать по стоимости рисков, а не по процентному количеству отказов. Поскольку при максимальном процентном значении отказа может быть минимальная стоимость восстановления.

Аналогичным образом были рассчитаны риски отказов оборудования маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи, которые подтверждают вышесказанное.

По результатам сделаны следующие выводы.

1. Предложено оценку качества мониторинга технологической связи производить на основе 8-ранговой оценки.
2. Наибольший разброс размерности в рангах наблюдается в поездной радиосвязи от двух до трех величин. Наименьший разброс размерности в рангах в маневровой радиосвязи: 7 рангов имеют по одной размерности величины и 1 ранг — две размерности. В двухсторонней парковой радиосвязи 6 рангов имеют размерность по две величины, 2 ранга — по одной величине.
3. Ранговая оценка позволяет вывести закономерности изменения коэффициентов готовности оборудования для всего диапазона рангов (ранг 1 — ранг 8): маневровая и двухсторонняя парковая радиосвязь имеют высокую степень готовности, а поездная радиосвязь — высокую и среднюю степень готовности, а также закономерности количества величин одинаковой размерности в рангах. Для поездной радиосвязи наблюдается одинаковая размерность по две и три величины, в маневровой и двухсторонней парковой радиосвязи — по одной и двум величинам.
4. Оценку финансовой составляющей рангов коэффициентов готовности необходимо производить с использованием методики рисков, учитывающей стоимостную величину ущерба от отказа.

Литература

1. Неволин Д.Н., Максимова И.Н. Обеспечение безопасности движения железнодорожного транспорта на основе совершенствования систем технологической связи // Транспорт Урала. 2010. № 3. С. 59 — 63.

2. Фомин В.К. Оценка и ранжирование предприятий по степени приемлемости сотрудничества с железной дорогой // Вестник УрГУПС. 2009. № 1 — 2. С. 21 — 28.

3. Афанасьева Н.А. Методические аспекты взаимодействия железных дорог с субъектами РФ // Экономика и управление транспортной отрасли : сб. науч. тр. Екатеринбург: УрГУПС, 2008. С. 236 — 240.

4. Афанасьева Н.А. Оценка эффективности взаимодействия ОАО «РЖД» с региональными структурами // Конкурентоспособность территорий и предприятий во взаимозависимом мире : матер. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УрГЭУ, 2006. Ч. 2. С. 193 — 144.

5. Ефимов А.В., Галкин А.Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог : учебник для вузов ж/д транспорта. М. : УМК МПС России, 2000. 512 с.

References

1. Nevolin D.N., Maksimova I.N. Obespechenie bezopasnosti dvizheniya zheleznodorozhnogo transporta na osnove sovershenstvovaniya sistem tehnologicheskoj svyazi // Transport Urala. 2010. № 3. S. 59– 63.

2. Fomin V. K. Otsenka i ranzhirovaniye predpriyatij po stepeni priemlemosti sotrudnichestva s zheleznoj dorogoj // Vestnik URSUPS. 2009. № 1–2. S. 21–28.

3. Afanasjeva N.A. Metodicheskie aspekty vzaimodejstviya zheleznykh dorog s subjektami RF // Ekonomika i upravleniye transportnoj otrasli: Sb. nauch. tr.: Ekaterinburg, URGUPS. 2008. s. 236 – 240.

4. Afanasjeva N.A. Otsenka effektivnosti vzaimodejstviya OAO «RZhD» s regionalnymi strukturami // Konkurentosposobnost territorij i predpriyatij vo vzaimozavisimom mire : Materialy nauchno-prakticheskoj konferentsii. Ekaterinburg: Izd. Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2006. Ch.2. S. 193 –144.

5. Efimov A.V., Galkin A.G. Nadezhnost i diagnostika sistem elektrosnabzheniya zheleznykh dorog: Uchebnik dlya vuzov zh/d transporta. M.: UMK MPS Rossii, 2000. 512 s.

УДК 629.4.048.3:681.5.017

Юрий Иванович Матяш, доктор технических наук, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства Омского государственного университета путей сообщения,
Антон Юрьевич Громов, аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства Омского государственного университета путей сообщения

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ВЕЛИЧИНУ ПЕРЕГРЕВА КРЫШИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Yuri I. Matyash, DSc, professor of "Passenger cars" department, Omsk State Transport University
Anton Yu. Gromov, post-graduate of "Passenger cars" department, Omsk State Transport University

Quantitative estimation of rolling stock speed influence degree on a passenger railway car roof overheat value under the solar radiation effect

Аннотация

Статья посвящена исследованию влияния скорости подвижного состава на величину перегрева крыши пассажирского вагона под воздействием солнечной радиации. Основная цель исследования — определение величины перегрева крыши вагона под воздействием солнечной радиации относительно температуры окружающей среды при различных скоростях движения поезда (10 — 140 км/ч). Проведен анализ влияния скоростных характеристик подвижного состава на теплообменные процессы с окружающей средой; составлено математическое описание гидродинамических и теплообменных процессов, протекающих между крышей вагона и омывающим потоком воздуха.

Ключевые слова: пассажирский вагон, перегрев, солнечная радиация, крыша вагона, гидродинамический пограничный слой, критерий Рейнольдса, теплообмен.

Annotation

The article is devoted to research of the railway transport speed influence on a railway car roof overheat under the solar radiation effect. The main aim of the article is the definition of a railway car roof overheat size under the solar radiation effect concerning ambient temperature at various speeds (10 — 140 km/h). The analysis of influence of railway transport speed characteristics on a heat exchanger processes with environment is carried out; the mathematical description of hydrodynamic and heat exchanger processes proceeding between a roof and a washing stream of air is made.

Key words: passenger railway car, overheat, solar radiation, railway car roof, hydrodynamic interface, Reynolds's number, heat exchange.

Для обеспечения комфортных условий в пассажирских вагонах, согласно ГОСТ 12406-66, в летний период года средняя температура воздуха в каждом купе должна составлять 24±2°С при относительной влажности 50±10%.

В общем случае тепло внутрь вагона поступает через ограждения кузова вагона, с наружным воздухом, от пассажиров и работающего электрооборудования. Первые два источника являются определяющими, и их величины в значительной мере зависят от географического местоположения вагона и скорости его движения. Остальные притоки тепла (от пассажиров, работающего электрооборудования и др.) практически постоянны, их значения можно считать как некоторую составляющую от основных теплопритоков. На величину суммарного теплопритока, поступающего через ограждения кузова вагона, существенное влияние оказывает теплоприток от солнечной радиации, который может быть рассчитан по формуле [1]

$$q_p = \frac{I \cdot A \cdot K \cdot F}{\alpha_H}, \qquad (1)$$

где I — интенсивность солнечной радиации, Вт/м^2;
A — степень черноты облучаемой поверхности;
K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·°С);
F— площадь ограждения, м^2;
α_H — коэффициент теплоотдачи облучаемой поверхности, Вт/(м^2·°С).

Схема воздействия солнечной радиации на поверхность ограждения показана на рис. 1 [2].

На рис. 1 введены следующие обозначения:

$I \cdot (1-A)$ — количество тепла, отраженное от крыши вагона; q_0 — количество тепла, переданного воздуху; $I \cdot A - q_0$ — тепловой поток, проникающий внутрь вагона; q_p — величина теплового потока, проходящего внутрь вагона с учетом коэффициента проницания ограждений; t_H — температура наружного воздуха; t'_H — температура ограждений; t_K — температура в помещении; t'_K — температура внутренней поверхности ограждений.

e-mail: gromov_omsk@mail.ru

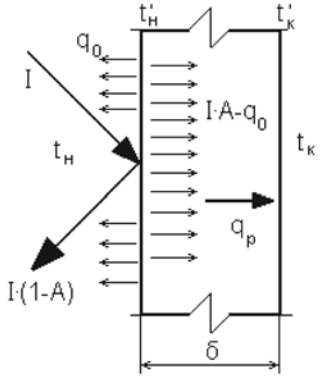


Рисунок 1 — Воздействие солнечной радиации на крышу вагона

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что тепло в количестве $(I \cdot A)$ будет поглощаться поверхностью, в то время как часть тепла в количестве $I \cdot (1-A)$ будет отражаться от поверхности и передаваться окружающему воздуху. Эффект воздействия солнечной радиации на поверхность ограждения выражается в повышении температуры поверхности по сравнению с температурой воздуха окружающей среды:

$$\Delta t_c = \frac{I \cdot A}{\alpha_H}. \qquad (2)$$

Вследствие этого часть тепла q_0, полученного единицей поверхности, будет передаваться к окружающему воздуху:

$$q_0 = \alpha_H (t'_H - t_H), \qquad (3)$$

а другая часть теплового потока в количестве

$$q_p = I \cdot A - q_0 \qquad (4)$$

поступит от поверхности ограждения внутрь вагона.

Из выражений (3) и (4) следует, что чем больше тепла будет передано воздуху окружающей среды, тем меньше тепла поступит в вагон. Количество тепла, отводимого от нагретой солнцем поверхности крыши вагона и передаваемого окружающему воздуху, в значительной мере зависит от коэффициента теплоотдачи. Например, на стоянках в безветренную погоду тепло от крыши вагона передается воздуху окружающей среды путем естественной конвекции. По мере увеличения скорости движения поезда интенсивность отвода тепла от крыши вагона, а следовательно, и величина теплового потока, направленного от поверхности ограждения внутрь вагона, будет в основном определяться аэродинамическим характеристиками набегающего воздушного потока. В связи с этим целесообразно провести количественную оценку степени влияния скорости движения подвижного состава на величину перегрева крыши вагона по сравнению с температурой наружного воздуха.

При движении поезда вдоль крыши пассажирского вагона формируется газодинамический слой набегающего воздушного потока (рис. 2) [3].

Свойства пограничного слоя можно оценить с помощью критерия Рейнольдса

$$\mathrm{Re}_X = \frac{u_S \cdot x}{\nu_{32}}, \qquad (5)$$

где u_S — скорость воздушного потока на внешней границе аэродинамического пограничного слоя, м/с;

ν_{32} — кинематическая вязкость воздуха м/с^2 [4];

x — расчетная точка на поверхности крыши вагона.

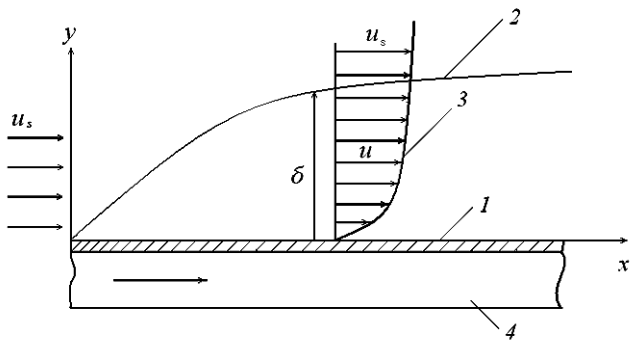


Рисунок 2 — Формирование пограничного газодинамического слоя вдоль крыши вагона:

1 — крыша вагона;

2 — характер изменения толщины газодинамического пограничного слоя δ;

3 — эпюра распределения скоростей по толщине газодинамического пограничного слоя;

4 — нагнетательный воздуховод системы вентиляции

Для проведения численного исследования были приняты следующие исходные данные:

параметры наружного воздуха (t_H=32 °С, φ_H=70%);

интенсивность солнечной радиации для горизонтальных поверхностей равна 942 Вт/м^2. Коэффициенты поглощения солнечных лучей поверхностью (степень черноты крыши вагона) 0,7; 0,6 и 0,5;

скорость движения поезда изменяется в пределах примерно от 10 до 50 км/ч (движение в пригородной зоне) и от 100 до 140 км/ч (при движении по перегону);

в связи с малой кривизной крыша вагона в поперечном сечении принимается плоской, а ее длина составляет 23 м.

Расчетные значения критериев Рейнольдса на расстояниях 2, 12 и 23 м от переднего края крыши вагона при скорости движения поезда 10, 20, 30, 50, 100 и 140 км/ч соответственно приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Расчетные значения чисел Рейнольдса на расстояниях 2, 12 и 23 м от переднего края крыши вагона в зависимости от скорости движения поезда

Расчетная точка на поверхности крыши вагона, м	Скорость движения поезда, км/ч (м/с)					
	10(2,8)	20(5,6)	30(8,3)	50(13,9)	100(27,7)	140(38,9)
	Расчетные значения критерия Рейнольдса ($\mathrm{Re} \cdot 10^{-6}$)					
2	0,37	0,74	1,11	1,85	3,69	5,19
12	2,24	4,44	6,66	11,10	22,14	31,1
23	4,29	8,51	12,65	21,27	42,43	59,65

На основании полученных значений чисел Рейнольдса можно сделать вывод о том, что для любой точки поверхности крыши вагона на внешней границе пограничного аэродинамического слоя поток набегающего воздуха преимущественно имеет выраженный турбулентный характер во всем рассматриваемом диапазоне скоростей. Для плоской поверхности ярко выраженная турбулентность устанавливается при $\mathrm{Re} > 500000$ [3].

Для таких чисел Рейнольдса вязкостью и теплопроводностью воздуха можно пренебречь, а критерий Нуссельта и средний коэффициент теплоотдачи можно определить из выражений (6) и (7) [5]:

$$Nu = 0{,}15\left(Gr \cdot \Pr\right)^{0{,}3}, \quad (6)$$

где Nu, Pr, Gr — критерии Нуссельта, Прандтля и Грасгофа соответственно.

Тогда коэффициент теплоотдачи между поверхностью крыши вагона и воздушным потоком

$$\alpha_H = \frac{\lambda}{l} \cdot Nu\,. \quad (7)$$

Применительно к пассажирскому вагону коэффициент теплоотдачи можно определить из выражения [6]

$$\alpha_H = 8 + \frac{0{,}7 \cdot (u_n + 15)}{l^{0{,}2}}, \quad (8)$$

где u_n — скорость поезда (км/ч);
l — длина кузова вагона, м.

Результаты расчетов приведены на рис. 3.

Из анализа данных, приведенных на рис. 3, видно, что температура крыши вагона в значительной степени зависит как от скорости движения подвижного состава, так и от степени черноты поверхности крыши вагона. Изменение температуры крыши вагона (например, для степени ее черноты А = 0,7) в зависимости от скорости движения подвижного состава может быть описано следующим выражением:

$$Ln(t) = -0{,}062V^2 + 0{,}04V + 1{,}9\,, \quad (9)$$

где $\mathrm{Ln}(t)$ — натуральный логарифм температуры (в градусах Цельсия);
V — натуральный логарифм скорости (км/ч).

Следует также отметить, что на стоянках при интенсивности солнечной радиации (для горизонтальных поверхностей), равной 942 Вт/м^2, температура крыши вагона может достигать до плюс 80°С (см. рис. 3). Вследствие этого для существующей на пассажирских вагонах теплоизоляции температура внутренних его поверхностей может существенно превышать допустимый уровень. Как следует из рис. 3, уменьшение степени черноты поверхности крыши от 0,7 до 0,5 позволит снизить ее температуру на стоянках более чем на 15°С.

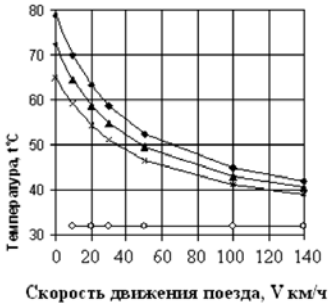


Рисунок 3 — Количественная оценка степени влияния скорости движения подвижного состава на величину перегрева крыши вагона по сравнению с температурой наружного воздуха:
— температура крыши вагона (А = 0,7); — температура крыши вагона (А = 0,6); — температура крыши вагона (А = 0,5); — температура воздуха окружающей среды (32°С)

Следующим шагом по снижению степени влияния солнечной радиации на параметры микроклимата внутри вагона является установка непрозрачного экрана с малой степенью черноты между внутренней стенкой крыши вагона и наружной поверхностью теплоизоляционного слоя. Например, установка одного экрана, имеющего степень черноты А = 0,2, позволит снизить лучистый поток теплоты, проходящей внутрь вагона, в 6 раз [5].

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют значительно снизить степень влияния солнечной радиации на величину теплопритока в вагон как на стоянках, так и при малых скоростях движения подвижного состава.

Литература

1. Зворыкин М.Л., Черкез В.М. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах : учебник для техникумов ж.-д. транспорта. М. : Транспорт, 1977. 288 с.

2. Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Холодильные установки. Л. : Машгиз, 1961. 608 с.

3. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена / под ред. А.В. Лыкова. М. : Л. : Госэнергоиздат, 1961. 680 с.

4. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков. М. : Энергоатомиздат, 1984. 392 с.

5. Фокин В.М. Основы энергосбережения. М. : Машиностроение, 2006. 256 с.

6. Матяш Ю.И., Клюка В.П. Системы кондиционирования и водоснабжения пассажирских вагонов : учебное пособие. М. : Маршрут, 2007. 274 с.

References

1. Zvorykin M. L., Cherkez V. M. Konditsionirovanie vozdukha v passazhirskikh vagonakh: uchebnik dlya tekhnikumov zh.-d. transporta M.: Transport, 1977. 288 s.

2. Kurylev E.S., Gerasimov N.A. Kholodilnye ustanovki. L. MASHGIZ, 1961. 608 s.

3. Ekkert E.R., Drejk R.M. Teoriya teplo i massoobmena / Pod red. A.V. Lykova M. – L.: Gosenergoizdat, 1961. 680 s.

4. Spravochnik po fiziko-tekhnicheskim osnovam kriogeniki / M.P. Malkov. I.B. Danilov, A.G. Zeldovich, A.B. Fradkov. M.: Energoatomizdat, 1984. 392 s.

5. Fokin V.M. Osnovy energosberezheniya. M.: Mashinostroenie, 2006. 256 s.

6. Matyash Yu.I., Klyuka V.P. Sistemy konditsionirovaniya i vodosnabzheniya passazhirskikh vagonov: Uchebnoe posobie. M.: Marshrut 2007. 274 s.

УДК 629.424.001.24

Сергей Михайлович Овчаренко, доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС),
Павел Сергеевич Корнеев, аспирант кафедры «Локомотивы» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ МОЩНОСТИ И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПРИВОД ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

Sergey M. Ovcharenko, DSc, prof. of "Locomotives" department of Omsk State Transport University (OSTU),
Pavel S. Korneev, post-graduate of "Locomotives" department of Omsk State Transport University (OSTU)

Power and diesel fuel expenses modelling on the drive of diesel locomotives accessory equipment

Аннотация

Одной из основных задач на современном этапе функционирования железнодорожного транспорта является снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы. Совершенствование методики нормирования расхода топлива тепловозом позволяет снизить количество «несанкционированного» расхода. Для реализации методики необходима оценка затрат дизельного топлива на привод элементов вспомогательного оборудования тепловоза. В статье рассмотрена математическая модель работы элементов вспомогательного оборудования тепловоза, позволяющая определить отбор мощности от дизеля на их привод в зависимости от режимов работы. Приведены результаты расчета часовых затрат дизельного топлива на привод тормозного компрессора и вентилятора холодильника при различных режимах их работы.

Ключевые слова: снижение затрат, вспомогательное оборудование, отбор мощности, режимы работы, расчет нормы, расход топлива.

Annotation

One of the primary goals at the present stage of railways functioning is decrease in expenses for fuel and energy resources. Perfection of fuel consumption rationing method allows to decrease the "unapproved" expense. The estimation of fuel expenses for a driving elements of accessory diesel locomotive equipment is necessary for method realization. The mathematical model for action of accessory diesel locomotive equipment elements is considered in article, and it is allow to define capacity expenses from a diesel engine for their driving depending on operating modes. There are results of calculation of hourly fuel consumption for driving the brake compressor and the refrigerator fan in various operating modes.

Key words: decrease in expenses, auxiliaries, capacity selection, operating modes, norm calculation, fuel consumption.

В настоящее время в компании ОАО «РЖД» эксплуатируется более десяти тысяч тепловозов, из которых пять тысяч девятьсот единиц — маневровые [1]. Примерно столько же тепловозов эксплуатируется на предприятиях промышленного транспорта.

В последнее десятилетие одной из приоритетных задач локомотивного хозяйства является снижение затрат дизельного топлива на тягу поездов и выполнение маневрово-хозяйственных работ. Анализ структуры затрат дизельного топлива тепловозами при выполнении маневровых работ, выполненный по ряду предприятий ОАО «РЖД» и промышленного транспорта, позволил установить, что при существующей системе учета и нормирования расхода топлива имеется резерв экономии от 5 до 20%. Основная причина завышенного расхода (списания) дизельного топлива — несовершенство методики нормирования расхода топлива на выполнение специфичного вида работ тепловозов — маневрово-хозяйственных работ. В конечном счете несовершенство методики нормирования приводит к «несанкционированному» расходу дизельного топлива.

Совершенствование методики нормирования на современном этапе стало возможно благодаря развитию бортовых систем контроля параметров работы тепловозов. Одной из основных задач, требующих решения при реализации такого подхода, является определение минимально необходимого перечня контролируемых параметров. Для этого устанавливается перечень оборудования, на привод которого приходятся основные затраты мощности и соответственно дизельного топлива. В данном случае речь идет не о мгновенных значениях, а об интегральных затратах за смену, которые и определяются спецификой маневровой работы. Так, в зависимости от степени загрузки тепловоза и рода выполняемой работы затраты дизельного топлива на привод тормозного компрессора за смену могут отличаться в разы. Для реализации методики нормирования расхода дизельного топлива необходимо получить математические модели, позволяющие оценить расход топлива на привод основных потребителей в зависимости от режимов их работы за смену, сформированных спецификой выполняемой работы.

В данной статье рассмотрены вопросы моделирования затрат мощности на привод вспомогательного оборудования

e-mail: ovcharenkosm@mail.ru, korneev-pavel@mail.ru

наиболее распространенной серии маневрового тепловоза — ТЭМ2. Основным источником энергии на тепловозе является дизель-генераторная установка, от которой производится отбор электрической, тепловой и механической энергии на основные и вспомогательные нужды. Структура этих затрат и формирует в конечном счете общий расход топлива тепловозом.

Основным потребителем вырабатываемой дизель-генератором (ДГУ) энергии являются тяговые электродвигатели (ТЭД). Более десяти процентов вырабатываемой энергии расходуется на привод вспомогательного оборудования: вентиляторов холодильника и ТЭД, вспомогательного генератора, двухмашинного агрегата и тормозного компрессора.

Конструкцией тепловоза предусмотрена постоянная работа (при работающем дизеле) вентиляторов охлаждения ТЭД, возбудителя, вспомогательного генератора и тормозного компрессора. Режим работы этого оборудования зависит от частоты вращения коленчатого вала дизеля. Мощность, затрачиваемая на привод тормозного компрессора, зависит не только от частоты вращения коленчатого вала дизеля, но и от того, работает он в режиме нагрузки или холостого хода.

Привод вентилятора холодильника включает как промежуточное звено фрикционную муфту, включение и выключение которой позволяет либо выключить вентилятор, либо вращать его с частотой, пропорциональной частоте вращения коленчатого вала дизеля.

Для количественной оценки расхода дизельного топлива, необходимого для выполнения сложившегося объема работ за смену, достаточно оценить режимы работы и затраты мощности на привод основного и вспомогательного оборудования.

Для каждого типа тепловозного дизеля известны его паспортные расходные характеристики в режиме холостого хода (кг/ч) и нагрузки (кг/кВт ч) в зависимости от позиции контроллера машиниста (установленной частоты вращения коленчатого вала). В процессе эксплуатации расходные характеристики претерпевают изменения под влиянием ухудшения технического состояния как самого дизеля, так и вспомогательного оборудования. Корректировка расходных характеристик ДГУ возможна по результатам реостатных испытаний или опытной поездки с обязательной фиксацией режимов работы ДГУ и вспомогательного оборудования. Расчет затрат мощности на привод тормозного компрессора производится по следующей методике [2].

Индикаторная мощность компрессора определяется по формуле, кВт,

$$N_u = \sum_{i=1}^{i=z} N_{ui}, \qquad (1)$$

где Z — число ступеней;
N_{ui} — индикаторная мощность i-й ступени, определяется из уравнения

$$N_{ui} = p_{ni}(1-\chi_{1i})Q_i\left[(1+a_i)A_{ci} - a_i\overline{\Pi_{yi}^{\frac{1}{n_{pi}}}}A_{pi}\right], \qquad (2)$$

где p_{ni} — давление на всасывании в ступень, МПа;
χ_{1i} — средняя относительная потеря давления на всасывании в ступень;
Q_i — подача воздуха i-й ступенью компрессора, м^3/с;
a_i — относительная величина мертвого пространства в ступени;
Π_{yi} — отношение давлений в цилиндре;
A_{ci}, A_{pi} — коэффициенты сжатия воздуха в ступенях компрессора и его перемещения при политропическом процессе;
n_{pi} — показатель политропы расширения.

Подача воздуха i-й ступенью компрессора, м^3/с,

$$Q_i = V_i n, \qquad (3)$$

где V_i — действительный объем цилиндра i-й ступени, м^3;
n — частота вращения вала компрессора, об/сек.

Действительный объем, всасываемый компрессором, определяется по формуле

$$V_i = \lambda_i V_{hi}, \qquad (4)$$

где λ_i — коэффициент производительности i-й ступени;
V_{hi} — рабочий объем цилиндра i-й ступени, м^3.

Коэффициент производительности i-й ступени

$$\lambda_i = \lambda_{0i}\lambda_{di}\lambda_{ti} - \nu_{pi}^* - \nu_{koni}, \qquad (5)$$

где λ_{0i} — объемный коэффициент;
λ_{di} — коэффициент давления;
λ_{ti} — коэффициент подогрева;
ν_{pi}^* — относительные перетечки;
ν_{koni} — относительная доля потери производительности.

Объемный коэффициент

$$\lambda_{0i} = 1 - a_i\left[(\Pi_i)^{\frac{1}{n_{pi}}} - 1\right], \qquad (6)$$

где n_{pi} — показатель политропы расширения.

Коэффициент давления

$$\lambda_{di} = 1 - \frac{1+a_i}{n_1\lambda_{0i}}\chi_{1i}, \qquad (7)$$

где n_1 — показатель политропы в начале процесса сжатия;
χ_{1i} — среднее значение относительной потери давления при всасывании в соответствующую ступень.

Коэффициент подогрева

$$\lambda_{ti} = 0{,}985 - C_i(\Pi_i - 1), \qquad (8)$$

где C_i — постоянная, учитывающая систему охлаждения стенок цилиндров и полости всасывания.

Относительная доля потери производительности, вызываемая конденсацией водяных паров в холодильнике после 1-й ступени, определяется по формуле:

$$\nu_{koni} = \frac{\psi p_{н.п}}{p_{н1} - \psi p_{н.п}}\frac{R_г}{R_{в.п}}, \qquad (9)$$

где ψ =1,0 — относительная влажность воздуха при условиях всасывания;
$p_{н.п}$ =2332 — давление насыщенных паров, Па;
$p_{н1}$ =0,1 10^6 — давление воздуха, всасываемого в первую ступень, Па;
$R_г$ =287,2 — универсальная газовая постоянная сжимаемого воздуха, кДж/кг К;
$R_{в.п}$ =462 — универсальная газовая постоянная водяного пара, кДж/кг К.

Плотность воздуха перед всасывающим патрубком ступени

$$\rho_{ni} = \frac{p_i}{R_г T_i}, \qquad (10)$$

где p_i — давление на всасывание в ступень, Па;
T_i — температура на всасывании в ступень, К.

Коэффициенты сжатия воздуха в ступенях компрессора и его перемещения при политропическом процессе определяются по формулам:

$$A_{ci} = \frac{n_{ci}}{n_{ci}-1}\left[\Pi_{yi}^{\frac{n_{ci}-1}{n_{ci}}} - 1\right] \quad (11)$$

$$A_{pi} = \frac{n_{pi}}{n_{pi}-1}\left[\Pi_{yi}^{\frac{n_{pi}-1}{n_{pi}}} - 1\right], \quad (12)$$

где n_{ci} — показатель политропы сжатия;
n_{pi} — показатель политропы расширения;
Π_{ui} — отношение давлений в ступенях компрессора.

Результаты расчета мощности, потребляемой компрессором под нагрузкой и в режиме холостого хода, представлены в табл. 1.

Таблица 1 — Результаты расчета мощности, потребляемой компрессором под нагрузкой и в режиме холостого хода, в зависимости от позиции контроллера машиниста

Пк	Тормозной компрессор	
	$N_{нагр}$, кВт	$N_{хол.ход}$, кВт
1	2	3
0	12,45	4,3
1	12,45	4,3
2	12,45	4,3
3	13,69	4,74
4	16,6	5,74
5	19,92	6,89
6	23,65	8,18
7	26,97	9,33
8	31,12	10,76

Вторым основным потребителем мощности из вспомогательного оборудования является вентилятор холодильника. На маневровых тепловозах для охлаждения секций холодильника применяется осевой вентилятор, режим работы которого в процессе работы тепловоза определяется рядом факторов: режимом работы дизеля, временем работы дизеля на установившемся режиме, температурой окружающего воздуха, техническим состоянием секций холодильника и самого вентилятора [3]. Для расчета интегральных затрат мощности на привод вентилятора холодильника необходимо фиксировать режимы работы вентилятора и иметь методику расчета затрат мощности на привод вентилятора на установившемся режиме. Для аэродинамического расчета шахты холодильника применяются уравнения баланса энергии воздушного потока и уравнения его неразрывности [4].

Наиболее характерными элементами конструкции охлаждающего устройства являются жалюзи боковые и верхние, секции радиатора, шахта и элементы вентиляторной установки. Воздушный поток при проходе через шахту холодильника проходит через данные элементы, которые нужно учитывать при расчете напора вентилятора.

Развиваемый вентилятором напор, Па,

$$H = \Delta p_{бж} + \Delta p_{с} + \Delta p_{ш} + \Delta p_{вых}, \quad (13)$$

где $\Delta p_{бж}$, $\Delta p_{с}$, $\Delta p_{ш}$ — потери статического давления в боковых жалюзи, секциях радиатора и шахте холодильника;
$\Delta p_{вых}$ — потери статического давления на выходе (цилиндрический канал, верхний канал, жалюзи).

Аэродинамические потери на отдельных участках условно подсчитывают как местные сопротивления по зависимостям вида, Па,

$$\Delta p = \xi \frac{\gamma v^2}{2g}, \quad (14)$$

где ξ — коэффициент сопротивления рассматриваемого участка;
γ — удельный вес воздуха, кг/(м^2 с^2);
v — линейная скорость воздуха в начале или конце участка, м/с;
g — ускорение силы тяжести, м/с^2.

Сопротивление боковых жалюзи, Па,

$$\Delta p_{бж} = \xi_{бж} \frac{\gamma_0 v_{бж}^2}{2g}, \quad (15)$$

где $\xi_{бж} \approx 0{,}24$ — коэффициент сопротивления жалюзи;
$v_{бж}$ — скорость воздуха перед фронтом жалюзи, м/с.

Скорость воздуха перед фронтом жалюзи определяется по формуле, м/с,

$$v_{бж} = \frac{u_{вз}}{\rho_0}\frac{\omega_{взс}}{\omega_{фрс}}, \quad (16)$$

где $u_{вз}$ — расчетная массовая скорость в узком сечении секции, кг/(м^{2}с);
$\omega_{взс}$ — живое сечение секции для прохода воздуха в наиболее узком месте, м^2;
ρ_0 — плотность наружного воздуха при расчетной температуре, кг/м^3;
$\omega_{фрс}$ — фронтальная поверхность секции, м^2.

Сопротивление радиатора, Па,

$$\Delta p_{с} = Eu \frac{u_{вз}^{\ 2}}{\rho_0}, \quad (17)$$

где Eu — число Эйлера.

Для водовоздушных секций с шагом оребрения 2,3 мм

$$Eu = \frac{38.5 \cdot 10^{0{,}00339\theta}}{Re_{вз}^{0{,}35}}, \quad (18)$$

где $Re_{вз}$ — число Рейнольдса для рассматриваемого потока жидкости;
θ — температурный фактор.

Температурный фактор вычисляется по формуле:

$$\theta = (T_{вд} - T_{вз})10^2/T_{вд}, \quad (19)$$

где $T_{вд}$ — температура воды на входе в секцию, К;
$T_{вз}$ — температура воздуха на входе в секцию, К.

Аэродинамическое сопротивление шахты, Па,

$$\Delta p_{ш} = \xi_{ш} \frac{\gamma_1 v_{ом}^2}{2g}, \quad (20)$$

где $\xi_{ш}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления шахты;
$v_{ом}$ — скорость воздуха в сечении, ометаемом лопастями вентилятора, м/с.

Коэффициент аэродинамического сопротивления шахты вычисляется по следующей формуле:

$$\xi_{ш} = \left(1{,}84 + \frac{1{,}1}{n} - \frac{0{,}76D}{A}\right)(\overline{d})^{-0.24} - 1, \quad (21)$$

где n — степень поджатия потока;
A — ширина радиатора (с одной стороны тепловоза), м;

D — диаметр вентиляторного колеса, м;
$\bar{d}$ — относительный диаметр втулки вентилятора

$$\bar{d} = d/D, \quad (22)$$

где d — диаметр втулки вентилятора, м.

Степень поджатия потока

$$n = \frac{F_{фр}}{F_{ом}} = \frac{8AB}{\pi D^2(1-\bar{d}^2)}, \quad (23)$$

где $F_{фр}$ — общая площадь фронта радиатора, обслуживаемая вентилятором, м^2;
$F_{ом}$ — площадь, ометаемая лопастями вентилятора, м^2;
B — высота радиатора, м.

Аэродинамическое сопротивление верхних жалюзи, Па,

$$\Delta p_{вж} = (1{,}35 - 1{,}5)\Delta p_{бж} \quad (24)$$

На основании результатов теплового расчета радиатора рассчитываем необходимую производительность радиатора

$$V_{вз} = (1+\chi)\frac{\sum_1^i n_{ci}F_{ci}u_{вз}}{\rho_{вз}}, \quad (25)$$

где χ — коэффициент, учитывающий подсос воздуха в шахту через неплотности;
n_{ci} — число входящих в шахту холодильника и обслуживаемых рассчитываемым вентилятором секций, шт;
$\rho_{вз}$ — плотность воздуха перед входом в вентилятор, кг/м^3.

Мощность, потребляемая вентилятором, кВт,

$$N_в = \frac{V_{вз}}{\eta_в \eta_п}H, \quad (26)$$

где $\eta_в$ — КПД вентилятора;
$\eta_п$ — КПД передачи от дизеля к колесу вентилятора.

Результаты расчета мощности, потребляемой вентилятором холодильника, представлены в табл. 2.

По результатам расчетов мощностей, потребляемых на привод компрессора и вентилятора холодильника, можно определить расход топлива по каждой позиции индивидуально [5].

Часовой расход топлива определяется по формуле, кг/ч,

$$B_ч = q_в \cdot N_i, \quad (27)$$

где $q_в$ — удельный эффективный расход топлива, кг/ (кВт ч);
N_i — мощность вспомогательного оборудования, кВт.

Таблица 2 — Результаты расчета мощности, потребляемой вентилятором охлаждения шахты холодильника, в зависимости от позиции контроллера машиниста

Пк	Вентилятор охлаждения шахты холодильника $N_{парт}$, кВт
0	2,33
1	2,33
2	2,33
3	3,09
4	5,52
5	9,53
6	15,96
7	23,67
8	36,36

На основании формулы (27) результаты расчетов часового расхода топлива сведены в табл. 3.

Таблица 3 — Результаты расчета часового расхода топлива, потребляемого тормозным компрессором и вентилятором охлаждения шахты холодильника, в зависимости от позиции контроллера машиниста

Пк	be, кг/кВт·ч	Тормозной компрессор		Вентилятор охлаждения шахты холодильника
		$B_{хх}$,кг/ч	$B_{нагр}$,кг/ч	$B_{шх}$, кг/ч
0	0,314	3,91	1,35	0,73
1	0,314	3,91	1,35	0,73
2	0,272	3,39	1,17	0,63
3	0,241	3,30	1,14	0,74
4	0,23	3,82	1,32	1,27
5	0,223	4,44	1,54	2,13
6	0,223	5,27	1,82	3,56
7	0,226	6,10	2,11	5,35
8	0,242	7,53	2,6	8,80

Приведенная методика расчета затрат мощности на привод основных потребителей вспомогательного оборудования с использованием индивидуальных расходных характеристик ДГУ маневрового тепловоза и результатов контроля режимов работы тепловоза позволяет оценить ожидаемый расход топлива за смену.

Литература

1. URL: http://rzd.ru/isvp/public/rzd?STRUCTURE_ID=628 (дата обращения: 07.09. 2010).

2. Прилуцкий И. К., Пластинин П. И. Поршневые компрессоры: учеб. пособие для студентов вузов. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987. 372 с.

3. Куликов Ю. А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов. М.: Машиностроение, 1988. 280 с.

4. Панов Н. И. Тепловозы. Конструкция, теория и расчет. М.: Машиностроение, 1976. 544 с.

5. Володин А. И. Локомотивные энергетические установки: учебник для вузов ж.-д. трансп. М.: ИПК «Желдориздат», 2002. 718 с.

References

1. URL: http://rzd.ru/isvp/public/rzd?STRUCTURE_ID=628 (Search date: 07.09. 2010).

2. Prilutsky I. K., Plastinin P. I. Porshnevye kompressory ucheb.: posobie dlya studentov vuzov. L.: Mashinostroenie, Leningr. Otdelenie, 1987. 372 s.

3. Kulikov Yu. A. Sistemy okhlazhdeniya silovykh ustanovok teplovozov. M.: Mashinostroenie, 1988. 280 s.

4. Panov N. I. Teplovozy. Konstruktsiya, teoriya i raschet. M.: Mashinostroenie, 1976. 544 s.

5. Volodin A. I. Lokomotivnye energeticheskie ustanovki: uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. M. IPK «Zheldorizdat», 2002. 718 s.

УДК 621.331: 621.316.13

Константин Геннадьевич Шумаков, ассистент (УрГУПС, Екатеринбург),
Владимир Андреевич Вербицкий, главный инженер (служба «Э» СвЖД, Екатеринбург),
Александр Геннадьевич Галкин, доктор технических наук, профессор (УрГУПС, Екатеринбург),
Андрей Николаевич Штин, кандидат технических наук, доцент (УрГУПС, Екатеринбург)

НАДЕЖНОСТЬ СХЕМЫ РАСПРЕДУСТРОЙСТВА ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИИ НА ОТВЕТВЛЕНИЯХ БЕЗ ПЕРЕМЫЧКИ

Konstantin G. Shumakov, assistant lecturer (the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg),
Vladimir A. Verbitskiy, chief engineer ('E' Service of Sverdlovskaya Railway, Ekaterinburg),
Aleksander G.Galkin, DSc, Professor (The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg),
Andrey N. Shtin, PhD, Associate Professor (The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg)

Reliability of the scheme of the switching center of substation supplying voltage on branches without a jumper

Аннотация

Предложена схема распределительного устройства питающего напряжения подстанции на ответвлениях (отпаечной подстанции). Рассмотрена реализация данной схемы как на отдельно стоящем, так и на интегральном силовом оборудовании. Разработана методика определения показателей надежности методом Монте-Карло. Произведено сравнение показателей надежности предложенных схем с типовой схемой. Показано, что предложенные схемы обладают не меньшей надежностью, чем типовая схема. Сделан вывод о целесообразности исключения или демонтажа перемычки из схем, соответственно вновь сооружаемых или модернизируемых подстанций на ответвлениях.

Ключевые слова: подстанция на ответвлениях, распределительное устройство, перемычка, показатели надежности, метод Монте-Карло.

Annotation

In article the scheme of the switching center of substation supplying voltage on branches (of spur substation) is offered. Realization of the given scheme both on outboard, and on the integral power equipment is considered. The technique of reliability indexes determination by Monte-Carlo's method is developed. The comparison of reliability indexes of the offered schemes with the typical scheme is carried out. It is shown that the offered schemes are as reliable as the typical scheme. It is concluded that it is reasonable to exclude or demount the jumpers from schemes of the new constructed or renewed substations on branches.

Key words: substation on branches, the switching center, jumper, reliability indicators, a method of Monte-Carlo.

Тяговые подстанции (ТП) магистральных железных дорог осуществляют питание тяговых и нетяговых потребителей. Проектирование и строительство ТП производится в соответствии с типовыми решениями [1].

Использование современных материалов и технологий при производстве электротехнического оборудования позволяет повысить его показатели надежности. Однако стоимость такого оборудования довольно высока. Поэтому применение современного оборудования в старых схемных решениях приведет к повышению не только надежности электроснабжения, но и капитальных затрат.

В работах [2, 3] рассмотрены несколько схем открытых распределительных устройств (ОРУ) питающего напряжения опорных и транзитных ТП, содержащих меньшее количество оборудования, чем в типовых схемах, но обладающих практически той же надежностью. В данной статье предлагается упрощенная схема отпаечной тяговой подстанции (ОТП ТП).

Типовая схема ОРУ питающего напряжения ОТП ТП включает в себя два ввода и перемычку [1, 4]. Такая схема позволяет обеспечить питание одного или двух понижающих трансформаторов по любому из вводов или по двум вводам одновременно. Перемычка секционируется двумя разъединителями.

Предлагаемая в данной работе упрощенная схема ОРУ питающего напряжения ОТП ТП не содержит перемычки и представляет собой два отдельных ввода, подключенных к двум независимым ЛЭП.

При выполнении данной схемы на отдельно стоящем оборудовании (ОСО) в каждом ее вводе устанавливаются (рис. 1) ограничители перенапряжения FV1 (FV2), разъединители QS1 (QS2), выключатели Q1 (Q2) и измерительные трансформаторы TA1 (TA2) и TV1 (TV2).

В зависимости от принятой схемы работы понижающих трансформаторов питание может осуществляться как по одному вводу, так и по двум одновременно.

e-mail: shumakovk@mail.ru

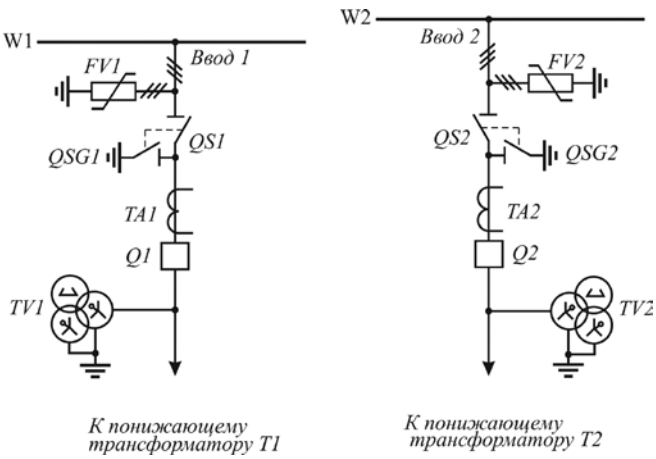


Рисунок 1 — Предложенная упрощенная схема ОРУ питающего напряжения ОТП ТП, выполненная на ОСО

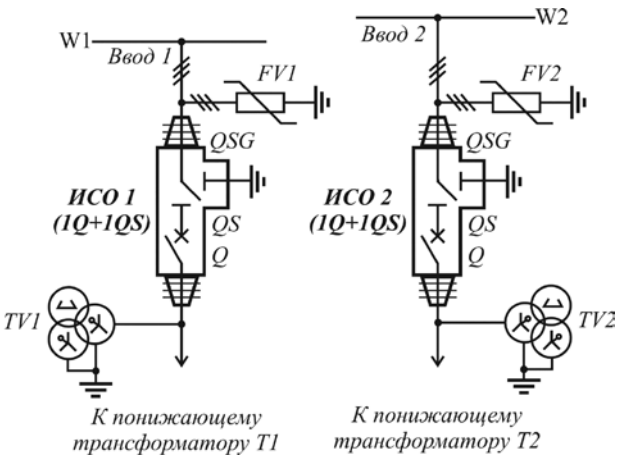


Рисунок 2 — Предложенная упрощенная схема ОРУ питающего напряжения ОТП ТП, выполненная на ИСО

Установка ограничителей перенапряжений FV1 (FV2) со стороны линии позволяет защищать от перенапряжений не только понижающий трансформатор, но и оборудование ввода. Ограничители перенапряжений подключаются к вводам без разъединителей ввиду их высокой надежности и редкого технического обслуживания.

Трансформаторы напряжения на ОТП ТП используются только для учета электрической энергии. В предлагаемой схеме они должны вступать в работу только при включении соответствующего ввода. Поэтому при установке TV1 (TV2) после силовых выключателей Q1 (Q2) необходимость в разъединителях для отключения TV1 (TV2) отпадает. С учетом этого и вследствие отсутствия перемычки можно заключить, что число разъединителей в предлагаемой схеме по сравнению с типовой снижается с восьми до двух. Это приведет к снижению общей стоимости оборудования от 2100 тыс. руб. и выше, в зависимости от марки устанавливаемого оборудования.

В [4] были предложены схемные решения ОТП ТП, реализованные на интегральном силовом оборудовании (ИСО). Такое оборудование включает в себя силовой выключатель и несколько разъединителей. Все коммутационные аппараты находятся в одном корпусе, который заполнен элегазом. Применение такого оборудования позволяет сократить эксплуатационные расходы.

Рассмотрим упрощенную схему ОРУ питающего напряжения ОТП ТП на ИСО, которая показана на рис. 2.

Схема, приведенная на рис. 2, по функциональному назначению основных элементов полностью совпадает со схемой рис. 1, но реализована на ИСО типа 1Q+1QS.

Железнодорожный транспорт является потребителем первой категории и, следовательно, не допускает перерыва в электроснабжении. Оценим сравниваемые схемы по критерию надежности электроснабжения потребителей.

В [5] предложена методика определения показателей надежности сложных электрических систем, основанная на теории графов. Она включает два основных этапа: нахождение минимальных путей методом потенцирования матрицы инцидентности ребер и определение надежности системы методом включения-исключения. Методика позволяет оценить сколь угодно сложную систему. Ее недостатком является то, что применение в ней метода включения-исключения приводит к экспоненциальному росту числа слагаемых в уравнении при увеличении числа элементов системы. При этом возникает необходимость составления и решения очень сложного уравнения.

Этого недостатка лишен метод Монте-Карло, основанный на вероятностном подходе. При его использовании требуемый объем вычислений с возрастанием числа элементов системы возрастает линейно. Кроме того, отпадает необходимость в составлении и решении сложных уравнений. Это позволяет автоматизировать процесс вычисления при помощи ЭВМ.

Рассмотрим применение этого метода.

Для каждого i-го элемента системы разыгрывается случайное число $0 \le p_i \le 1$, которое сравнивается с нормативной вероятностью безотказной работы $P_{i\text{Н}}$ этого i-го элемента. В результате сравнения определяется логическое состояние i-го элемента, которое может принимать одно из двух логических значений: исправен ($a_i = 1$) или неисправен ($a_i = 0$). Таким образом:

$$a_i = \begin{cases} 0, если\ p_i \ge P_{iH}; \\ 1, если\ p_i < P_{iH}, \end{cases} \qquad (1)$$

где P_{iH} — нормативная вероятность безотказной работы i-го элемента.

Любой i-й элемент системы может принадлежать нескольким j-м путям и занимать в них одно l-е место. Тогда логическое состояние j-го пути определяется как

$$T_j = \bigvee_{l=1}^{K_j} a_{j,l}, \qquad (2)$$

где K_j — количество элементов в j-м пути;

$a_{j,l}$ — логическое состояние l-го элемента в j-м пути.

Формула (2) представляет собой перемножение логических состояний элементов, входящих в путь, и означает, что j-й путь исправен только тогда, когда работоспособны все элементы, принадлежащие пути.

Логическое состояние всей системы R будет представлять собой сумму логических состояний минимальных путей, полученных в (2),

$$R = \bigwedge_{j=1}^{M} T_j, \qquad (3)$$

где M — максимальное число минимальных путей для выбранной схемы;

T_j — логическое состояние j-го минимального пути.

Это означает, что если исправен хотя бы один путь, то работоспособна система в целом.

Очевидно, что для получения достаточно точного значения вероятности безотказной работы системы следует производить довольно большое число розыгрышей. Для определения требуемого числа розыгрышей при заданной ошибке можно воспользоваться, например, методикой, изложенной в [6].

Проведя необходимое число розыгрышей и определив по (3) ряд логических состояний системы 4, можно по известному выражению [7] определить вероятность безотказной работы P рассматриваемой системы в целом:

$$P = \frac{\sum_{S=1}^{D} R_S}{D}, \qquad (4)$$

где D — число произведенных розыгрышей методом Монте-Карло;

S — номер розыгрыша.

На основе вышесказанного построена математическая модель определения показателей надежности сложных электрических систем, которая реализована на ЭВМ и закреплена авторским свидетельством о государственной регистрации программы [8].

Данная модель позволяет не только оценить надежность проектируемой электрической схемы, но и, зная модели нагрузок и модели старения эксплуатируемого оборудования, осуществить прогнозирование работоспособности реальных подстанций.

Применим эту методику для определения вероятности безотказной работы рассмотренных схем ОРУ питающего напряжения ОТП ТП.

Расчеты будем производить при следующих условиях:

1) типовая схема на ОСО [1, 4] выполнена на электротехническом оборудовании, выпускаемом отечественной промышленностью до начала 1990-х гг. (масляные выключатели, разъединители РНДЗ, масляные измерительные трансформаторы, разрядники);

2) упрощенная схема на ОСО (см. рис. 1) выполнена на современном отечественном оборудовании (элегазовые выключатели, разъединители РГ, элегазовые измерительные трансформаторы, ОПН);

3) упрощенная схема на ИСО (см. рис. 2) выполнена на элегазовых ячейках типа PASS M0, выпускаемых концерном ABB [9].

Значения нормативных вероятностей безотказной работы возьмем из [4, 9].

Оценим схемы в двух состояниях: «Обрыв» и «КЗ» [3, 5].

Результаты расчетов, полученных при использовании разработанной выше методики, приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 — Результаты расчетов основных показателей надежности схем в режиме «Обрыв»

Схема	Интенсивность отказа схемы λ_C	Вероятность безотказной работы схемы P_C	Вероятность отказа схемы Q_C
Типовая схема на ОСО	0,0008 0,0008	0,9960 0,9959	0,0040 0,0039
Предложенная схема на ОСО	0,00061 0,00061	0,9968 0,9968	0,0032 0,0032
Предложенная схема на ИСО	0,00016 0,00016	0,9992 0,9992	0,0008 0,0008

Примечание. ***В табл. 1 и 2 в числителе — результаты, полученные по методике, приведенной выше, в знаменателе — полученные по методике, предложенной в [5].***

Таблица 2 — Результаты расчетов основных показателей надежности схем в режиме «КЗ»

Схема	Интенсивность отказа схемы λ_C	Вероятность безотказной работы схемы P_C	Вероятность отказа схемы Q_C
Типовая схема на ОСО	0,0025 0,00247	0,9876 0,9877	0,0124 0,0123
Предложенная схема на ОСО	0,00138 0,00142	0,9931 0,9929	0,0069 0,0071
Предложенная схема на ИСО	0,00068 0,00064	0,9966 0,9968	0,0034 0,0032

Анализируя данные табл. 1 и табл. 2, можно сделать вывод, что предложенная схема распределительного устройства питающего напряжения подстанции на ответвлениях без перемычки при выполнении ее на современном как на отдельно стоящем, так и на интегральном силовом электротехническом оборудовании имеет не меньшую надежность, чем типовая схема такого распределительного устройства, выполненного на масляном оборудовании. Это говорит о целесообразности исключения или демонтажа перемычки из схем соответственно вновь сооружаемых или модернизируемых подстанций на ответвлениях.

Из табл. 1 и табл. 2 также видно, что разработанная в данной статье вероятностная методика определения показателей надежности, основанная на методе Монте-Карло, имеет высокую сходимость с результатами, полученными по аналитической методике, изложенной в [5]. Преимуществом предложенной методики является возможность полной автоматизации процесса нахождения показателей надежности на ЭВМ.

Литература

1. *Унифицированные тяговые подстанции магистральных железных дорог. Схемы принципиальные с новыми типами реле : типовые материалы для проектирования ОТМ 32-4243-01 // Схемы принципиальные электрические РУ 3,3 — 220 кВ. Альбом 1.*

2. *Шумаков К.Г. Схемные решения распределительных устройств питающего напряжения опорных подстанций на современном оборудовании // Разработка и совершенствование электрооборудования для систем тягового электроснабжения железных дорог : сборник научных трудов / под науч. ред. А.В. Ефимова, Ю.П. Неугодникова. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. Вып. 70 (153). С. 110 — 116.*

3. *Галкин А.Г., Вербицкий В.А., Штин А.Н., Шумаков К.Г. Сравнение схемных решений распределительных устройств питающего напряжения транзитных подстанций на отдельно стоящем оборудовании // Транспорт Урала. 2009. № 3. С. 108 — 111.*

4. *Применение элегазовых ячеек PASS в открытом распределительном устройстве питающего напряжения отпаечных тяговых подстанций / Б.А. Аржанников, В.А. Вербицкий, А.С. Низов, А.Н. Штин, К.Г. Шумаков; под ред. А.Г. Галкина. // Совершенствование схем устройств электроснабжения транспорта и проектирование их конструкций : сборник научных. трудов. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2005. Вып. 48(131). С. 5 — 14.*

5. *Галкин А.Г., Титов С.С., Штин А.Н., Шумаков К.Г. Методика определения показателей надежности сложных электрических систем // Транспорт Урала. 2010. № 2. С. 88 — 90.*

6. *Shooman M.C. Probabilistic Reliability: An Engineering Approach New York : McGraw-Hill, 1968.*

7. *Knight V.G. Power Systems Engineering and Mathematics. Pergamon, Oxford, England, 1972.*

8. *А. с. 2009612452. Расчет показателей надежности различных схем подстанции / К.Г. Шумаков (Россия). Заявл. 23.03.20, зарегистр. в Госреестре программ для ЭВМ 15.05.09.*

9. *Innovative solutions for distribution substations up to 170 kV with PASS M0. ABB Power Transmission, 2001, 46 с.*

References

1. *Unificirovannye tyagovye podstantsii magistralnykh zheleznykh dorog. Skhemy printsipialnye s novymi tipami rele. Tipovye materialy dlya proektirovaniya OTM 32—4243—01/ Skhemy principialnye elektricheskie RU 3,3—220 kV. Albom 1.*

2. *Shumakov K.G. Skhemnye resheniya raspredelitelnykh ustrojstv pitayucshchego napryazheniya opornykh podstantsij na sovremennom oborudovanii / Rrazrabotka i sovershenstvovanie elektrooborudovaniya dlya sistem tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog: 70-letiyu so dnya rozhdeniya Yuriya Mikhajlovicha Beya posvyashchaetsya / Pod nauchn. red. A.V.Efimova Yu.P. Neugodnikova. — Ekaterinburg: Izd-vo URGUPS; Vyp. 70 (153), 2009, S.110 — 116.*

3. *Galkin A.G., Verbitskij V.A., Shtin A.N., Shumakov K.G. Sravneniye skhemnykh reshenij raspredelitelnykh ustrojstv pitayushchego napryazheniya tranzitnykh podstantsij na otdelno stoyashchem oborudovanii // Transport Urala. 2009. № 3. S. 108 — 111.*

4. *B.A. Arzhannikov, V.A. Verbitskij, A.S. Nizov, A.N. Shtin, K.G. Shumakov Primenenie elegazovyh yacheek PASS v otkrytom raspredelitelnom ustrojstve pitayushchego napryazheniya otpaechnykh tyagovykh podstantsij: Sb. nauch. tr./ Pod red. A.G. Galkina. Sovershenstvovanie skhem ustrojstv elektrosnabzheniya transporta i proektirovanie ikh konstruktsij — Ekaterinburg: Izd-vo Ural. gos. un-ta putej soobshcheniya, 2005. Vyp. 48 (131). S. 5 — 14.*

5. *Galkin A.G., Titov S.S., Shtin A.N., Shumakov K.G. Metodika opredeleniya pokazatelej nadezhnosti slozhnykh elektricheskikh system // Transport Urala. 2010. № 2. S. 88 — 90.*

6. *Shooman, M.C., Probabilistic Reliability: An Engineering Approach. McGraw-Hill, New York, 1968.*

7. *Knight, V.G., Power Systems Engineering and Mathematics. Pergamon, Oxford, England, 1972.*

8. *Svid. №2009612452 Raschet pokazatelei nadezhnosti razlichnykh skxem podstantsii / Shumakov K.G. (Rossiya). — № 2009611205; Zayavleno 23.03.2009г. Zregistrirovano v Gos. Reyestre program dlya EVM May 15, 2009.*

9. *Innovative solutions for distribution substations up to 170 kV with PASS M0 Изд-во ABB Power Transmission, 2001, 46 с.*

УДК 629.46:656.225.073.437

Александр Эдуардович Павлюков, доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны» (УрГУПС, Екатеринбург),
Александр Владленович Занкович, начальник конструкторского бюро (ОАО «ОКБ Новатор», г. Екатеринбург)
Середа Андрей Борисович, к.т.н., доцент кафедры «Механика деформируемого твердого тела, основания и фундаменты» (УрГУПС, Екатеринбург)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ВАГОНАХ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СЫПУЧЕСТИ СМЕРЗШИХСЯ ГРУЗОВ КОНВЕКТИВНЫМ РАЗОГРЕВОМ

Alexander E. Pavlyukov, DSc, professor of Railway Car department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg,
Alexander V. Zankovich, the head of design office of JSC "OKB Novator", Ekaterinburg,
Andrey B. Sereda, PhD, Associate Professor (The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg)

The research of thermal processes in railway cars at frozen loads flowability recovery by convective heating

Аннотация

Эффективным способом восстановления сыпучести смерзшихся грузов в вагонах считается разогрев таких вагонов в камерах принудительного разогрева (тепляках). Однако при этом в действующих тепляках не всегда соблюдаются нормативные требования к максимально допустимым температурам нагрева узлов вагона. Кроме того, в последнее время внедрены новые узлы вагона с полимерными деталями, а требования к значениям температур остались те же. Это определяет интерес к исследованию процессов, происходящих в тепляках, как опытным путем, так и на математических моделях. В статье приведены результаты разработки математической модели тепловых процессов в вагоне при разогреве в конвективных тепляках; теоретических исследований нагрева узлов и деталей полувагона, выполненных на разработанных моделях. Результаты исследований позволили обосновать применение более эффективных параметров подачи горячего воздуха, обеспечивающих снижение времени разогрева и уменьшение тепловых нагрузок на полимерные детали вагонов.

Ключевые слова: конвективный разогрев, тепляк, коллектор, сопло, температура, математическая модель, теплоотдача, тепловое состояние, сохранность вагонов.

Annotation

The effective method of frozen loads flowability recovery in railway cars is the railway cars heating with frozen loads in cells of forced heating (heated housing). However at load heating in active heated housings there are not always standard requirements to maximum heating temperatures of railways nodes. Moreover there are recently implemented new railway cars nodes with polymeric details, and the requirements to temperatures are still the same. This shows the interest in processes research in heated housings in practice and with the help of mathematical models. In the article there are given the results of mathematical model design of thermal processes in a railway car at convective heating housings warming, theoretical researches of nodes heating and gondola details made on developed models. The research results allowed to justify the use of more effective parameters of hot air supply providing heating time decrease and thermal loads decrease on polymeric railway cars' details.

Key words: convective heating, heating housing, collector, nozzle, temperature, mathematical model, heat emission, thermal condition, railway cars safety.

Существует несколько способов восстановления сыпучести смерзшихся зимой грузов, перевозимых в вагонах, например: механические с применением воздействия вибрационного или ударного характера; химические — на основе использования противосмерзающих добавок в груз и тепловые способы. Наиболее безопасным и эффективным методом восстановления сыпучести смерзшихся грузов следует считать разогрев вагонов в камерах принудительного разогрева (тепляках). Особенно целесообразно восстановление сыпучести смерзшихся грузов в тепляках в комплексе с вагоноопрокидывателем.

Применяемые для разогрева грузов тепляки отличаются конструктивным исполнением и способом разогрева, а также типом теплоносителя (табл. 1).

Таблица 1 — Основные виды используемых тепляков

Способ разогрева	Тип теплоносителя
Конвективный	Газовоздушный (продукты горения, топочный, доменный или природный газ с воздухом). Воздушный (горячий воздух или отборный пар)
Радиационный	Инфракрасные лучи (от панелей, разогреваемых паром, электричеством и др.)
Гидроволновой	Испарения и конденсации жидкости (воздействие на жидкость высокочастотными источниками механических и электромагнитных колебаний)
Комбинированный	Применение нескольких способов одновременно

Наиболее распространенным типом тепляка является конвективный. Напомним, что конструкция тепляка, как правило, включает в себя параллельно расположенные продольно несколько секций, в которых размещается до 24 сцепленных четырехосных вагона (в зависимости от конструкции тепляка). В секциях на высоте 600 — 1000 мм расположен с двух сторон вагонов воздуховод (коллектор) со щелевыми соплами, направленными на вагон (рис. 1). Горячий воздух поступает по коллектору и через сопла попадает на вагон. В некоторых конструкциях конвективных тепляков предусмотрена также подача воздуха сверху вагона прямо на груз.

Однако во всех тепляках необходимо строгое обеспечение режимов работы, исключающих нагрев сверх допускаемых тем-

e-mail: apavlukov@mail.ru

Рисунок 1 — Общий вид размещения вагона относительно коллектора и сопел

пературы сборочных единиц и деталей вагона (требования сохранности вагонов по ГОСТ 22235-76 [1]), особенно буксовых узлов, тормозного оборудования, во избежание повреждений в них и тем самым нарушения безопасности движения вагонов.

Температура в камере, где находится вагон, контролируется только по штатным термопарам, расположенным, как правило, по одной у каждого вагона. Термопара находится вне зоны выхода из сопел теплоносителя, между тем поток теплоносителя часто попадает прямо на детали тележки и тормозное оборудование, и температура непосредственно в потоке значительно выше, чем в камере. Кроме того, предприятия зачастую плохо контролируют процесс соблюдения температур и в погоне за скоростью и сокращением простоя вагонов форсируют режимы разогрева груза, используя повышенную температуру теплоносителя или изменяют в большую сторону регламентированное ГОСТ 22235-76 [1] время поддержания или изменения требуемой температуры.

Все это определяет интерес к исследованию процессов, происходящих в тепляках, как опытным путем, так и на математических моделях. Актуальность исследований определяется также тем, что в последние годы началось применение в новых конструкциях тележек грузовых вагонов деталей из полиуретана, обладающих гораздо меньшей термостойкостью, чем металлические детали. Действующий ГОСТ 22235-76 [1] не предусматривает правила разогрева полувагонов с подобными конструктивными решениями. В связи с этим необходимо ввести обоснованные дополнения в руководящие документы, которые смогут предусмотреть правила, а также места подачи тепла к вагонам, в конструкции которых применяются полимерные материалы.

В статье предлагается рассмотреть результаты теоретических исследований состояния вагонов при разогреве груза в тепляке конвективного типа на примере действующего теплякa Магнитогорского металлургического комбината.

Математическая модель

Распределение тепла в смерзшемся грузе и вагоне с учетом взаимодействия с окружающей средой и обдува горячим воздухом относится к задачам конвективного теплообмена. При этом моделирование взаимодействия квазитвердого тела (вагона с грузом) с газом (воздухом) сводится к рассмотрению процесса теплопроводности в вагоне, а взаимодействие с воздушной средой учитывается через граничные условия при решении уравнения процесса теплопроводности. Это исключает из рассмотрения уравнения гидродинамики обтекания газом, что существенно упрощает математическое описание теплообмена.

В общем случае уравнение распространения тепла в твердом теле для нестационарного процесса записывается следующим классическим образом в частных производных в декартовых осях координат [2]:

$$\rho c\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_x\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q_{\text{в}}, \quad (1)$$

где ρ — плотность, кг/м^3;

c — удельная теплоемкость, Дж/кг·град;

T — температура, град;

t — время, с;

λ_x — коэффициент теплопроводности в направлении соответствующей оси координат, Вт/м·град;

$q_{\text{в}}$ — плотность внутреннего источника тепла, Вт/м^3.

Для общей задачи распределения температурных полей уравнение (1) решается для каждого узла вагона. Для изотропного тела при отсутствии внутреннего источника тепла уравнение (1) примет вид

$$\frac{\rho c}{\lambda}\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right). \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение (2) описывает целый класс явлений теплопроводности. Чтобы из бесчисленного количества выделить рассматриваемый процесс нагрева вагона узла и дать его математическое описание, к дифференциальному уравнению необходимо присоединить описание всех частных его особенностей — условия однозначности, или краевые условия. Эти условия однозначно определяют распределение температуры в вагоне, и никакое другое распределение при данных условиях невозможно, т. е. решение является единственным.

Условия однозначности включают в себя:

— геометрические условия, характеризующие форму и размеры тела (узлов и деталей вагона);

— физические условия, характеризующие физические свойства деталей вагона и окружающей среды (параметры плотности, теплопроводности и др.);

— начальные (временные) условия, характеризующие распределение температур в вагоне в начальный момент времени;

— граничные условия, характеризующие взаимодействие буксового узла с окружающей средой и тепловые нагрузки.

В нашем случае начальные условия при равномерном распределении температуры аналитическим образом могут быть записаны следующим образом:

$$\text{при } t = 0 \; T = T_0 = const.$$

Начальная температура в задаче принималась одинаковой во всей системе и равной –20°С. Процесс исследуется до выхода системы на стационарный режим.

Граничные условия задавались как условия первого, третьего и четвертого родов.

Граничные условия первого рода. При этом задавалось распределение температуры $T_{\text{с}}$ на поверхности тела для каждого момента времени

$$T_{\text{с}} = f(x,y,z,t),$$

где x,y,z — координаты поверхности тела.

Граничные условия третьего рода. При этом задаются температура окружающей среды $T_{\text{нв}}$ и закон теплообмена между

поверхностью тела и окружающей средой. Для описания процесса теплообмена между поверхностью тела и средой используется закон Ньютона — Рихмана [3]. Согласно данному закону, количество теплоты q, отдаваемое единицей поверхности тела в единицу времени, пропорционально разности температур поверхности тела T и окружающей среды $T_{нв}$ через коэффициент пропорциональности — коэффициент теплоотдачи a.

$$q = a(T - T_{нв}).$$

Коэффициент теплоотдачи зависит от нескольких факторов, но в большей степени от скорости обтекания в пограничном слое поверхности тела. Для определения полей скоростей теплоносителя в пограничном слое, омывающем исследуемые поверхности вагона, разрабатывалась трехмерная виртуальная модель полувагона и узлов подачи теплоносителя. Определение скоростей обтекания производилось в программном комплексе FloWorks. Трехмерная виртуальная модель половины полувагона и узлов подачи горячего теплоносителя для исследования процессов разогрева вагонов и характерные результаты расчета траекторий и полей скоростей обтекания горячего теплоносителя показаны на рис. 2 и 3.

По полученным скоростям теплоносителя в пограничном слое (см. рис. 3) вычислялись поля коэффициентов теплоотдачи α с внешних поверхностей вагона по эмпирической формуле [4]

$$\alpha = 5{,}6 + 4V,$$

где V — скорость воздуха в пограничном слое, м/с.

Граничные условия четвертого рода характеризуют условия теплообмена на поверхности тел между собой на условиях теплопроводности. При этом, согласно закону сохранения энергии, на поверхности контакта тел имеется равенство тепловых потоков, проходящих через поверхность контакта.

Тепловой поток через контакт двух тел с температурами соответственно T_1 и T_2

$$q = k(T_1 - T_2),$$

где k — коэффициент контактной теплопередачи или величина, обратная контактному термическому сопротивлению, Вт/м^2·град.

При идеальном контакте двух тел температуры соприкасающихся поверхностей одинаковы. Применительно к задаче разогрева грузового цельнометаллического полувагона с грузом принимался идеальный тепловой контакт ($k > 10^4$), т. е. практическое отсутствие термического сопротивления, в паре «кузов вагона — груз». Термическое сопротивление при последующих уточненных расчетах нагрева узлов полувагона (скользун, клиновый гаситель колебаний, букса) определялось по полуэмпирическим формулам [4] с последующей идентификацией и уточнением по результатам натурных испытаний [5], а при исследовании нагрева буксы — и стендовых испытаний [6].

Для решения задачи разогрева вагона, оценки тепловых процессов и распределения температурных полей в вагоне и грузе использован метод конечных элементов (МКЭ). Уравнение теплопроводности (2) в матричной форме, приведенное к методу конечных элементов с учетом сформулированных граничных условий, записывается следующим образом [7]:

$$[K]\{T\} + [C]\{\dot{T}\} = \{Q\},$$

где $[K]$ — матрица теплопроводности;
$[C]$ — матрица удельных теплоемкостей;
$\{T\}$ — узловые температуры;
$\{\dot{T}\}$ — скорость изменения температуры;
$\{Q\}$ — вектор узлового теплового потока.

Для аппроксимации геометрии вагона и груза применительно к тепловому анализу был выбран объемный 10-узловой конечный элемент в виде тетраэдра. Выбор данного типа элемента обусловлен тем, что такая форма максимально достоверно аппроксимирует объемную геометрию вагона с грузом. Применительно к аналитической программной среде ANSYS, в которой разрабатывалась модель, общее количество элементов составило более 300 000. Физические свойства узлов вагона в расчетной модели задавались соответствующим порядком как для стальных конструкций. Для описания свойств груза использовался следующий подход: груз задавался как единое тело (содержащее в соотношениях: каменный уголь — 80%; лед — 20%) с эквивалентными теплофизическими характеристиками: плотность, теплопроводность, теплоемкость.

Эквивалентные теплофизические характеристики «смеси» каменного угля и льда (воды) рассчитывались из приведенных процентных соотношений. Эквивалентное значение характеристик: плотность $\rho_{экв}$, теплопроводность $\lambda_{экв}$, теплоемкость $c_{экв}$ рассчитывалось как среднеинтегральное для 1 м^3 объема «смеси»:

$$\rho_{экв} = \frac{\rho_{уголь} V_{уголь} + \rho_{лед(вода)} V_{лед(вода)}}{V_{сумм}};$$

$$\lambda_{экв} = \frac{\lambda_{уголь} V_{уголь} + \lambda_{лед(вода)} V_{лед(вода)}}{V_{сумм}};$$

$$C_{экв} = \frac{C_{уголь} V_{уголь} + C_{лед(вода)} V_{лед(вода)}}{V_{сумм}}.$$

Оценка достоверности модели

Достоверность модели оценивалась по экспериментальным данным, полученным при проведении одним из авторов данной статьи натурных испытаний в тепляке Магнитогорского металлургического комбината [5]. Для этого выполнялись расчеты температур от граничных условий, полученных в эксперименте, а именно функции изменения температуры в секции. Как следует из характера экспериментальных и расчетных зависимостей температур (рис. 4, табл. 2), модель позволяет получить сопоставимые результаты (расхождение от 3 до 15%) и может быть использована для численного экспериментирования.

Таблица 2 — Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплового состояния узлов полувагона при разогреве в тепляке, °С

Место, деталь контроля	Нормативное значение [1]	Значение температуры (эксперимент/расчет) в фазе от начала разогрева, мин			
		0 — 100	100 — 150	150 —300	300 — 360
Секция	60 — 100	92	70	62	92
Фрикционный клин	90	66/69	58/60	58/62	66/73
Скользун	90	81/88	61/62	58/56	82/95
Крышка люка	130	77/75	48/50	46/49	77/84
Боковая стена	90	56/59	52/54	52/55	56/62
Шток тормозного цилиндра	55	57*/59*	45/50	42/47	57*/59*

**** Превышение нормативного значения.***

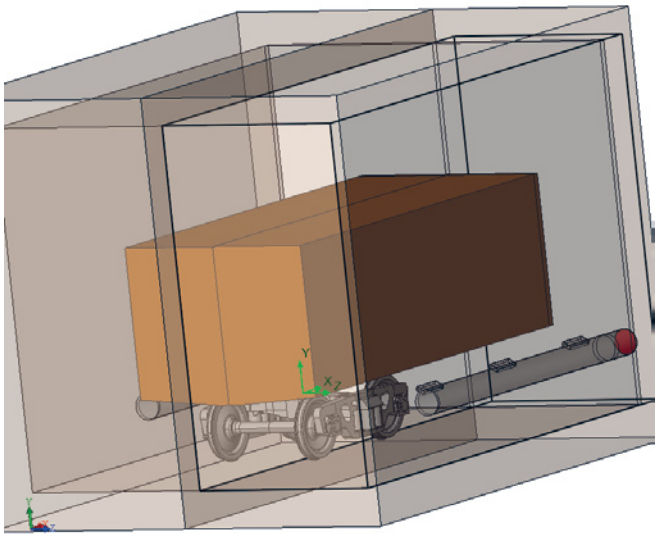


Рисунок 2 — Трехмерная виртуальная модель полувагона и узлов подачи горячего воздуха для исследования процессов разогрева вагонов

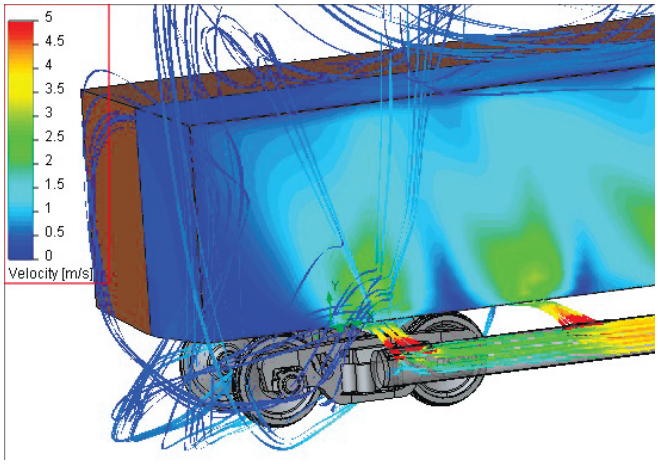


Рисунок 3 — Траектории горячего теплоносителя в тепляке и поля скоростей обтекания на поверхностях вагона

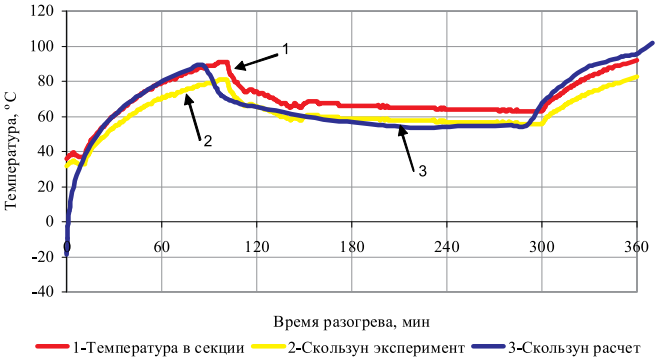


Рисунок 4 — Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей температур нагрева скользуна при разогреве вагона в тепляке

Исследования на моделях

Выше уже упоминалось, что представляет интерес исследование работы полимерных элементов в новых конструкциях тележек. В конструкции таких тележек могут устанавливаться упругие скользуны с полиуретановым упругим элементом. Предположим, что в исследуемом вагоне установлены упругие скользуны конструкции, представленной на рис. 5. На разработанной модели скользуна исследовалось распределение температур внутри данной конструкции, при этом изменение общей температуры скользуна в процессе разогрева груза задавалось по экспериментальной зависимости, изображенной на рис. 4. Результаты моделирования получены в виде полей температур (рис. 6) в деталях конструкции упругого скользуна с полимерным элементом в процессе разогрева. Как показывают эти результаты, при нагреве от тепловых нагрузок, измеренных при испытаниях в действующем тепляке, температуры в отдельных зонах полимерных элементов могут достигать 92 — 98°С. При этом металлические детали имеют температуру ниже на 10 — 12°С. Напомним, что рабочая температура основных марок полиуретанов имеет ограничение до 100 — 120°С.

Таким образом, весьма актуальным является поиск таких параметров разогрева грузов в тепляках, которые бы обеспечивали условия сохранности вагонов по ГОСТ 22235-76 [1], а также обеспечивали минимизацию тепловых нагрузок на полимерные детали тележек.

Покажем, как с использованием разработанной модели разогрева вагона с грузом в тепляке возможно решать данные вопросы. Далее представлены результаты численного экспериментирования на разработанных моделях и выполнен выбор рационального угла наклона сопла коллектора с точки зрения уменьшения времени размораживания груза и снижения теплового воздействия на детали кузова, тележек и тормозов.

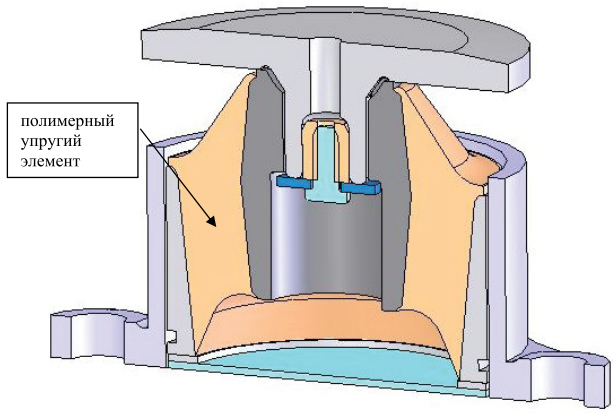


Рисунок 5 — Трехмерная модель упругого скользуна с полимерным упругим блоком (как вариант конструкции)

Согласно техническим характеристикам действующего тепляка, где проходили испытания, угол наклона сопла коллектора равен 20 градусов к горизонту. Однако анализ результатов испытаний показывает, что данное значение не является рациональным. С целью оценки данного значения и разработки предложений по выбору рационального значения были проведены численные исследования на модели. Критерием рациональности угла наклона были приняты:

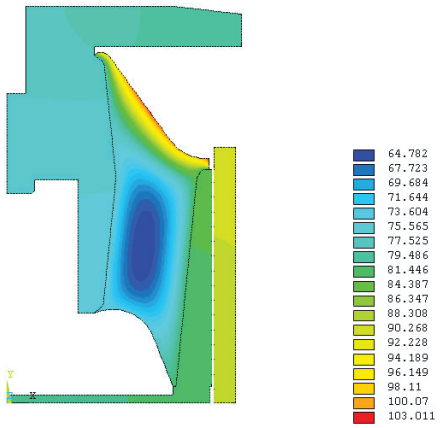


Рисунок 6 — Температурные поля (°С) в упругом скользуне с полиуретановым блоком

- эффективность разогрева груза преимущественно на боковой стенке кузова и нижней части груза в районе крышки люка;
- снижение температуры нагрева деталей тормозного оборудования и скользуна.

Выбор рационального значения угла наклона сопла проводился в два этапа:

- оценка значения угла наклона сопла по зависимости от среднего коэффициента теплоотдачи на боковой стенке и крышке люка;
- сравнительные тепловые расчеты при выбранном угле наклона и фактическом.

Для проведения численных исследований был подобран режим разогрева в тепляке, отвечающий требованиям ГОСТ 22235-76 и соответствующий применяемому в исследуемом тепляке. Напомним, что требованиями ГОСТ 22235-76 установлены для конвективных тепляков без применения охлаждающих устройств следующие режимы разогрева:

- при температуре в секции до 60°С время нахождения вагонов в тепляке не ограничивается;
- при температуре в секции от 60 до 100°С время разогрева не должно превышать 1 ч, а при более длительном времени разогрева должны применяться охлаждающие устройства.

Поскольку в реальных условиях (см. рис. 4) реализуется ступенчатый режим, составленный из комбинации второго и первого режимов, поэтому для исследований был смоделирован комбинированный разогрев по схеме 2р + 1р + 2р, представляющий собой следующие этапы:

- изменение температуры в секции от 40 до 60°С за 10 мин;
- изменение температуры в секции от 60 до 100°С за 60 мин (2-й режим);
- изменение температуры в секции от 100 до 60°С за 20 мин;
- поддержание температуры в секции 60°С в течение 180 мин (1-й режим);
- изменение температуры в секции от 60 до 100°С за 60 мин (2-й режим).

Многовариантными аэродинамическими расчетами получены зависимости среднего значения коэффициента теплоотдачи на боковой стенке и крышке люка в зависимости от угла наклона (рис. 7). Как следует из приведенных зависимостей, максимальное значение коэффициент теплоотдачи на боковой стенке принимает при угле наклона сопла 30 градусов. Коэффициент теплоотдачи на крышке люка изменяется в меньшей степени во всем рассматриваемом диапазоне углов, поэтому принимаем для проведения сравнительных тепловых расчетов значение угла наклона сопла 30 градусов и фактическое значение 20 градусов рассматриваемого тепляка.

Анализ графиков (рис. 8, табл. 3), полученных по результатам тепловых расчетов, показывает, что при угле наклона сопла 30 градусов эффективнее разогревается боковая стенка и груз на боковой стенке. При этом обеспечивается разогрев груза у боковой стенки до состояния сыпучести (0°С) на 60 мин раньше (270 мин от начала разогрева, для сравнения, при испытаниях окончание разогрева 360 мин), чем при угле наклона сопла 20 градусов. Кроме того, отпадает необходимость в использовании заключительного этапа разогрева, связанного с повышением температуры в рабочей камере. Так как нет необходимости использовать дополнительную стадию разогрева при угле наклона сопла 30 градусов, то выдерживается нормативный уровень максимальной температуры нагрева штока тормозного цилиндра (см. табл. 3), обеспечивается снижение максимального уровня нагрева скользуна и фрикционного клина по отношению к экспериментальным фактическим значениям на 25%.

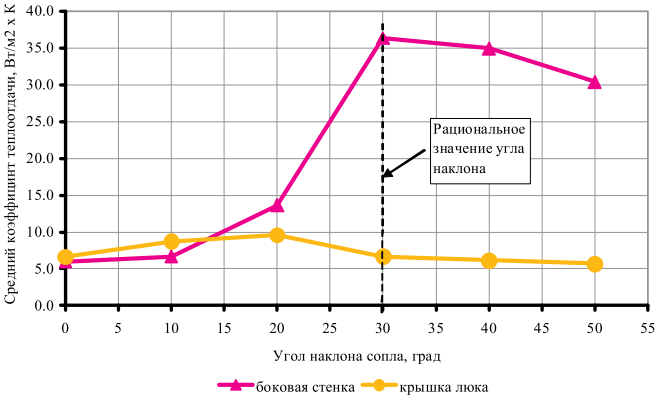


Рисунок 7 — Изменение значений коэффициента теплоотдачи по боковой стенке и крышке люка от угла наклона сопла к горизонту

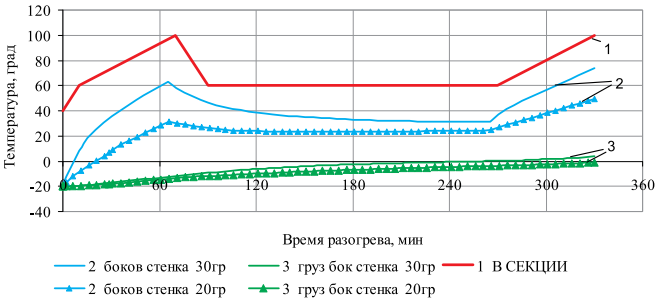


Рисунок 8 — Зависимости температур нагрева деталей вагона и груза при разогреве в тепляке с разными углами наклона сопел коллектора

Таблица 3 — Изменение температур нагрева (°С) деталей вагона при разогреве в тепляке с углами наклона сопел 20° и 30° (режим разогрева — комбинированный, см. рис. 8)

Показатель (нормативное значение)	Значение показателя в интервале от момента разогрева, мин														
	0 — 10			10 — 70			70 — 90			90 — 270			270 — 330		
	20°	30°	±	20°	30°	±	20°	30°	±	20°	30°	±	20°	30°	±
Температура в секции (60 — 100°С)	40 — 60°			60 — 100°			100 — 60°			60°			60 — 100°		
Температура боковой стены (90°С)	-8	7	+15	28	59	+31	25	47	+22	25	**38**	+13	**50**	71	+21
Температура груза у боковой стенки	-20	-20	0	-15	-12	+3	-12	-10	+2	-5	**0***	+5	**0****	3	+5
Температура крышки люка (130°С)	-10	-13	-3	20	8	-12	18	10	-8	23	**21**	-2	**30**	42	+12
Температура груза на крышке люка	-20	-20	0	-18	-17	+1	-17	-16	+1	-8	**-7**	+1	**-3**	-2	+1
Температура штока тормозного цилиндра (55°С)	2	-3	-5	51	41	-10	47	40	-7	53	**51**	-2	**73**	68	-6
Температура скользуна (90°С)	-3	-3	-6	35	25	-10	35	27	-8	65	**56**	-9	**87**	70	-17
Температура фрикционного клина (90°С)	10	3	-7	38	30	-8	23	20	-3	28	**26**	-2	**56**	46	-10

**** Достигнут разогрев груза до состояния сыпучести (0°С) при угле наклона сопла 30 градусов.***

***** Разогрев груза до состояния сыпучести не достигнут по окончании расчетов при угле наклона сопла 20 градусов.***

Выводы

1. Полученные уровни температур в полиуретановых деталях тележек вагона при разогреве в тепляках показывают необходимость корректировки в сторону уменьшения нормативных значений нагрева узлов тележки (скользун, фрикционный клин), содержащих полиуретановые детали.

2. Применительно к конструкции и устройству каждого конкретного тепляка целесообразно методами моделирования определять рациональные параметры узлов тепляков, подающих горячий теплоноситель, для повышения эффективности работы, уменьшения времени разогрева и обеспечения сохранности вагонов по ГОСТ 22235-76.

3. С точки зрения времени скорости разогрева груза по ключевым зонам и обеспечения большей гарантии сохранности вагонов наиболее эффективным применительно к рассмотренному в статье тепляку является угол наклона сопла коллектора (подающего горячий теплоноситель) к горизонту 30 градусов.

Литература

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 22235-76 «Вагоны грузовые магистральных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ».

2. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М. : Наука, 1964. 489 с.

3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М. : Энергоиздат, 1981. 416 с.

4. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / под общ. ред. В.С. Авдуевского, В.К. Кошкина; 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1992. 528 с.

5. Занкович А.В. Экспериментальная оценка теплового состояния полувагонов в камерах принудительного разогрева грузов // Безопасность движения, совершенствование конструкций вагонов и ресурсосберегающие технологии в вагонном хозяйстве : сборник науч. тр. / под науч. ред. д-ра техн. наук А.В. Смольянинова. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2010. Вып. 76 (159). 2010. С. 148.

6. Павлюков А.Э., Миронов А.А., Занкович А.В. Диагностическая модель бесконтактного теплового контроля букс подвижного состава // Транспорт Урала. 2004. № 2. С. 44 — 52.

7. ANSYS Theory Reference. Release 5.5 / edited by Ph.D. Peter Kohnke. Canonsburg : ANSYS Inc., 1998.

References

1. Mezhgosudarstvennyj standart GOST 2223576 «Vagony gruzovye magistralnykh dorog kolei 1520 mm. Obshchie trebovaniya po obespecheniyu sokhrannosti pri proizvodstve pogruzochnorazgruzochnykh i manevrovykh rabot».

2. G. Karslou, D. Eger. Teploprovodnost tverdykh tel. M.: Nauka, 1964. 489s.

3. V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. Teploperedacha. M. Energoizdat, 1981. 416 s.

4. Osnovy teploperedachi v aviatsionnoj i raketnokosmicheskoj tekhnike pod. obshch. red. V.S. Avduevskogo, V.K. Koshkina. 2 izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1992. 528s.

5. A.V. Zankovich. Eksperimentalnaya otscenka teplovogo sostoyaniya poluvagonov v kamerakh prinuditelnogo razogreva gruzov // Bezopasnost dvizheniya, sovershenstvovanie konstruktsij vagonov i resursosberegayushchie tekhnologii v vagonnom hozyajstve / Sb. nauchn. tr. pod nauchn. red. d.t.n. A.V. Smolyaninova. Ekaterinburg: Izd-vo UrGUPS. Vyp. 76 (159). 2010. 148 s.

6. A.E. Pavlyukov, A.A. Mironov, A.V. Zankovich Diagnosticheskaya model beskontaktnogo teplovogo kontrolya buks podvizhnogo sostava // Transport Urala. 2004. № 2. S. 44—52.

7. ANSYS Theory Reference. Release 5.5, Edited by Ph.D. Peter Kohnke. Canonsburg: ANSYS Inc., 1998.

УДК 629.46.027.3

Хабибулла Туранович Туранов, доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника» (УрГУПС, Екатеринбург),
Олег Вячеславович Черепов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны» (УрГУПС, Екатеринбург),
Камолиддин Каримович Иргашев, аспирант (Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Узбекистан)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРУЖИННО-ФРИКЦИОННОГО КОМПЛЕКТА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА С УПРУГО-КАТКОВЫМИ СКОЛЬЗУНАМИ

Khabibula T. Turanov, DSc, Professor of 'Mechatronics' department (The Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg),
Oleg V. Cherepov, PhD, Assistant Professor of "Railway cars' department (USURT, Ekaterinburg),
Kamoliddin K. Irgashev, post-graduate (Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashIIT), Tashkent, Uzbekistan

Mathematical models of spring-friction set of freight car bogie

Аннотация

В статье изложены результаты описания математической модели взаимодействия пар трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка» тележки 18-578 при воздействии на вагон продольной силы. Уравнения равновесия сил геометрической статики надрессорной балки как объекта исследования решены с использованием аналитического (символического) способа в среде MathCAD. Получены аналитические формулы для определения реакции связей в зависимости от геометрических параметров (углов наклонов контактируемых поверхностей) пар трения. При численном моделировании силового взаимодействия пар трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка» значения реакции связей найдены матричным и символическим способами.

Ключевые слова: тележка 18-578, пара трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка», продольная сила на вагон, уравнения равновесия сил геометрической статики надрессорной балки.

Annotation

In the article there are the results of mathematical model description of friction pairs interaction 'truck bolster – friction clutch' and 'friction clutch – friction plate' of bogie 18-578 under longitudinal force effect onto the car. Equilibrium equations of geometrical statics forces of track bolster as a subject of inquiry were solved with use of analytical (symbolic) method in MathCAD. There were got the analytical formulas for determination of constraint depending on geometrical parameters (grade angles of contacted surfaces) of friction pairs. By numerical simulation of friction pairs interaction 'truck bolster – friction clutch' and 'friction clutch – friction plate' the values of connections reaction are found with the use of matrix and symbolic methods.

Key words: bogie 18-578, friction pair 'truck bolster – friction clutch' and 'friction clutch – friction plate', longitudinal force effect onto the car, equilibrium equations of geometrical statics forces of track bolster.

Актуальность темы. Конструктивно пружинно-фрикционный комплект тележки грузового вагона как физический объект с точки зрения теоретической механики и как клиновой механизм с точки зрения теории механизмов и машин выполнен так, что фрикционные клинья контактируют только с тремя твердотельными элементами — надрессорной балкой 1, фрикционной планкой 4 (или 5) и рессорными комплектами 7 (8) [1] (рис. 1).

В [2] работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона аналитически смоделирована в упрощенной постановке без учета конструктивных особенностей фрикционных клиньев. Вместе с тем получена конечная аналитическая формула для нахождения реакции связей фрикционных клиньев на надрессорную балку без учета погрешностей изготовления ее наклонных поверхностей.

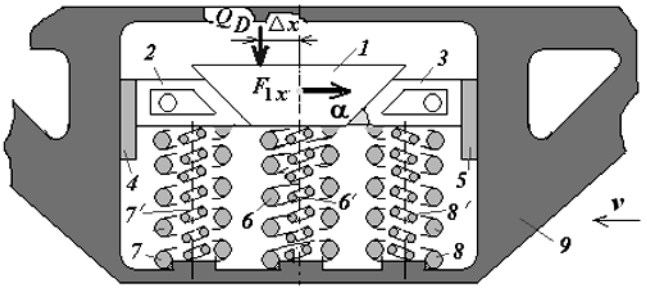


Рисунок 1 — Пружинно-фрикционный комплект тележки, нагруженной силой давления кузова вагона с грузом:
1 — хвостовая часть надрессорной балки; 2 и 3 — фрикционные клинья; 4 и 5 — фрикционные планки; 6 — комплекты пружин под надрессорной балкой; 7 и 8 — комплекты подклиновых пружин; 9 — боковая рама. Q_D (или Q_C) — сила давления надрессорной балки с грузом; F_{1x} — доля продольной силы F_x, приложенной к надрессорной балке со стороны автосцепного устройства ведущего вагона

В [3] рассмотрена модель и разработана методика расчета реакции связей пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона, учитывающего возможный кромочный контакт трущихся тел отдельными гранями. В связи с этим при

e-mail: chov1967@rambler.ru

создании расчетной модели фрикционного клина как объекта исследования следовало бы поверхности его контакта со стороны надрессорной балки и фрикционной планки как внешних связей заменить только двумя реакциями связей в виде $\overline{R}_1$, заменяющей надрессорную балку, и $\overline{R}_2$, заменяющей фрикционную планку, что соответствовало бы классическим принципам теоретической механики [4].

К сожалению, данные математические модели не позволяют учесть углы наклона контактирующих поверхностей пар трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка».

Вместе с тем отметим, что в [3] проекции реакции связей $\overline{R}_1$ и $\overline{R}_2$ на оси координат не представлены в зависимости от нагрузки надрессорной балки $\overline{Q}_C$, упругой силы от рессорного комплекта $\overline{F}_6$ и трех углов (например, α_1, β_1, γ_1), представляющих собой три наклонные контактируемые поверхности фрикционного клина. Здесь α_1 — угол наклона фрикционного клина с горизонталью (тупой угол), обеспечивающий контакт клина с надрессорной балкой; β_1 — угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с фрикционной планкой по вертикали; γ_1 — угол наклона фрикционного клина относительно поперечной оси проема боковой рамы, обеспечивающий контакт клина с фрикционной планкой по горизонтали.

Постановка задачи. Рассматривая несимметричное размещение твердотельного груза относительно как продольной (в сторону передней тележки), так и поперечной (в сторону наружной рельсовой нити) оси симметрии вагона [5], следует получить аналитические формулы для определения реакции связей в парах трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка» в зависимости от их геометрических параметров (углов наклонов контактируемых поверхностей).

Методы решения. Для решения поставленной прикладной задачи воспользуемся важнейшими положениями теоретической механики — принципом освобождаемости от связей, условием равновесия сил геометрической статики, законом Кулона, законом равенства действия и противодействия механики [4]. Покажем, например, матричное и символическое решение задачи в среде MathCAD [6].

Принятые допущения. Рассмотрим случай, когда вагон движется по кривому участку пути. Примем, что рама вагона с грузом контактирует только с поверхностью скользуна. При этом сила $\overline{Q}_D$ (или $\overline{Q}_C$) действует на надрессорную балку 1 на некотором расстоянии Δx от ее поперечной оси (или боковой рамы) (см. рис. 1). Такое приложение нагрузки к пружинно-фрикционному комплекту тележки модели 18-578 связано с особенностью конструктивного исполнения упруго-катковых скользунов.

Будем иметь в виду, что силы упругости комплектов подклиновых пружин оказывают давления на надрессорную балку и фрикционные клинья, а через них и на боковые рамы тележек вагона. Причем реакции (силы упругости) F_6 комплектов пружин под надрессорной балкой (5 шт.) 6 будут оказывать сопротивление перемещению вниз надрессорной балки 1, а реакции (силы упругости) F_7 и F_8 комплектов подклиновых пружин 7 и 8 окажут сопротивление перемещению вниз фрикционным клиньям 2 и 3 (см. рис. 1). Кроме того, будем учитывать только одну долю F_{1x} продольной силы F_x, приложенной к надрессорной балке со стороны автосцепных устройств ведущего вагона, поскольку другая доля F_{2x} окажется приложенной к надрессорной балке задней тележки, а третья доля — к автосцепным устройствам ведомых вагонов [7].

Фрикционные планки 4 и 5 (см. рис. 1) могут иметь непараллельность в вертикальной плоскости (углы наклонов относительно горизонтали $\beta_1 = 89° - 1°$ и $\beta_2 = 91° + 1°$), при этом расстояние между фрикционными планками внизу должно быть на 4 — 10 мм больше, чем вверху. Непараллельность фрикционных планок по горизонтали не более 3 мм (углы наклонов поверхностей контактов фрикционных клиньев 2 и 3 с фрикционными планками 4 и 5 относительно поперечной оси проема боковой рамы вагона соответственно равны $\gamma_1 = 88° - 1°$ и $\gamma_2 = 92° + 1°$).

Теоретическая часть. В соответствии с принципом освобождаемости от связей геометрической статики расчетные модели отдельных звеньев рассматриваемого механизма приведены на рис. 2.

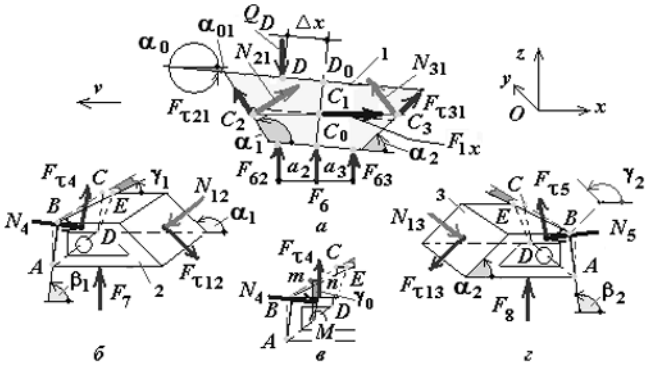


Рисунок 2 — Расчетные модели отдельных звеньев клинового механизма

Рассматривая равновесие надрессорной балки 1 (см. рис. 2а), убеждаемся, что на надрессорную балку 1 действуют: реакции $\overline{R}_{21}$ и $\overline{R}_{31}$ фрикционных клиньев 2 и 3, которые раскладываются на нормальные и касательные составляющие — N_{21}, N_{31} и $F_{\tau 21}$, $F_{\tau 31}$; активная сила $\overline{Q}_D$ (или $\overline{Q}_C$) (величина известная, рассчитываемая по разработанной технологии размещения грузов в вагоне [5]), равная половине реакции шарнирно-подвижной опоры, и только одна доля F_{1x} продольной силы F_x, приложенной к надрессорной балке со стороны автосцепных устройств ведущего вагона, а также реактивные силы в виде равнодействующих реакции комплектов пружин 6 $\overline{F}_6$, причем с соблюдением условия $F_{62} < F_6 < F_{63}$ (пружины 62 и 63 на рис. 2 не показаны). При этом считаем, что наклонные поверхности надрессорной балки выполнены с погрешностями, т. е. $\alpha_1 \neq \alpha_2$, где α_1 и α_2 — углы наклона поверхностей надрессорной балки к горизонту, рад. ($\alpha_1 \approx 134°30' + 1°$, $\alpha_2 \approx 45°30' + 1°$).

При аналитическом исследовании предположим, что углы наклонов поверхностей (α_1 и α_2) надрессорной балки 1, фрикционных клиньев 2, 3 и фрикционных планок 4, 5 (β_1, β_2 и γ_1, γ_2) имеют различные значения ($\alpha_1 \neq \alpha_2$, $\beta_1 \neq \beta_2$ и $\gamma_1 \neq \gamma_2$), что соответствует либо их изготовлению с погрешностями, либо учитывает неравномерный износ их поверхностей. Также примем,

что коэффициенты трения скольжения f между контактируемыми поверхностями надрессорной балки (f_1 и f_2), фрикционных клиньев и планок (f_3 и f_4) имеют различные значения.

Под действием сил $\overline{Q}_D$ (или $\overline{Q}_C$) со стороны кузова вагона с грузом через упруго-катковый скользун постоянного контакта на некотором расстоянии Δx произойдет поворот этой балки вокруг ее продольной оси на некоторый угол α_0 (или острый угол $\alpha_{01}=2\pi-\alpha_0$). При этом угол α_{01} определяется по зависимости

$$\alpha_{01}=\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta z_D}{\Delta x+a_0}\right), \quad (1)$$

где Δz_D — предельное значение вертикального перемещения точки приложения (на рис. 2 точка D) внешней нагрузки $\overline{Q}_D$ (или $\overline{Q}_C$) на надрессорной балке 1, мм;

a_0 — расстояние от оси симметрии надрессорной балки до оси катка упруго-каткового скользуна, мм.

Возможно, что при этом не исключается вероятность перераспределения сил $\overline{Q}_D$ (или $\overline{Q}_C$) между подклиновыми пружинами и фрикционными планками. Например, произойдет перезагрузка двойных пружин 62, 6 и 63, которые непосредственно контактируются с надрессорной балкой 1. В результате этого появится вероятность того, что произойдет разгрузка центральных двойных пружин и фрикционного клина 2, т. е. вполне возможно соблюдение условия $F_{62}<F_6<F_{63}$.

В случае если кузов вагона с грузом полностью контактирует с поверхностями упруго-катковых скользунов (т. е. поверхностями скользуна и катка), чему соответствует приложение внешней нагрузки $\overline{Q}_D$ (или $\overline{Q}_C$) в точке D_0 (см. рис. 2), то $\Delta z_D=0$ и соответственно этому $\alpha_{01}=0$ и $F_{62}=F_6=F_{63}$, т. е. симметричному приложению внешней нагрузки относительно продольной оси симметрии надрессорной балки, как у тележки модели 18-100.

Силы упругости комплектов пружин F_{62}, F_6, F_{63}, F_7 и F_8 определяют умножением коэффициента жесткости c_i (кН/м) на их вертикальное перемещение $\Delta z_i=\delta_i$ (м), которые находят по силовым характеристикам пружин в виде $F_i=|c_i\delta_i|$.

Для тележек грузовых вагонов модели 18-578 статически прогиб $\delta_{ст}$ под весом брутто доходит до 68 мм (0,068 м) (в то время как у порожнего вагона доходит до 13 мм), а модели 18-100 — в пределах 46 — 50 мм (0,046 — 0,050 м). Прогиб пружин должен быть меньше статического, т. е. $\delta_i<\delta_{ст}$.

Жесткости наружных и внутренних пружин (кН/мм) находят по уравнениям:

$$c_{01}=\frac{1}{3{,}267}=0{,}306;\ c_{02}=\frac{1}{7{,}088}=0{,}141.$$

Тогда жесткость двойных пружин (кН/мм) равна

$$c_1=c_{01}+c_{02}=0{,}447.$$

При этом силы упругости двойных пружин F_6, F_{62}, F_{63}, F_7 и F_8, которые непосредственно контактируют с надрессорной балкой 1 и фрикционными клиньями 2 и 3 (см. рис. 2а), находят по формулам:

$$\begin{gathered}F_6=c_1(\Delta z-\Delta z_{D0});\\ F_{62}=2c_1(\Delta z-\Delta z_D);\ F_{63}=2c_1\Delta z;\\ F_7=c_1(\Delta z-\Delta z_D);\ F_6=c_1\Delta z,\end{gathered} \quad (2)$$

где Δz — прогиб центральных двойных пружин (на рис. 2а не показан), которые непосредственно контактируют с надрессорной балкой, мм;

Δz_{D0} — вертикальное перемещение точки приложения упругой силы $\overline{F}_6$, приложенной по оси симметрии надрессорной балки, мм,

$$\Delta z_{D0}=\Delta z_D\frac{a_0}{\Delta x+a_0}, \quad (3)$$

или

$$\Delta z_{D0}=a_0\operatorname{tg}(\alpha_{01}).$$

На рис. 2а приняты следующие обозначения: C_2C_3 и $C_0C_1=C_1D_0$ — средняя линия и половина высоты трапеций, представляющая собой сечение клиновой части надрессорной балки 1; $\overline{N}_{21}$, $\overline{N}_{31}$ и $\overline{F}_{\tau 21}$, $\overline{F}_{\tau 31}$ — нормальная и касательная составляющие реакции связей (фрикционные клинья 2 и 3); α_1 и α_2 — углы наклона поверхностей надрессорной балки к горизонту, рад. ($\alpha=45°+1°$).

На рис. 2б, г обозначены: $\overline{N}_{12}=-\overline{N}_{21}$, $\overline{N}_{13}=-\overline{N}_{31}$ и $\overline{F}_{\tau 12}=-\overline{F}_{\tau 21}$, $\overline{F}_{\tau 13}=-\overline{F}_{\tau 31}$ — нормальная и касательная составляющие реакции связи 1 (хвостовая часть надрессорной балки) на клинья 2 и 3; $\overline{N}_4$, $\overline{N}_5$ и $\overline{F}_{\tau 4}$, $\overline{F}_{\tau 5}$ — нормальная и касательная составляющие реакции связей (фрикционные планки 4 и 5); $\gamma_1\le\frac{\pi}{2}$ и $\gamma_2\ge\frac{\pi}{2}$ — угол наклона задней поверхности $ABED$ фрикционных клиньев 2 и 3, контактируемых с фрикционными планками 4 и 5 (см. рис. 1), рад. ($\gamma_1\approx 88°-1°$, $\gamma_1\approx 92°+1°$).

1. Составим уравнения равновесия сил геометрической статики надрессорной балки 1, приравняв нулю сумму проекций всех сил на оси x, z и взяв сумму моментов всех сил вокруг оси Oy (или точки C_1) как плоской системы:

$$\begin{aligned}&N_{21}\cos(\alpha_1-\frac{\pi}{2}-\alpha_{01})+F_{\tau 21}\cos(\alpha_1-\alpha_{01})+\\&+N_{31}\cos(\alpha_2+\frac{\pi}{2}-\alpha_{01})+F_{\tau 31}\cos(\alpha_2-\alpha_{01})+F_{1x}=0;\end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}&N_{21}\sin(\alpha_1-\frac{\pi}{2}-\alpha_{01})+F_{\tau 21}\sin(\alpha_1-\alpha_{01})+N_{31}\sin(\alpha_2+\frac{\pi}{2}-\alpha_{01})+\\&+F_{\tau 31}\sin(\alpha_2-\alpha_{01})-Q_D+(F_{62}+F_6+F_{63})=0;\end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}&-N_{21}\sin(\alpha_1-\alpha_{01}-\frac{\pi}{2})C_2C_1-F_{\tau 21}\cos(\alpha_1-\alpha_{01}-\frac{\pi}{2})C_2C_1+\\&+N_{31}\cos(\alpha_2-\alpha_{01})C_1C_3+F_{\tau 31}\sin(\alpha_2-\alpha_{01})C_1C_3+\\&+Q_D(\Delta x\cos\alpha_{01}+C_1C_0\sin\alpha_{01})-F_{62}(a_2+C_1C_0\sin\alpha_{01})-\\&-F_6C_1C_0\sin\alpha_{01}+F_{63}(a_3-C_1C_0\sin\alpha_{01})=0,\end{aligned} \quad (6)$$

где C_2C_3 и $C_0C_1=C_1D_0$ — средняя линия и половина высоты трапеций, представляющая собой сечение клиновой части надрессорной балки 1;

$C_2C_1=C_1C_3\approx 0{,}5\,C_2C_3$ — геометрические размеры клиновой части надрессорной балки 1;

$\alpha_{01}=2\pi-\alpha_0$ — острый угол, на который повернута надрессорная балка от воздействия внешней нагрузки $\overline{Q}_D$, приложенной на некотором расстоянии Δx от поперечной оси этой балки, см. формулу (1).

В уравнениях равновесия (4) и (5) неизвестных четыре: $\overline{N}_{21}$, $\overline{N}_{31}$ и $\overline{F}_{\tau 21}$, $\overline{F}_{\tau 31}$. Для решения такой задачи достаточно к уравнениям (4) — (6) добавить уравнение, вытекающее из закона Кулона [4],

$$F_\tau\le fN,$$

где f — коэффициент трения скольжения между контактирующими поверхностями надрессорной балки 1 и фрикционных клиньев 2, 3, а также между фрикционными клиньями 2, 3 и фрикционными планками 4, 5 (см. рис. 1).

Подставляя закон Кулона в (4) и (5), после упрощений представим:

$$aN_{21} + bN_{31} = -F_{1x};$$
$$cN_{21} + dN_{31} = Q_D - (F_{62} + F_6 + F_{63}), \qquad (7)$$

где a, b, c и d — постоянные коэффициенты,

$$a = \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2} - \alpha_{01}) + f_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_{01});$$

$$b = \cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2} - \alpha_{01}) + f_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_{01});$$

$$c = \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2} - \alpha_{01}) + f_1 \sin(\alpha_1 - \alpha_{01});$$

$$d = \sin(\alpha_2 + \frac{\pi}{2} - \alpha_{01}) + f_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_{01}).$$

Согласно правилу Крамера [8], из системы (6) после ряда математических преобразований находим нормальные составляющие реакции связей (фрикционных клиньев 2 и 3) при исполнении наклонных поверхностей надрессорной балки 1 с погрешностями:

$$N_{21} = -\frac{1}{ad - bc}\left[\begin{matrix} -F_{1x}(\cos(\alpha_2) + f_2 \sin(\alpha_2)) \\ +(Q_D - (F_{62} + F_6 + F_{63}))(\sin(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2)) \end{matrix}\right] \qquad (8)$$

$$N_{31} = \frac{1}{ad - bc}\left[\begin{matrix} (Q_D - (F_{62} + F_6 + F_{63}))(\sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1)) - \\ -F_{1x}(\cos(\alpha_1) - f_1 \sin(\alpha_1)) \end{matrix}\right] \qquad (9)$$

В частном случае, когда $\Delta x = 0$ (т. е. $\Delta z_D = 0$ и $\alpha_0 = 0$), $f_1 = f_2$ и $\alpha_1 = \alpha_2 + \frac{\pi}{2}$ (см. рис. 2), которому соответствует расчетная модель тележки модели 18-100 и выполнение наклонных поверхностей надрессорной балки 1 без погрешностей, выражения примут вид:

$$N_{21} = \frac{1}{1 - f_1^2}\left[\begin{matrix} -F_{1x}(\cos(\alpha_2) + f_2 \sin(\alpha_2)) \\ +(Q_D - (F_{62} + F_6 + F_{63}))(\sin(\alpha_2) - f_1 \cos(\alpha_2)) \end{matrix}\right]; \qquad (10)$$

$$N_{31} = \frac{1}{1 - f_1^2}\left[\begin{matrix} (Q_D - (F_{62} + F_6 + F_{63}))(\sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1)) - \\ -F_{1x}(\cos(\alpha_1) - f_1 \sin(\alpha_1)) \end{matrix}\right], \qquad (11)$$

т. е. $N_{31} = N_{21}$, что совпадает с результатами работы [9] и подтверждает корректность полученных аналитических выражений.

Выражение (6) с учетом соотношения (8) может быть использовано для нахождения аналитического описания явления депланации надрессорной балки [10]. Такая задача является самостоятельной прикладной, которая решается методом теории упругости.

2. Рассмотрим равновесие сил геометрической статики фрикционного клина 2 (см. рис. 2б).

На фрикционный клин 2, согласно аксиоме равенства действия и противодействия, действуют: нормальная $N_{12} = -N_{21}$ и касательная $F_{\tau 12} = -F_{\tau 21}$ составляющие реакции надрессорной балки $\overline{R}_{12} = -\overline{R}_{21}$; нормальная $\overline{N}_4$ и касательная $\overline{F}_{\tau 4}$ составляющие реакции $\overline{R}_4$ фрикционной планки 4, а также равнодействующая реакций $\overline{F}_7$ комплектов пружин 7.

Выполним сопутствующие расчету математические выкладки.

Из ΔBCE находим (см. рис. 2б)

$$CE = BC \operatorname{tg}(\frac{\pi}{2} - \gamma_1),$$

где BC — ширина фрикционного клина 2, равная 178 мм;

$\gamma_1 \le \frac{\pi}{2}$ — угол наклона задней поверхности $ABED$ фрикционного клина 2, контактируемой с фрикционной планкой 4, рад. ($\gamma_1 = 88° - 1°$).

Считая приложенной N_4 и $F_{\tau 4}$ на пересечении диагоналей фигуры $ABED$, находим отрезок, параллельный и пропорциональный отрезку длиной CE (см. рис. 2б)

$$mn = \frac{CE}{BC} Bm,$$

где $Bm = \lambda BC$ — часть ширины BC фрикционного клина 2 (λ — доля ширины BC, которая может принять ряд значений, например $0{,}1 \le \lambda \le 0{,}9$).

Учитывая, что $\Delta Mmn \sim \Delta DCE$, из ΔMmn находим (см. рис. 2б)

$$\gamma_0 = \operatorname{arctg}(\frac{mn}{Mm}),$$

где $Mm = AB = CD$ — высота отдельной части фрикционного клина 2, соответствующей высоте его наклонной поверхности, и равная 135 мм (полная высота равна 190±2 мм).

Составляя уравнения равновесия фрикционного клина 2 с учетом закона Кулона, согласно принципу освобождаемости от связей, после ряда преобразований найдем нормальную составляющую реакции фрикционного клина 4

$$N_4 = \frac{1}{ad - bc}\left[\begin{matrix} -F_{1x}(\cos(\alpha_2 - \alpha_{01}) + f_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_{01})) \\ +(Q_D - (F_{62} + F_6 + F_{63}))\begin{pmatrix} \sin(\alpha_2 - \alpha_{01}) - \\ -f_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_{01}) \end{pmatrix} \end{matrix}\right] \times$$
$$\times \frac{(\sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1))}{\cos(\gamma_0)(\sin(\beta_1) + f_3 \cos(\beta_1))}. \qquad (12)$$

3. Рассмотрим условия равновесия сил геометрической статики фрикционного клина 3 (см. рис. 2г).

На фрикционный клин 3, согласно аксиоме равенства действия и противодействия, действуют: нормальная $N_{13} = -N_3$ и касательная $F_{\tau 13} = -F_{\tau 3}$ составляющие реакции надрессорной балки $\overline{R}_{13} = -\overline{R}_3$; нормальная N_5 и касательная $F_{\tau 5}$ составляющие реакции $\overline{R}_5$ фрикционной планки 5, а также равнодействующая реакций $\overline{F}_8$ комплектов пружин 8. Учтем, что на рис. 2в $\gamma_2 \ge \frac{\pi}{2}$ — угол наклона задней поверхности $ABED$ фрикционного клина 3, контактируемой с фрикционной планкой 5, рад. ($\gamma_2 = 92° + 1°$).

После аналогичного вывода (12) определим нормальную составляющую реакции фрикционного клина 4 с учетом (9) в виде

$$N_5 = \frac{1}{ad-bc}\left[\begin{matrix}\left(Q_D-(F_{62}+F_6+F_{63})\right)\left(\begin{matrix}\sin(\alpha_1-\alpha_{01})+\\ +f_1\cos(\alpha_2-\alpha_{01})\end{matrix}\right)-\\ -F_{1x}\left(\cos(\alpha_1-\alpha_{01})-f_1\sin(\alpha_1-\alpha_{01})\right)\end{matrix}\right]\times$$
$$\times\frac{\left(\sin(\alpha_2)-f_2\cos(\alpha_2)\right)}{\cos(\gamma_0)\left(\sin(\beta_2)-f_4\cos(\beta_2)\right)}. \qquad (13)$$

Особо отметим, что формулы для определения нормальных (N_4, N_5) и касательных ($F_{\tau 4}$, $F_{\tau 5}$) составляющих реакции фрикционных планок 4 и 5 ($\overline{R}_4$ и $\overline{R}_5$) позволяют оценить эффективность работы пружинно-фрикционного комплекта тележки.

Заключение. На основе выполненных аналитических исследований пружинно-фрикционного комплекта тележки модели 18-578 можно сделать следующие выводы.

1. Разработанная расчетная и математическая модель силового воздействия пар трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка» пружинно-фрикционного комплекта тележки модели 18-578 с учетом воздействия на вагон продольных сил, являются обобщенными.

2. Построенная обобщенная математическая модель силового воздействия пар трения «надрессорная балка — фрикционный клин» и «фрикционный клин — фрикционная планка» тележки модели 18-578 (в частном случае и модели 18-100) позволила вывести уравнения равновесия сил геометрической статики надрессорной балки и фрикционных клиньев как исследуемых объектов.

3. Уравнения равновесия сил геометрической статики надрессорной балки как объекта исследования решены с использованием аналитического (символического) способа в среде MathCAD. Полученные уравнения дали возможность получить аналитические формулы для определения реакции связей в зависимости от геометрических параметров (углов наклонов контактируемых поверхностей) пар трения, позволяющие в дальнейшем определить их рациональные значения.

Литература

1. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс : учебник для вузов ж.-д. трансп. / под ред. В.В. Лукина. М. : Маршрут, 2004. 424 с.

2. Добычин И.А. Основы теории механического удара с приложением к задачам железнодорожного транспорта : учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во УрГУ, 1994. 122 с.

3. Глушко М.И., Антропов А.Н. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ, 2004. № 5. С. 41 — 44.

4. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика. М. : Наука, 1983. 640 с.

5. Туранов Х.Т. Аналитическое обоснование технологии несимметричного размещения общего центра масс грузов в вагонах // Транспорт Урала. 2009. № 1. С. 31 — 35.

6. Кирьянов Д. Самоучитель MathCAD 13. СПб. : БХБ-Петербург, 2006. 528 с.

7. Черепов О.В. Методология оценки технического состояния ходовых частей грузового вагона как устройства преобразования сил // Транспорт Урала. 2009. № 2. С. 61 — 64.

8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. : Наука, 1964. 608 с.

9. Туранов Х.Т., Черепов О.В. Обобщенная модель пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Транспорт: Наука, техника и управление. 2009. № 12. С. 32 — 36.

10. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики / 2-е изд., стереотипное. М. : Наука, 1969. 288 с.

References

1. Lukin V.V., Anisimov P.S., Fedoseev Yu.P. Vagony. Obshchij kurs: Uchebnik dlya vuzov zh-.d. transp. / Pod red. V.V. Lukina. M.: Marshrut, 2004. 424 s.

2. Dobychin I.A. Osnovy teorii mekhanicheskogo udara s prilozheniem k zadacham zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. Posobie I.A.Dobychin. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. Un-ta, 1994. 122 s.

3. Glushko M.I., Antropov A.N. Rabota pruzhinno-friktsionnogo komplekta telezhki gruzovogo vagona// Vestnik VNIIZHT, 2004. №5. S.4144.

4. Lojtsyanskij L. G., Lure A. I. Kurs teoreticheskoj mekhaniki. T. II. Dinamika. M.: Nauka, 1983. 640 s. S. 26–77 63–67 81–97.

5.Turanov Kh.T. Analiticheskoe obosnovanie tekhnologii nesimmetrichnogo razmeshcheniya obshchego centra mass gruzov v vagonak // Transport Urala. 2009. №1. S. 3135.

6. KiryanovD. Samouchitel MathCAD 13. SPb.:BKHB-Peterburg, 2006. 528 s.

7. Cherepov O.V. Metodologiya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya khodovykh chastej gruzovogo vagona kak ustrojstva preobrazovaniya sil // Transport Urala. 2009. № 2 21. S. 6164.

8. Bronshtejn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov. M.: Nauka, 1964. 608 s.

9. Turanov Kh.T., Cherepov O.V. Obobshchennaya model pruzhinno-friktsionnogo komplekta telezhki gruzovogo vagona // Transport: Nauka, tekhnika i upravlenie, 2009. № 12. S. 3236.

10. Aramanovich I.G., Levin V.I. Uravneniya matematicheskoj fiziki / 2-e izd. , stereotipnoe. M. Nauka, 1969. 288 s.

УДК 629.463.32

Никита Александрович Битюцкий, кандидат технических наук, технический директор (ООО «Экспертный Центр подвижного состава», Санкт-Петербург)

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Nikita A. Bityutskiy, PhD, Technical Director "Expertnyi Tsentr podvizhnogo sostava" Ltd., Sankt-Peterburg

The analysis of operational dependability of specialized tank-cars to transport condensed hydrocarbon gases

Аннотация

Проанализированы возрастная структура парка вагонов-цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов в эксплуатации и текущее техническое состояние вагонов-цистерн моделей 903Р и 15-1407. Определена степень коррозионного воздействия сжиженных углеводородных газов на элементы котлов вагонов-цистерн. Обобщены результаты расчетных исследований прочности вагонов-цистерн и изучения физико-химических свойств основного металла котла и его сварных соединений. Выполнена оценка экономической эффективности от продления срока службы вагонов-цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов.

Ключевые слова: вагон-цистерна, 15-1407, 903Р, сжиженные углеводородные газы, СУГ, структура парка, диагностирование технического состояния.

Annotation

In the article it is analyzed the age structure of tank-cars fleet for transporting condensed hydrocarbon gases in operation and the current status of tank-cars (models 903P and 15-1407). The rate of corrosive attack of condensed hydrocarbon gases to the tank-cars' boiler elements is estimated. The results of calculated researches on tank-cars durability and researches of physical and chemical properties of main boiler metal and its welded junctions are summarized. The cost-effectiveness evaluation due to life –service prolongation of tank-cars for transporting condensed hydrocarbon gases is carried out.

Key words: tank-car, 15-1407, 903P, condensed hydrocarbon gases, fleet structure, technical state diagnosis.

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) за последние несколько десятилетий надежно закрепили свои позиции в качестве одного из основных видов сырья и топлива в нефтехимической промышленности, транспортном и коммунальном секторе. Это обусловлено прежде всего тем, что СУГ обладают высокой теплотворной способностью, обеспечивают чистоту сгорания и возможность дальнейшей химической переработки, а также являются относительно дешевыми в производстве, при хранении и транспортировке.

С каждым годом в России возрастает объем потребления сжиженных углеводородных газов и соответственно увеличивается потребность в их транспортировке. В настоящее время подавляющий объем этих опасных грузов перевозится железнодорожным транспортом. К примеру, за январь — апрель 2008 г. рост объема транспортировки по сети российских железных дорог составил 2,5% по сравнению с аналогичным периодом 2007 г.

Учитывая интенсивное старение парка специализированных вагонов и тот факт, что начиная с 1995 г. ежегодно возрастает количество грузового подвижного состава с истекшим сроком службы, можно предположить, что в будущем высока вероятность возникновения значительного дефицита вагонов для транспортировки СУГ [1].

Как известно, одним из способов поддержания железнодорожного транспорта в работоспособном состоянии является продление срока полезного использования. Для этого вначале требуется провести детальный анализ состояния вагонного парка, находящегося в эксплуатации. Таким образом, оценка технического состояния вагонов-цистерн для перевозки СУГ при проведении работ по продлению срока службы является на сегодняшний день актуальной.

Для достижения поставленной цели специалистами Инженерного центра (Санкт-Петербург) был осуществлен комплекс мероприятий, включающий анализ структуры парка вагонов-цистерн в эксплуатации и обследование их текущего технического состояния, а также оценку возможности дальнейшего использования специализированного подвижного состава для перевозки СУГ.

Для оценки общей тенденции исключения грузовых вагонов из эксплуатации был проанализирован парк вагонов-цистерн одного из крупнейших перевозчиков СУГ — компа-

e-mail: bna@engcenter.ru, expcenter@engcenter.ru

нии «СГ-Транс», на долю которого приходится более 50% от общего объема перевозок железнодорожным транспортом стран СНГ.

В состав парка «СГ-Транс» входит широкая номенклатура различных моделей вагонов-цистерн, однако большая часть подвижного состава предназначена для транспортировки пропана и бутана — модели 15-1407, 15-1519, 903Р, 908Р, 15-1200, 15-144 и др. [2]. Значительную часть парка (более 11 тыс. ед.) составляют вагоны-цистерны модели 903Р, которые изготавливались с 1964 по 1985 г. в Польше на четырех машиностроительных предприятиях: фабрике котлов «Рацибуж», заводе «Феррум», фабрике вагонов «Свидница», заводе химического оборудования и промышленной арматуры «Кельце». Отечественный аналог этой цистерны — модель 15-1407 производства ОАО «МЗТМ», концерн «Азовмаш» (рис. 1).

а) ***б)***

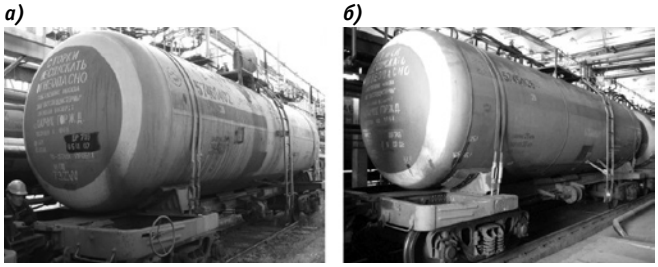


Рисунок 1 — Общий вид вагонов-цистерн, предназначенных для перевозки СУГ:
а) модель 903Р; б) модель 15-1407

Основными отличиями модели 903Р от российского аналога являются материал котла 18Г2А (09Г2С, 10Г2С1Д) и номинальная толщина элементов котла обечайка/днища/поддон — 24/26/26 мм (32/32/26 мм).

Стоит отметить, что начиная с 1983 г. в связи с вводом в эксплуатацию цистерн модели 908Р и др. (позволяющих увеличить грузоподъемность более чем на 50% за счет снижения массы тары), применения более прочных сталей и увеличения осевой нагрузки с 21 до 23,5 тс производство вагонов модели 903Р полностью прекращено. Используя информацию АБД ПВ ГВЦ и учитывая, что срок службы вагонов-цистерн модели 903Р составляет 40 лет, а пик их производства пришелся на 70 — 80-е гг. прошлого столетия, можно проанализировать общую структуру парка этих вагонов (рис. 2).

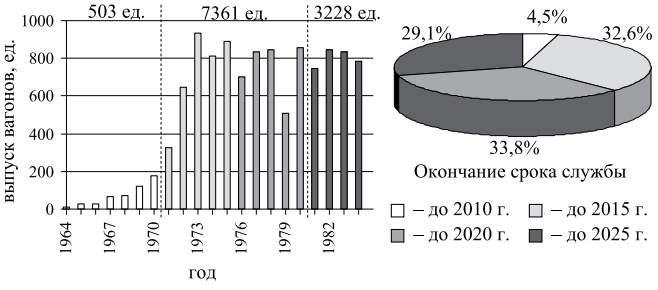


Рисунок 2 — Анализ возрастной структуры парка вагонов-цистерн модели 903Р

Анализ состояния парка вагонов-цистерн модели 903Р при условии стабильного увеличения объемов перевозок СУГ позволяет прогнозировать значительный дефицит подвижного состава на ближайшие 5 — 10 лет. На сегодняшний день ввиду окончания нормативного срока службы из эксплуатации исключено уже более 500 вагонов-цистерн, а к концу 2015 г. их общее количество превысит 4 тыс. ед., что эквивалентно 33% всего парка вагонов модели 903Р.

Для анализа технического состояния и оценки возможности дальнейшей безопасной эксплуатации вагонов-цистерн для перевозки СУГ Инженерным центром был выполнен ставший традиционным комплекс работ, включающий обследование технического состояния вагонов, оценку скорости коррозионного износа, анализ интенсивности эксплуатации, расчетные исследования. Помимо этого совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» были проведены исследования физико-химических свойств основного металла котла и его сварных соединений.

На первом этапе были обобщены результаты диагностирования технического состояния вагонов-цистерн для перевозки СУГ, проводимого Инженерным центром начиная с 2004 г. На протяжении этого периода в объеме работ по продлению срока службы было обследовано более 50 вагонов-цистерн моделей 903Р и 15-1407 с истекшим сроком эксплуатации. Выполненные исследования технического состояния вагонов-цистерн позволили провести статистический анализ выявленных повреждений (рис. 3) и определить наиболее массовые из них (более 60%), к которым относятся: трещины сварных швов фасонных лап; ослабление крепления пятника; повреждение ударной розетки; трещины сварного шва верхнего листа шкворневой и хребтовой балок.

Анализ результатов позволил также установить, что наиболее уязвимой в процессе эксплуатации является рама, а котел (сосуд) вагона-цистерны повреждается в меньшей степени. Достоверность полученных результатов диагностирования подтверждается результатами обследований 1569 вагонов-цистерн для СУГ, проведенных специалистами МИИТа [3].

Общая картина повреждений обеих обследуемых моделей вагонов-цистерн для перевозки СУГ схожа, а расхождения между общими показателями не превышают 15%. Однако стоит отметить, что повреждения 9, 10, 11, 14 и 18 (рис. 4) в значительной степени характерны для вагонов-цистерн модели 15-1407.

Основной причиной этих повреждений может служить большая (на 4,6 т), чем у модели 903Р, масса тары за счет большей толщины цилиндрической части котла (на 8,2%) и днища (на 18,7%). В порожнем состоянии вагоны-цистерны для перевозки СУГ формируют в состав, осуществляя роспуск с сортировочных горок, что является грубым нарушением условия эксплуатации данного вида подвижного состава. За счет большей, чем у 903Р, инертной массы при роспуске с горки вагон модели 15-1407 слабее реагирует на действие тормозной системы (внешних сил), что приводит к сверхнормативным продольным нагрузкам (более 3,0 МН). Наличие дефектов в сварных соединениях котлов в большинстве случаев связано с нарушениями технологии изготовления вагонов на тер-

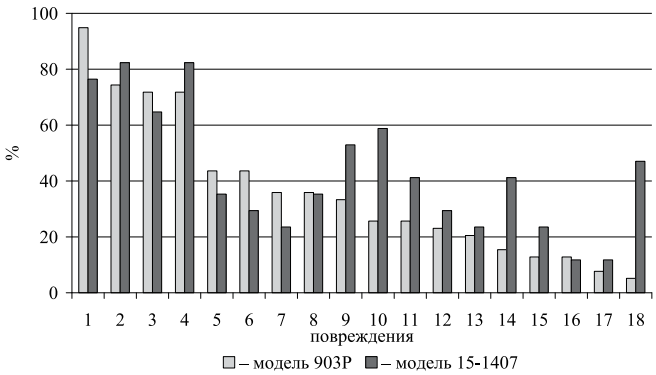


Рисунок 3 — Статистические данные о повреждаемости вагонов-цистерн для перевозки СУГ в эксплуатации:
1 — трещины сварных швов фасонных лап; 2 — ослабление крепления пятника; 3 — повреждение ударной розетки; 4 — трещины сварного шва верхнего листа шкворневой и хребтовой балок; 5 — повреждение лежневой опоры; 6 — трещины упоров автосцепки; 7 — коррозионное повреждение шкворневой балки; 8 — деформации лестниц, поручней и подножек; 9 — ослабление крепления поддерживающей планки; 10 — дефекты сварных швов котла; 11 — трещины сварного шва верхнего листа хребтовой балки в зоне хвостовика автосцепки; 12 — выпучивание верхнего листа хребтовой балки; 13 — ослабление крепления фасонных лап; 14 — ослабление стяжных хомутов; 15 — излом упоров автосцепки; 16 — коррозионное повреждение в узле сочленения шкворневой и хребтовой балок; 17 — механический износ фрикционных планок; 18 — трещины сварных швов в узлах сочленения хребтовой и шкворневой балок

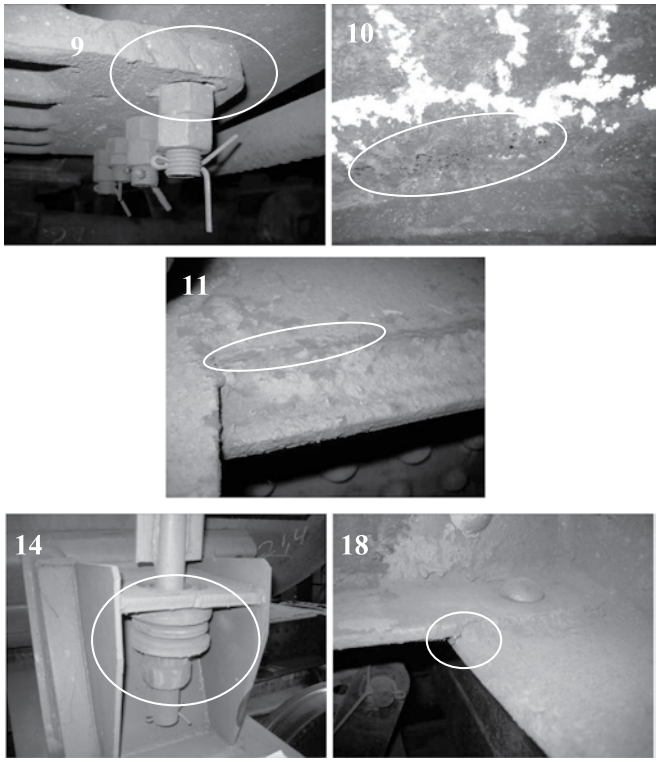


Рисунок 4 — Основные эксплуатационные повреждения вагонов-цистерн моделей 903Р и 15-1407:
9 — ослабление крепления поддерживающей планки; 10 — дефекты сварных швов котла; 11 — трещины сварного шва верхнего листа хребтовой балки в зоне хвостовика автосцепки; 14 — ослабление стяжных хомутов; 18 — трещины сварных швов в узлах сочленения хребтовой и шкворневой балок

ритории России и стран СНГ. Также стоит учитывать наличие конструктивных непроваров в швах приварки обечайки люкалаза к верхнему листу котла, которые допускались по нормам 1958 — 1975 гг., усугубляющих общее техническое состояние данных цистерн [4].

Опыт диагностирования в пределах нормативного срока службы и оценка остаточного ресурса специализированных вагонов-цистерн показали, что ресурс рам вагонов-цистерн значительно меньше, чем котлов. Это происходит потому, что рама является основным элементом, который воспринимает и передает эксплуатационные нагрузки, и поэтому она чаще приходит в негодность. Однако данный базовый элемент может быть заменен новым при проведении капитального ремонта с полным восстановлением ресурса (КРП). В связи с этим далее исследовался котел вагона-цистерны, при замене которого дальнейшая эксплуатация вагона экономически нецелесообразна.

На следующем этапе с использованием метода ультразвуковой толщинометрии была проведена оценка скорости коррозионного износа основных элементов котла рассматриваемых вагонов-цистерн после 40 лет их эксплуатации. Измерения выполнялись с учетом результатов работ первого этапа в зонах интенсивного коррозионного износа основного металла и наиболее нагруженных зонах, определенных на основании расчетов прочности.

По результатам проведенной оценки было установлено, что значения средней скорости коррозионного износа котлов вагонов-цистерн модели 903Р находятся в диапазоне от 0,04 до 0,09 мм/год, а модели 15-1407 могут достигать 0,13 мм/год (рис. 5).

Выполненные исследования показали, что элементы котлов имеют различную степень коррозионного износа, как равномерную, так и язвенную. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что наиболее подверженными коррозионному воздействию элементами котлов вагонов-цистерн модели 903Р является днище, а модели 15-1407 броневой лист.

Также стоит отметить, что скорость коррозионного износа броневого листа модели вагона 15-1407 больше аналогичного показателя у других элементов котла на 56 — 74% в год, а общие показатели скорости коррозии существенно превышают значения, заложенные в конструкцию вагона-цистерны при проектировании (0,04 мм/год).

Характер коррозионного разрушения и результаты толщинометрии можно классифицировать как утонение элементов котла вследствие сероводородной коррозии. Основной причиной возникновения этой коррозии является наличие в СУГ примесей H_2S, воды и солей, которые при определенных температуре и давлении образуют электролит. Содержание в электролите H_2S приводит к сероводородной коррозии $H_2S + Fe \rightarrow FeS + H_2 \uparrow$. Таким образом, показатели коррозион-

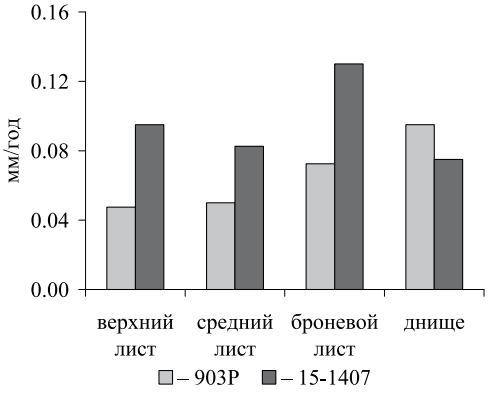


Рисунок 5 — Скорость коррозионного износа основных элементов котлов

ного износа превышают проектное значение 1,6 мм за 40 лет эксплуатации [5].

Далее была проведена оценка интенсивности эксплуатации вагонов-цистерн моделей 903Р и 15-1407. Используемые в настоящее время цистерны для транспорта СУГ перевозят широкую номенклатуру грузов, плотность которых значительно отличается — от 14 до 28%. Кроме того, принятая в СССР унификация параметров специализированного подвижного состава привела к тому, что подавляющее количество этих вагонов-цистерн имеют длину по осям сцепления 12020 мм, что не позволяет в полной мере реализовать их максимальную грузоподъемность. При условии что коэффициент порожнего пробега вагонов-цистерн составляет 0,5, а большая часть парка для перевозки СУГ задействована со значительным недоиспользованием осевой нагрузки — 23,5 тс (более 35%), можно предположить, что к окончанию срока эксплуатации цистерны моделей 903Р и 15-1407 свой ресурс выработали не в полной мере.

На следующем этапе с учетом ранее проведенных исследований расчетным способом была обоснована возможность дальнейшей эксплуатации вагонов-цистерн моделей 903Р и 15-1407 после продления срока службы [6]. Расчетно-экспериментальные исследования оболочек котлов при многоцикловом нагружении показали, что коэффициент запаса сопротивления усталости n и срок службы котлов Tk вагонов-цистерн составляют: для модели 903Р — $n = 2{,}22$ и $Tk = 56$ лет; для модели 15-1407 — $n = 2{,}25$ и $Tk = 61$ год.

Анализ результатов расчета показал, что сверхнормативный срок службы вагонов для перевозки СУГ, назначенный после проведения капитального ремонта, может составлять не менее 10 лет, а минимальное расчетное значение остаточного срока службы наблюдается в зоне опирания котла на подкладные бруски лежневых опор.

Помимо выполненного Инженерным центром комплекса работ также совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» [7] были проведены исследования по оценке физико-химических свойств металла сварных соединений (электрод Э-50А) и котлов вагонов-цистерн, изготовленных из сталей марок 18Г2А (модель 903Р), 10Г2СД и 09Г2С (модель 15-1407). Рассматриваемые фрагменты котла вагона-цистерны были определены с учетом результатов ранее проведенных исследований на стыке среднего и верхнего листов обечайки котла и днища. Данный комплекс работ включал следующие этапы: определение химического состава металла и его механических свойств; оценка ударной вязкости и показателей критической температуры хрупкости; испытания на раскрытие трещины; металлографические исследования; усталостные испытания.

На основании проведенных исследований металла котлов цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов и прогнозирования его технических характеристик можно сделать вывод, что вагоны-цистерны моделей 903Р и 15-1407 могут эксплуатироваться свыше проектного срока в течение 10 лет. Однако при транспортировке СУГ в вагонах-цистернах модели 15-1407 следует учитывать ограничения температурного диапазона их эксплуатации, так как значения ударной вязкости основного металла марки стали 09Г2С и 10Г2СД оказались ниже требуемых для интервала минимальных температур (от –50°С до 0°С).

На заключительном этапе исследования выполнена оценка экономической эффективности сверхнормативной эксплуатации (более 40 лет) вагонов-цистерн для перевозки СУГ. Целесообразность продления срока их службы в сравнении с покупкой аналогичного нового подвижного состава оценивалась исходя из средней стоимости ежегодной эксплуатации на протяжении 10 лет (S_i) по следующей формуле:

$$S_i = \left(\frac{S_H + P_{ДК}}{T_{ном}}\right) - \frac{\left(S_H - \left(S_H / T_{\max}\right) \cdot T_{эксп}\right) + P_{ДК} + P_M}{T_{ост}},$$

где $S_н$ — рыночная стоимость нового вагона-цистерны;

P_M, $P_{ДК}$ — стоимость необходимого текущего ремонта и плановых видов ремонта за период сверхнормативной эксплуатации;

$T_{норм}$, $T_{ост}$, T_{max}, $T_{эксп}$, — срок службы нормативный, остаточный, максимальный, фактической эксплуатации.

Результаты расчетов (рис. 6) отражают снижение эксплуатационных расходов на 13% при продлении срока службы вагонов для перевозки СУГ по сравнению с использованием нового подвижного состава и могут достигать более 50 000 руб. на цистерну за 6 лет. Однако следует учитывать, что после 46 лет эксплуатации проведение комплекса работ по продлению нецелесообразно, так как затраты на восстановительный ремонт в объеме КРП превышают затраты на эксплуатацию аналогичного нового подвижного состава.

В ходе выполнения комплекса работ был проанализирован парк вагонов-цистерн для перевозки СУГ, что позволило спрогнозировать значительный дефицит подвижного состава к 2015 г. Определены наиболее массовые повреждения вагонов-цистерн для перевозки СУГ и обоснованы основные причины возникновения характерных повреждений модели 15-1407. Помимо этого выявлены узлы и детали вагонов-цистерн для перевозки СУГ, лимитирующие ресурс вагона в целом и требующие первоочередной модернизации. По результатам анализа коррозионного износа элементов котла было установлено, что средняя скорость коррозии для моделей 903Р и 15-1407 превышает проектный показатель

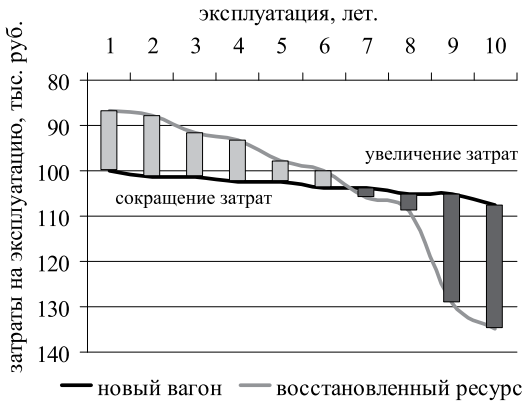


Рисунок 6 — Суммарные затраты на эксплуатацию вагонов-цистерн

более чем в 2 раза. Анализ интенсивности эксплуатации вагонов-цистерн для перевозки СУГ показал, что вагоны-цистерны моделей 903Р и 15-1407 не в полной мере выработали свой ресурс. Результаты расчетных исследований ресурса и усталостной прочности позволили обосновать возможность дальнейшей сверхнормативной эксплуатации вагонов-цистерн на срок не менее 10 лет. Оценка экономической эффективности продления срока службы вагонов по сравнению с покупкой аналогичного нового подвижного состава позволяет прогнозировать экономический эффект боле 50 тыс. руб. на вагон за 6 лет эксплуатации.

На основании выполненного комплекса работ могут быть существенно сокращены сроки предварительных исследований при создании новых вагонов-цистерн для перевозки СУГ, а также разработаны новые виды ремонта специализированных вагонов-цистерн, находящихся в эксплуатации.

Литература

1. Коваленок Т.П., Потемкин С.А., Тихомиров В.О. Анализ наличия и состояния парка грузовых вагонов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тезисы докладов IV Междунар. науч.-техн. конф. СПб. : ПГУПС, 2005. С. 117 — 119.

2. Кварчия Б. СУГ: инфраструктурный тупик перспективных технологий // РЖД-Партнер. 2008. № 13 — 14. С. 38 — 41.

3. Филиппов В.Н., Смольянинов А.В., Канивец Р.Ф., Дмитриев В.В. Совершенствование цистерн для сжиженного газа // Железнодорожный транспорт. 1991. № 8. С. 46 — 48.

4. Заключение по результатам исследования прочности ж-д. цистерн для перевозки сжиженных углеводородов, построенных по нормам 1958 — 1975 гг. : №312/224/99 / НИИхиммаш. М., 1999. 40 с.

5. Цистерны для перевозки сжиженных углеводородных газов с котлами увеличенного объема : отчет о НИР (заключ.) / МПС РФ, МИИТ; утв. Котуранов В.Н.; рук. Филиппов В.Н. М., 1986. 134 с.

6. Расчетно-экспериментальное обоснование продления срока службы котлов вагонов-цистерн моделей 15-1407 и 903R собственности ОАО «СГ-Транс» : отчет о НИР (заключ.) / ООО «ИЦ ВС»; утв. Битюцкий А.А.; рук. Савушкин Р.А. СПб, 2004. 108 с.

7. Экспериментальная оценка химико-механических свойств металла котлов вагонов-цистерн с истекшим сроком службы : отчет о НИР (заключ.) / ООО «ИЦ ВС»; утв. Битюцкий А.А.; рук. Савушкин Р.А. СПб, 2004. 179 с.

References

1. Kovalenok T. P., Potemkin S. A., Tikhomirov V. O. Analiz nalichiya i sostoyaniya parka gruzovykh vagonov // Podvizhnoj sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: Tezisy dokladov IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii. SPb.: PGUPS, 2005. S. 117–119.

2. Kvarchiya B. SUG: infrastrukturnyj tupik perspektivnykh tekhnologij // RZhD-Partner. 2008. № 13–14. S. 38–41.

3. Filippov V. N., Smolyaninov A. V., Kanivets R. F., Dmitriev V. V. Sovershenstvovaniye tsistern dlya szhizhennogo gaza // Zheleznodorozhnyj Transport. 1991. № 8. S. 46–48.

4. Zaklyuchenie po rezultatam issledovaniya prochnosti zh-d. tsistern dlya perevozki szhizhennykh uglevodorodov postroennykh po normam 1958–1975 gg. : №312/224/99 / NIIkhimmash . M.: 1999. 40 s.

5. Tsisterny dlya perevozki szhizhennykh uglevodorodnykh gazov s kotlami uvelichennogo obyema: otchet o NIR (zaklyuch).// MPS RF, MIIT; utv. Koturanov V. N.; ruk. Filippov V. N. M., 1986. 134 s.

6. Raschetno-eksperimentalnoe obosnovanie prodleniya sroka sluzhby kotlov vagonov-tsistern modelej 151407 i 903R sobstvennosti OAO «SG-Trans» : otchet o NIR (zaklyuch.) / OOO «ITS VS»; utv. Bityutskij A. A.; ruk. Savushkin R. A. SPb 2004. 108 s.

7. Eksperimentalnaya otsenka khimiko-mekhanicheskikh svojstv metalla kotlov vagonov-tsistern s istekshim srokom sluzhby : otchet o NIR (zaklyuch.) / OOO «ITS VS»; utv. Bityutskij A. A.; ruk. Savushkin R. A. SPb 2004. 179 s.

УДК 629.1-43

Борис Лазаревич Охотников, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка (Уральская государственная сельскохозяйственная академия, Екатеринбург),
Василий Николаевич Егоров, аспирант кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка (Уральская государственная сельскохозяйственная академия, Екатеринбург)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ТРАКТОРА С ПРИЦЕПОМ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОСИСТЕМОЙ НАГРУЗОК МЕЖДУ ОСЯМИ ТРАКТОРНОГО ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА

Boris L. Okhotnikov, DSc, professor, head of Machine-tractor fleet operation of The Urals State Agricultural Academy (USACA), Ekaterinburg,
Vasily N. Egorov, post-graduate of Machine-tractor fleet operation department of The Urals State Agricultural Academy (USACA), Ekaterinburg

Parameters' justification of a device for coupling a tractor with a trailer and hydrosystem load transfer between the axes of tractor-transport unit

Аннотация

Исследована зависимость параметров устройства соединения колесного трактора с двухосным прицепом на перераспределение нагрузок между осями агрегата с целью определения рациональной догрузки ведущих колес трактора. Догрузка задних колес трактора МТЗ за счет разгрузки передней оси прицепа и частично передней оси трактора повышает сцепную массу, улучшает использование тягово-энергетических свойств агрегата. Повышения эффективности использования ТТА следует добиваться за счет модернизации устройства соединения трактора с прицепом: удлинения поворотного рычага гидронавески трактора; укорачивания сцепного устройства; увеличения расстояния между точкой крепления нижних тяг навески к остову трактора и точкой присоединения раскосов к нижним тягам.

Ключевые слова: трактор, прицеп, догрузка ведущих колес, сцепное устройство, сцепная масса, гидронавеска трактора.

Annotation

It was studied in the article the parameters' dependence of coupling device of a wheel tractor with two-axle trailer on a load transfer between the axes in order to estimate the efficient additional charge of driving tractor wheels. The additional charge of rear wheels of MTZ tractor at the expense of unloading of the trailer front axle and partly of a tractor front axle increases the coupling mass, improves the use of unit traction and energy characteristics. The increase of tractor-transport unit efficient use should be fulfilled through the coupling modernization of a tractor with trailer, notably lengthening a pivot arm of tractor hydraulic hinge; shortening the coupling device; increasing the distance between the fixing point of hinge lower arms to the tractor frame and addition point of braces to lower arms.

Key words: tractor, trailer, additional charge of driving wheels, coupling device, coupling mass, tractor hydraulic hinge.

По результатам анализа существующих способов догрузки ведущих колес тракторно-транспортного агрегата (ТТА), а также исходя из конструктивных особенностей трактора определены требования к системе перераспределения нагрузок между осями агрегата:

- сохранение управляемости трактора;
- ограничение нагрузки на шины трактора и опорные подшипники;
- применение серийно выпускаемых узлов и деталей.

На рис. 1 приведена схема устройства, позволяющего перераспределять нагрузки между осями ТТА с использованием гидросистемы трактора.

Для изучения перераспределения нагрузок между осями агрегата через массы трактора и прицепа определены:

— догрузка задней оси трактора

$$Q_{ЗТ} = T_1 + N_П, \quad (1)$$

— вертикальная нагрузка на пальцы крепления дышла с рамой прицепа

$$N_2 = \frac{Q * a}{a + b}, \quad (2)$$

— догрузка задней оси прицепа

$$T_2 = \frac{L1 * Q * a}{L2 * (a + b)}, \quad (3)$$

— разгрузка передней оси прицепа

$$T_1 = \frac{(L1 + L2) * Q * a}{L2 * (a + b)}, \quad (4)$$

— усилие, создаваемое на концах удлинителей навески трактора

$$Q = \frac{f}{k} * \frac{\pi * R^2}{2} * P_1 * \cos^2 \alpha * \frac{c}{d} * \cos \beta, \quad (5)$$

e-mail: Vasili.Egorov@sl-cement.ru

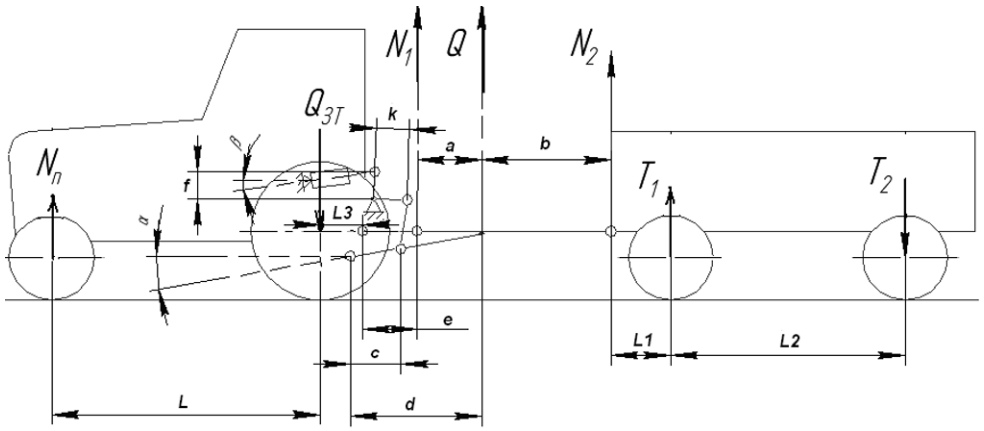


Рисунок 1 — Схема действия сил в системе при догрузке задней оси трактора и основные размеры агрегата. Силы: $Q_{ЗТ}$ — догрузка задней оси трактора; $N_П$ — разгрузка передней оси трактора; Q — усилие, создаваемое на концах удлинителей навесного устройства трактора; N_1 — вертикальная нагрузка на буксирный крюк от дышла; N_2 — вертикальная нагрузка на пальцы крепления дышла с рамой прицепа; T_1 — разгрузка передней оси прицепа; T_2 — догрузка задней оси прицепа; P — усилие на штоке гидроцилиндра; P_1 — давление в гидросистеме трактора. Размеры: L — база трактора; $L1$ — расстояние между точкой присоединения дышла к раме прицепа и передней осью прицепа (по горизонтали); $L2$ — база прицепа; a — расстояние между точкой присоединения дышла к буксирному крюку и точкой приложения силы Q на дышло; b — расстояние между точками приложения силы Q к дышлу и точкой приложения силы N_2; c — расстояние между точкой крепления нижних тяг навески к остову трактора и точкой присоединения раскосов к нижним тягам; d — расстояние между точкой крепления продольных нижних тяг навески к остову трактора и точкой приложения силы Q к дышлу; e — длина буксирного устройства, расстояние между точкой присоединения дышла к прицепу и передней осью прицепа по горизонтали; k — длина плеча горизонтального рычага навески; f — длина плеча поворотного рычага навески; α — угол поворота продольных тяг; β — угол поворота оси гидроцилиндра от горизонтального положения

— разгрузка передней оси трактора

$$N_П = Q * \frac{d + L3}{L}. \qquad (6)$$

Корректирование вертикальных нагрузок на колеса ТТА возможно длиной рычагов навески трактора; параметрами сцепного устройства трактора и водила прицепа; изменением расстояния между точками крепления нижних тяг навески и приложением нагрузки. Исходные значения распределения массы трактора МТЗ между осями составили на переднюю — 1263 кг, на заднюю — 2648 кг (опытные данные). Перераспределение нагрузок за счет размеров поворотного рычага f и горизонтального k представлено на рис. 2.

Анализ данных показывает, что наибольший эффект получен за счет удлинения поворотного рычага. Влияние на догрузку задней и разгрузку передней оси трактора длины буксирного устройства приведено на рис. 3.

Анализ данных рис. 3 показывает, что изменение параметра e не влияет на разгрузку передних, но изменяет догрузку задних колес трактора.

Влияние расстояния между точкой крепления нижних тяг навески к остову трактора и точкой присоединения раскосов к нижним тягам c и расстояния между точкой крепления продольных нижних тяг навески к остову трактора и точкой приложения силы Q к дышлу d на догрузку задней оси трактора представлено на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что максимальная догрузка задней оси трактора достигается увеличением расстояния между точкой

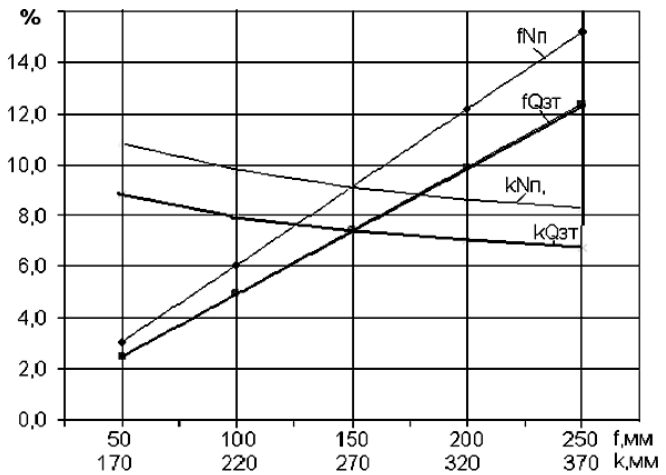


Рисунок 2 — Эффективность догрузки задней оси трактора за счет изменения размеров рычагов навески (f — поворотный рычаг, k — горизонтальный)

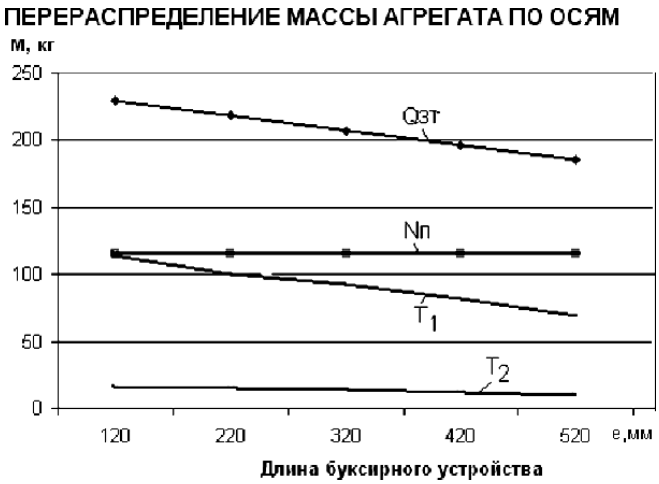


Рисунок 3 — Зависимость перераспределения нагрузок между осями ТТА от размера сцепного устройства трактора

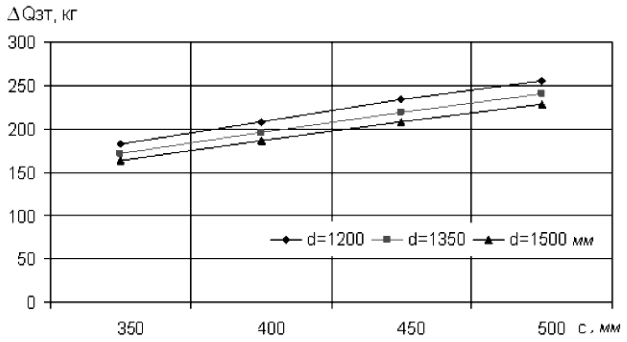


Рисунок 4 — Догрузка задней оси трактора при различных значениях параметров c и d

крепления нижних тяг навески к остову трактора и точкой присоединения раскосов к нижним тягам и уменьшением расстояния между точкой крепления нижних тяг навески к остову трактора и точкой приложения силы Q к дышлу.

Выводы

Повышения эффективности использования ТТА следует добиваться за счет модернизации устройства соединения трактора с прицепом:

- удлинения поворотного рычага гидронавески трактора;
- укорачивания сцепного устройства;
- увеличения расстояния между точкой крепления нижних тяг навески к остову трактора и точкой присоединения раскосов к нижним тягам.

УДК 629.1-43

Борис Лазаревич Охотников, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка (Уральская государственная сельскохозяйственная академия, Екатеринбург),
Василий Николаевич Егоров, аспирант кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка (Уральская государственная сельскохозяйственная академия, Екатеринбург)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОПАШНЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ НА ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТАХ

Boris L. Okhotnikov, DSc, professor, head of Machine-tractor fleet operation of The Urals State Agricultural Academy (USACA), Ekaterinburg,
Vasily N. Egorov, post-graduate of Machine-tractor fleet operation department of The Urals State Agricultural Academy (USACA), Ekaterinburg

Use of tractors' cultivated wheels at transport works

Аннотация

Исследована занятость универсально-пропашных колесных тракторов МТЗ-80 предприятий Свердловской области на транспортных работах. Занятость тракторов фиксировалась по операциям в днях, сменах, часах и по объему выполненных работ — в условных эталонных гектарах (УЭГА). Среднее значение занятости по времени составляет около 80%, по объему — около 79%. Минимум транспортных работ приходится на июнь: по времени около 30%, по объему работ — в пределах 26%. Наблюдения показали, что тракторы МТЗ-80 на транспортных работах не реализуют тягово-энергетические показатели в полной мере. Это связано с тем, что загружать на большую величину не позволяют дорожные условия (проходимость агрегатов). Отсюда вытекает необходимость повышения проходимости колесных тракторов. Предложены направления решения проблемы.

Ключевые слова: тракторный транспорт, занятость, проходимость, объем работ, эффективность.

Annotation

There is viewed the occupancy of all-purpose tractors' cultivated wheels MTZ-80 of Sverdlovsk region enterprises at transport works. The occupancy of tractors was fixed in days, shifts, hours and by the amount of the executed works — conditional standard hectare (CSH). The occupancy mean value by time is about 80%, by the amount- 79%. The minima transport works are in June, by time it is about 30%, by the amount of works it is up to 26%. The surveys showed that tractors MTZ-80 at transport works don't correspond to tractive energy factors completely. It is connected with the fact that it is not possible to load more because of road conditions (aggregate flotation). So there appears the necessity of wheeled tractors flotation. There are offered the directions of problem decision.

Key words: tractor transport, occupancy, flotation, amount of works, efficiency.

По литературным источникам [1] занятость тракторов МТЗ на транспортных работах увеличилась за 10 лет с 60,3 до 78,68%. Была поставлена задача изучить занятость тракторов МТЗ на транспортных работах на предприятиях Свердловской области в течение года.

Сбор статистических данных по области проведен за 2 года. Занятость тракторов фиксировалась по операциям в днях, сменах, часах и по объему выполненных работ — в условных эталонных гектарах. Результаты наблюдений приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Результаты исследования занятости тракторов МТЗ-80/82 по видам работ на предприятиях Свердловской области

Категория занятости	По времени			Объем, УЭГА
	Дни	Смены	Часы	
Общая	3554	3635	25445	21316,7
На транспортных работах	2811	2860	20020	16497,8
Доля транспортных работ к общей занятости (в году)	0,79	0,78	0,78	0,77

Данные табл. 1 показывают, что в зимние месяцы практически полностью тракторы заняты транспортными работами. В уборочный период (август и сентябрь) занятость транспортными работами составляет по времени 65 — 77% и по объему 72 — 81%. Среднее значение занятости по времени составляет около 80%, по объему — около 79%. Минимум транспортных работ приходится на июнь: по времени около 30%, по объему — в пределах 26%. Занятость тракторов на транспортных работах в течение года (по месяцам) приведена на рис. 1.

Тракторный транспорт, надо полагать, не утратит своего значения и в перспективе, так как развитие тракторостроения идет в направлении роста скоростей, повышения комфортабельности и др. Поэтому мероприятия по повышению эффективности использования транспортных поездов имеют большое народнохозяйственное значение независимо от природно-климатических зон.

Затраты на транспорт от общей суммы затрат на производство сельхозпродукции составляют 25 — 60% (в среднем

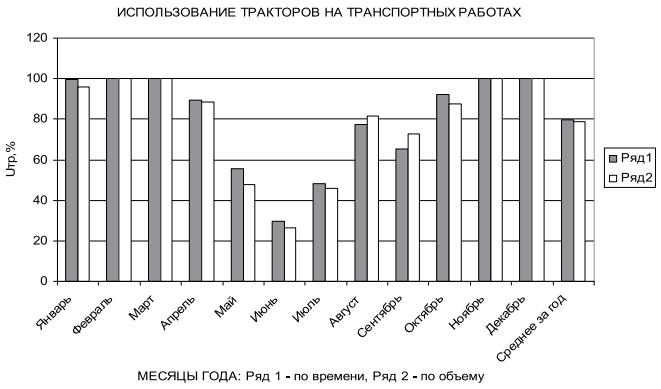


Рисунок 1 — Сравнительная занятость тракторов МТЗ-80 на транспортных работах с общей по месяцам года

40%) [2]. Особенно большой объем транспортных работ приходится на возделывание и уборку картофеля. На транспортировке и погрузке при возделывании картофеля затраты труда составляют 40% и более [3]. На долю транспорта в Германии при производстве продукции растениеводства приходится до 50% затрат труда [4]. Среднее расстояние перевозки грузов по сельхозпредприятиям страны составляет 22,2 км, картофеля — 19,4 км [1].

Усугубляется процесс перевозки тем, что полевые дороги и передвижение по полям (бездорожье) снижают скорости движения за счет буксования. При этом снижается производительность МТА, повышается себестоимость работ. Особенно это наблюдается на уборке урожая, в первую очередь картофеля, так как уборка и перевозка проходят в период обильных осадков и низких температур. Использование колесных тракторов на транспортных работах повышает эффективность их использования в течение всего года и дает значительную экономию на внутрихозяйственных перевозках по сравнению с автомобильным транспортом.

При перевозках зерна автотранспортом на расстояние 4 км затраты труда на единицу груза выше на 30% по сравнению с тракторным транспортом.

Если при движении по грунтовой дороге коэффициент сопротивления качению составляет 0,043 — 0,056, то по полю после уборки картофеля он находится в пределах 0,136 — 0,185 (трехкратное увеличение).

Наблюдения показали, что средняя масса перевозимого груза тракторами МТЗ-80 составила 2,7 т. Это связано с тем, что загружать на большую величину не позволяют дорожные условия (проходимость агрегатов). Отсюда вытекает необходимость повышения проходимости агрегатов.

Способы повышения проходимости колесных тракторов реализуются за счет увеличения сцепного веса (дополнительные грузы, заливка жидкости в баллоны, использование корректоров вертикальной нагрузки, навесных и полунавесных машин и др.), за счет увеличения площади контакта ходовых систем с опорной поверхностью (сдвоенные колеса, накидные почвозацепы, полугусеничный ход, широкопрофильные и арочные шины низкого давления) и путем увеличения количества ведущих осей.

Наиболее часто используемый способ догрузки — балластирование — имеет существенный недостаток, который заключается в повышении непроизводительных затрат энергии на перемещение балласта.

Применение одноосных прицепов позволяет увеличивать сцепной вес за счет переноса части нагрузки прицепа на задние колеса трактора. Этот способ догрузки имеет преимущества в том, что трактор несет полезную нагрузку. Существенным недостатком является ограниченная грузоподъемность таких прицепов и повышенный износ деталей заднего моста трактора под воздействием постоянной значительной догрузки.

Гидроувеличитель сцепного веса (ГСВ) на тракторах МТЗ способен при необходимости увеличивать сцепной вес, но не может использоваться с прицепами в стандартном исполнении. Разработка средств по применению его для прицепных машин является перспективным направлением.

Выводы

1. Колесные универсально-пропашные тракторы в хозяйствах области более 75% времени в году используются на транспортных работах.

2. Дорожные условия и бездорожье не позволяют максимально использовать мощностные и тяговые возможности трактора на транспорте.

3. Перед исследователями и конструкторами стоит задача найти рациональный способ повышения тягово-сцепных свойств колесного универсально-пропашного трактора (используя ГСВ) при агрегатировании его с двухосными прицепами; изучить перераспределение нагрузок, приходящихся на колеса агрегата; найти конструктивное решение; исследовать эксплуатационные показатели ТТА и определить экономическую эффективность.

Литература

1. Голубев А.В., Голубева И.В. Экономика транспортных работ в сельском хозяйстве. М. : Колос, 1979.

2. Тракторные поезда / П.П. Артемьев, Ю.Е. Атаманов, Н.В. Богдан, В.П. Бойков и др. М. : Машиностроение, 1982.

3. Печерцев Н.А. Технология послеуборочных работ в производстве картофеля // Вестник ЧГАУ. 2004. Т. 42.

4. Перевозки и подъемно-транспортные средства в сельском хозяйстве. М., 1978.

References

1. Golubev A.V., Golubeva I.V. Ekonomika transportnykh rabot v selskom khozyajstve. M.: Kolos, 1979.

2. Traktornye poezda / P.P. Artemev, Yu.E. Atamanov, N.V. Bogdan, V.P. Bojkov i dr. M.: Mashinostroenie, 1982.

3. Pechertsev N.A. Tekhnologiya posleuborochnykh rabot v proizvodstve kartofelya // Vestnik CHGAU. 2004. Tom 42.

4. Perevozki i podemno-transportnye sredstva v selskom khozyajstve. M.: 1978.