

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПАНИЙ — СОБСТВЕННИКОВ ВАГОНОВ
С ОАО «РЖД» ПРИ РЕКЛАМАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА
КОЛИЧЕСТВА АВТОБУСОВ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ
ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ
МЕЖДУГОРОДНЫХ РЕЙСОВ**

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДИК
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТОКОСЪЕМА
МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**



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 A4, 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 пикселей 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. Fee for papers' publication is not charged from PhD students.

TRANSPORT

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE URAL

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

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Alexander Efimov, professor, editor-in-chief of the journal «Ural Transport», 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. Aleksandr M. Borovskikh, PhD, Professor, Ekaterinburg
3. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
4. Gritsyk Valery Ivanovich, DSc, professor, Rostov
5. Kozlov Petr Alekseevich, DSc, professor, Moscow
6. Komarov Konstantin Leonidovich, DSc, professor, Novosibirsk
7. Lapshin Vasily Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
8. Larin Oleg Nikolaevich, DSc, professor, Chelyabinsk
9. Ledyayev Alexandr Petrovich, DSc, professor, Saint-Petersburg
10. Reznik Leonid Grigorievich, DSc, professor, Tumen
11. Rumyantsev Sergey Alekseevich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
12. Say Vasily Mikhailovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
13. Smolyaninov Alexandr Vasilievich, DSc, professor, Ekaterinburg
14. Turanov Khabibula Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
15. Umnyashkin Vladimir Alekseevich, DSc, professor, Izhevsk
16. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Ткаченко Е.И., Федосеев Ю.П. / Взаимодействие компаний — собственников вагонов с ОАО «РЖД» при рекламационной работе	3
Покровская О.Д., Воскресенский И.В. / Формализация задачи комплексного расчета параметров терминальной сети региона	6
Покровская О.Д., Воскресенский И.В. / Алгоритмизация комплексного расчета параметров терминальной сети региона	10
Москвичева Е.Е. / Построение математической модели обработки составов с контейнерами на терминале сквозного типа	14
Васильев А.Г., Ковалев Р.Н. / Методика расчета количества автобусов для обеспечения потребностей перевозки пассажиров междугородных рейсов	19
Портнова О.Ю. / Моделирование колебаний закрепленной колесной техники при перевозке железнодорожным транспортом	25
Туранов Х.Т., Тимухина Е.Н. / Математическое моделирование нагруженности гибких элементов креплений груза с подкладкой при воздействии пространственной системы сил	29
Скоробогатченко Д.А. / Проектирование системы управления эксплуатационным состоянием автомобильных дорог	35
Кручинин И.Н., Дедюхин А.Ю. / Исследования применения местных каменных материалов для создания щебеночных оснований автомобильных дорог	39
Малыгин Е.А., Оськина М.Н. / Модель адаптивной системы кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта	42

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Паршина Е.В. / Оценка параметров достоверности обнаружения полезного сигнала в рельсовой линии при согласованной фильтрации	47
---	----

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Жебанов А.В. / Полный цикл работы цистерны с теплоизоляцией: от нанесения покрытия до утилизации	51
--	----

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Глушко М.И., Федоров Е.В. / Проверка действия тормозов	55
Зеленка Я., Михалец Т. / Управление и движение локомотива класса 744.0 CZ LOKO для пути с шириной колеи 1520 мм	59
Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Пышный И.М. / Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов	64

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТРАНСПОРТА

Сидоров О.А., Смердин А.Н., Жданов В.А. / Применение рациональных методов оценки качества токосъема магистральных электрических железных дорог	70
Несенюк Т.А. / Методы поиска однофазных замыканий в электрических сетях 6 — 35 кВ	77

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ. ТРАКТОРЫ.

Шароглазов Б.А., Сафаров М.Ф., Горелый Е.А. / Тяговые параметры промышленного трактора класса 10 при использовании в качестве источника энергии транспортных дизелей ЯМЗ	83
--	----

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

Tkachenko E.I., Fedoseev Yu.P. / Interaction of the companies — train cars' owners with 'Russian Railways' JSC at claim processing	3
Pokrovskaya O.D., Voskresensky I.V. / Formalization of a problem of complex calculation of regional terminal network parameters	6
Pokrovskaya O.D., Voskresensky I.V. / Algorithmization of complex calculation of regional terminal network parameters	10
Moskvicheva E.E. / Mathematical model of container trains' handling at the through type terminal	14
Vasilyev A.G., Kovalev R.N. / Calculation method of required buses quantity to meet the needs in passenger intercity bus transportation	19
Portnova O.Yu. / Oscillation simulation of fixed wheel equipment while railway transportation	25
Turanov Kh.T., Timukhina E.N. / Mathematical modeling of loading of cargo flexible fastening elements with a sub plate by spatial force system effect	29
Skorobogatchenko D.A. / Control system design of roads' operational state	35
Kruchinin I.N., Dedyukhin A.Yu. / Research of local stone materials use for macadam base road building	39
Malygin E.A., Oskina M.N. / Occupation planning in train schedule in the process of transport infrastructure maintenance	42

RAILWAY AUTOMATION AND TELEMCHANICS

Parshina E.V. / Reliability parameters' estimation of useful signal detection in a railway line with matched filtering	47
--	----

RAILWAY CARS AND FACILITIES

Zhebanov A.V. / Full cycle of cistern operation with heat insulation: from plating to utilization	51
---	----

ROLLING STOCK AND TRACTION

Glushko M.I., Fedorov E.V. / Brakes' check	55
Zelenka J., Michálek T. / Running and guiding behaviour of the locomotive class 744.0 CZ LOKO for the track gauge 1520 mm	59
Buinosov A.P., Khudoyarov D.L., Pyshny I.M. / Choice of wheel pairs tires' roll surface profile of industrial diesel locomotives	64

ELECTRIC SUPPLY OF TRANSPORT

Sidorov O.A., Smerdin A.N., Zhdanov V.A. / Application of reasonable current collection quality methods for high speed railways	70
Nesenyuk T.A. / Methods of search of one-phase line-to-ground faults in electrical networks of 6 — 35 kV	77

MOTOR TRANSPORT. TRACTORS.

Sharoglazov B.A., Safarov M.F., Gorely E.A. / Traction parameters of industrial tractor class 10 when using transport diesel engine YMZ as a source of energy	83
---	----

УДК 338.47:629.44

Елена Ивановна Ткаченко, аспирант кафедры вагонов, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС, Хабаровск),
Юрий Петрович Федосеев, кандидат технических наук, заведующий кафедрой вагонов, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС, Хабаровск)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПАНИЙ — СОБСТВЕННИКОВ ВАГОНОВ С ОАО «РЖД» ПРИ РЕКЛАМАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Elena I. Tkachenko, PhD student of 'Train cars' department, Far East State University of Railway Transport (FESTU, Khabarovsk)
Yuri P. Fedoseev, PhD, professor, Head of 'Train cars' department, Far East State University of Railway Transport (FESTU, Khabarovsk)

Interaction of the companies — train cars' owners with 'Russian Railways' JSC at claim processing

Аннотация

В статье проанализирована неблагоприятная ситуация, сложившаяся в системе взаимоотношений между компаниями — собственниками грузовых вагонов и ОАО «РЖД».

Учитывая тот факт, что в настоящее время большинство грузовых вагонов находится в руках частных компаний, а перевозчиком является ОАО «РЖД», вопросы оптимизации отношений между этими двумя сторонами представляются актуальными.

Описаны проблемы, возникающие при оплате владельцами грузовых вагонов технического обслуживания и ремонта, выполняемого на предприятиях ОАО «РЖД».

Предложено ввести в практику страхование вагонов, получивших неисправности и направляемых на техническое обслуживание, что позволит сократить штат, занимающийся рекламационной работой, и повысить качество ремонта вагонов.

Ключевые слова: private вагоны, рекламационная работа, владельцы; страхование вагонов.

Annotation

The article gives the analysis of the negative situation in relations between the railway freight cars' owners and 'Russian Railways' JSC (RR JSC).

The fact that the majority of freight cars are now owned by private companies while 'Russian Railways' JSC acts as a carrier, makes the relations between the two increasingly important.

The problems connected with the payment by the owners for maintenance and repair of their cars in 'Russian Railways' JSC enterprises are also discussed.

It is offered to introduce freight cars insurance to cover the costs of damage and repair, which will allow to reduce the number of staff involved in claims processing and improve quality of repair and maintenance

Key words: private carriages; claims processing; owners; insurance of carriages.

Для правового урегулирования возникающих при ремонте грузовых вагонов разногласий между ремонтными предприятиями ОАО «РЖД», заводами-изготовителями и собственниками вагонов был создан регламент № 733 р от 17.04.06. Данный документ определяет порядок предъявления рекламаций и претензий на вагоны, их узлы и детали, не выдержавшие срока гарантийной ответственности после изготовления, ремонта или модернизации. Этим регламентом предусматривается составление акта-рекламации формы ВУ-41М, в котором указывается причина отцепки вагона и виновное предприятие, допустившее некачественный ремонт. Именно акт-рекламация ВУ-41М служит основанием возврата собственникам вагонов денежных средств, истраченных на оплату текущего отцепочного ремонта (ТОР) вагонов, не выдержавших гарантийного срока эксплуатации после постройки или ремонта в вагоноремонтных предприятиях Центральной дирекции грузовых вагонов (ЦДРВ). В соответствии с положениями договора на плановые виды ремонта ЦДРВ может возмещать собственнику расходы по устранению дефекта, возникшего в период гарантийной ответственности, только по правильно оформленным документам. Такими документами являются акт ВУ-41М и в некоторых случаях план расследования причины возникновения дефекта на вагоне. Признанные и оплаченные претензии направляются в вагонные ремонтные депо для возмещения материального ущерба в пользу собственника. Все претензии рассматриваются в соответствии с приказом «Об организации работы по рассмотрению претензий по качеству ремонта вагонов».

Акт-рекламация — это документ установленной формы (акт-рекламация формы ВУ-41М), предъявляемый предприятию — поставщику грузовых вагонов и их узлов, материалов и запасных частей, предприятию, производившему плановые виды ремонта грузовых вагонов и их узлов, на обнаруженные в период действия гарантийного срока ответственности отказы, вызванные низким качеством изготовления или ремонта, а также на несоответствие качества и/или комплектности поставленной продукции (выполненных работ) установленным требованиям.

3

Январь – Март

Отцепка грузовых вагонов компаний-операторов в текущий отцепочный ремонт по неисправностям технологического характера требует обязательного оформления акта-рекламации ВУ-41М в соответствии с классификатором неисправностей грузовых вагонов. В результате приватный вагон выходит из рабочего парка, что приводит к убыткам компаний, связанным с некачественным изготовлением или ремонтом грузовых вагонов. Задача собственника — вернуть деньги за ремонт вагона. Но возврат собственнику денежных средств, как показывает практика, очень трудоемкий процесс из-за некачественного составления актов-рекламаций эксплуатационными вагонными депо. Наиболее часто в актах-рекламациях встречаются следующие нарушения:

- несоответствие подписи лица фамилии, указанной в акте-рекламации;
- несоответствие сведений о вагоне данным справки 2612 ГВЦ;
- неправильное указание номера отказавшего узла (поглощающего аппарата, подшипника, и др.);
- указание даты составления рекламационного акта ранее даты отцепки вагона;
- отсутствие представителя виновного предприятия или близлежащего ремонтного депо на расследовании;
- недокомплект рекламационных документов, предъявляемых собственнику вагонов.

Неполное или неточное оформление рекламационных документов приводит к отказу в удовлетворении претензий собственникам грузовых вагонов по возмещению убытков.

В некоторых случаях рекламационные документы просто не составляются. При отцепке вагона в текущий отцепочный ремонт по технологическим неисправностям (трещина или излом боковины, трещина или излом надрессорной балки) в донесении указывается, что трещина не подтвердилась. При отцепке вагонов в ТОР по технологической неисправности «грение буксы» в плане расследования причин в графе «предполагаемая причина возникновения дефекта» указывается, что отклонений от инструкции №3-ЦВРК не выявлено.

Наличие вышеперечисленных документов подтверждает, что вагоны находились в технически исправном состоянии. Тем не менее работники дорог данные вагоны предъявляют к полной оплате за выполненный текущий отцепочный ремонт. Собственнику подвижного состава в таком случае компенсировать денежные средства, затраченные на оплату текущего отцепочного ремонта, возможно только через суд. Этот процесс очень трудоемкий и длительный, а не производить оплату за ремонт вагона собственник не имеет права согласно заключенному договору, да и вагоны такой компании в депо ремонтировать просто не будут, что влечет за собой простой вагона в нерабочем парке и убытки компании.

Департамент вагонного хозяйства ОАО «РЖД» считает, что собственники подвижного состава должны оплачивать полную стоимость ТОР вагонов с не подтвердившимися неисправностями, так как с собственника вагонов не снимается ответственность за безопасность движения.

Однако имеются случаи, когда собственники подвижного состава отказываются оплачивать ремонт грузового вагона, забракованного по «грению буксы», объясняя это тем, что эксплуатационное вагонное депо ОАО «РЖД» предъявило неполный пакет документов. Кроме акта-рекламации ВУ-41М, в котором указано виновное предприятие, и плана расследования, собственник требует представить дополнительные документы для раскрытия причин возникновения дефекта (показания приборов КТСМ, подробное описание произведенного ремонта, фотографии замененных узлов и деталей вагона). В регламенте ведения рекламационно-претензионной работы в вагонном хозяйстве ОАО «РЖД» от 17.04.06 № 733 р четко указано, что собственнику предоставляется только акт-рекламация ВУ-41М и план расследования (при отцепке по буксовому узлу). Таким образом, собственник приватных вагонов затягивает оплату ремонта вагона, перекладывает всю ответственность на работников компании ОАО «РЖД», чтобы собрать больше документов и тем самым быть уверенным, что возврат денежных средств, истраченных на неплановый текущий отцепочный ремонт, будет осуществлен.

Департамент вагонного хозяйства ОАО «РЖД» принял меры, направленные на совершенствование взаимоотношений с компаниями-операторами, для исключения конфликтных ситуаций, возникающих при отцепке приватного вагона в текущий ремонт только по грению буксового узла. Так, при отцепке вагона, забракованного по грению буксового узла в течение 30 суток после текущего отцепочного или планового ремонта, в случае невыявления причин грения требования на компенсацию затрат ремонтными предприятиями (ВЧДР, ВЧДЭ) предписано собственнику не предъявлять (телеграмма № 540 от 04.10.07).

Вышеперечисленные проблемы связаны с устаревшей нормативной документацией, которая дает возможность всем участникам транспортного рынка (вагоноремонтным, вагоностроительным предприятиям, собственникам подвижного состава) трактовать разночтения в регламентирующих рекламационную работу документах в свою пользу. В итоге они уходят от ответственности. Отсутствие четкого правового регулирования и разграничения ответственности приводит к тому, что порою одни предприятия вынуждены платить убытки, причиненные другими предприятиями, а виновники ущерба часто остаются в стороне.

Альтернативой трудоемкой и сложной в понимании рекламационной претензионной работе является страхование вагонов, забракованных по технологической неисправности и направленных в текущий отцепочный ремонт в эксплуатационные вагонные депо ОАО «РЖД». Такая схема позволит собственникам подвижного состава отказаться от выбивания денежных средств, затраченных на ремонт грузового вагона в гарантийный период, с ремонтных депо ОАО «РЖД», что позволит не содержать штат по рекламационной работе, отслеживать некачественно оформленные акты-рекламации ВУ-41М, искать и разбираться с виновниками происшествия. Все это возьмет на себя страховая компания, которая имеет право регресса и может обратиться в суд с иском к виновному предприятию, выпустившему на

пути общего пользования вагон с некачественным ремонтом.

Так на транспортном рынке появится еще один независимый от ОАО «РЖД» участник процесса — страховая компания, занимающаяся страхованием вагонов по технологической неисправности, что приведет к повышению качества ремонта вагонов, так как руководители вагоно-ремонтных депо почувствуют более отчетливо финансовую ответственность за производимый ремонт грузовых вагонов. Это менее хлопотно, не слишком затратно, а

главное — возмещение ущерба можно гарантированно получить.

Благо на рынке имеются десятки страховых компаний, только условия страхования у всех разные. И все-таки собственник сам будет решать, какую страховую компанию ему выбрать по предлагаемым условиям страхования и ее финансовой надежности. А от того, насколько быстрым и полным будет возмещение убытков в критической ситуации, зависит дальнейшее положение страхователя как экономического субъекта на рынке.

Редакция журнала «Транспорт Урала» доводит до сведения читателей, что авторами статьи «Задача исследования параметров точечного канала связи с локомотивом», опубликованной в журнале «Транспорт Урала» (2009, № 3), являются **Гаврилюк Александр Леонидович**, кандидат физико-математических наук, сотрудник Института математики и механики УрО РАН, и **Тильк Игорь Германович**, кандидат технических наук, директор НПЦ «Промэлектроника» при Уральском государственном университете путей сообщения.

И.Г. Тильк приносит свои извинения А.Л. Гаврилюку за досадную ошибку.

E-mail: Alexandr.Gavrilouk@gmail.com,

Melnikova_i@npcprom.ru

УДК 656.073:658.8

Оксана Дмитриевна Покровская, аспирант, ассистент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте», Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк Кемеровской области),
Игорь Владимирович Воскресенский, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте», Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк Кемеровской области)

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИНАЛЬНОЙ СЕТИ РЕГИОНА

Oksana D. Pokrovskaya, post-graduate, assistant at 'Organization of transportation and management on transport' department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovskaya oblast,
Igor V. Voskresensky, PhD, Associate Professor of 'Organization of transportation and management on transport' department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovskaya oblast

Formalization of a problem of complex calculation of regional terminal network parameters

Аннотация

Статья посвящена разработке формализованного выражения задачи формирования терминальной сети в регионе. Формализована задача комплексного расчета параметров терминальной сети при формировании последней в регионе. В работе представлена целевая функция минимизации суммарных затрат на обслуживание перевозки в количественном (стоимостном) аспекте при создании терминальной сети в регионе. С учетом требования целевой функции разработана вычислительная процедура на основе единого математического выражения определяемых экономических показателей по автомобильному и железнодорожному транспорту.

Ключевые слова: терминальная сеть региона, грузовой терминал, комплексный расчет, пространственно-количественные параметры, транспортные параметры, единое математическое выражение.

Annotation

Article is devoted to the development of the formalized expression of a problem of the regional terminal network formation. The problem of complex calculation of parameters of a terminal network when forming it in the region is formalized. In the article criterion function of total expenses minimization for transportation service in quantitative (cost) aspect, when forming regional terminal network is given. Taking into account the criterion function requirement the computing procedure on the basis of unified mathematical expression of defined economic indicators on auto- and railway transport is developed.

Key words: a regional terminal network, cargo terminal, complex calculation, spatial-quantitative parameters, transport parameters, unified mathematical expression.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что большой объем и сложность комплексного расчета параметров терминальной сети требуют его автоматизации. Так, при выборе наиболее рационального варианта организации терминальной сети в регионе требуется эвристически проверить и оценить все возможные варианты числа и дислокации терминалов (узлов терминальной сети). Для этого, в свою очередь, необходима формализация основных вычислительных процедур комплексного расчета, на основе которой формируется блок-схема работы программы для ЭВМ.

Целью данного исследования является формализация задачи комплексного расчета параметров терминальной сети региона.

Терминальная сеть региона представлена грузовыми терминалами, аккумулирующими и распределяющими грузопотоки и выполняющими весь спектр логистических функций по обслуживанию всех сторон перевозочного процесса. Терминалы организуются в самых крупных по объему производства промышленной продукции и наиболее удобных по наличию транспортных коммуникаций пунктах региона равноудаленно от групп предприятий и выходов из региона и вблизи крупных городов региона.

Совокупность распределенных по территории региона грузовых терминалов образует опорную терминальную сеть. Последняя создает материальную основу транспортной инфраструктуры агломерации, формирует условия для углубленной переработки сырья внутри региона, обеспечивает комплексное транспортно-экспедиционное обслуживание грузодвижения.

Терминальная сеть как сложная мезологистическая система обладает рядом параметров. К пространственно-количественным параметрам относятся состав терминальной сети по числу и дислокации терминалов и зоны тяготения к ним промышленных предприятий. Это позиционирует ее в едином транспортно-экспедиционном пространстве региона.

К транспортным параметрам относятся вид транспорта, а также вид транспортного обслуживания терминальной сети: политранспортное (средствами нескольких видов транспорта) или монотранспортное (средствами одного вида транспорта), вид перевозки — магистральная, прямая, терминальная. При этом вид транспортного обслуживания по каждой транспортной связи может быть различным.

Создание терминальной сети — сложная методологическая задача. Здесь необходимо учитывать интересы и всех сторон перевозочного процесса, и другие аспекты управления грузодвижением (величина запасов и партии, вместимость склада, территориальное и количественное размещение терминалов, анализ рынков). Кроме того, проблемы проектирования региональной логистической системы, обеспечивающей рациональное грузодвижение, неразрывно связаны с определением числа и дислокации грузовых терминалов. Эффективность транспортного обслуживания региональных промышленных потребителей заключается в минимизации затрат, связанных с доставкой. К ним относятся затраты по доведению груза до конечного потребителя, а именно на распределение (дистрибуцию, или распыление) грузопотоков по направлениям доставки), на хранение груза в процессе грузодвижения и на перевозку.

Терминальная сеть обеспечивает комплексное транспортно-экспедиционное обслуживание перевозок. Поэтому при проектировании ее основных параметров следует учитывать не только весь спектр затрат, сопутствующих перевозке, но и многовариантность возможных пространственно-количественных решений сети. Необходимость анализа большого числа возможных вариантов обусловлена поиском из всех существующих наиболее рационального варианта сочетания числа и дислокации терминалов в аспекте обеспечения минимума затрат. Получение рационального решения достижимо варьированием возможных сочетаний как числа и дислокации терминалов, так и видов транспорта для их обслуживания, их комплексного анализа [1]. Ввиду указанной многовариантности решений и необходимости анализа каждого из них при построении терминальной сети применимы методы теории логистики, а также итеративные методы и методы программирования.

Среди существующих методов определения дислокации терминалов в регионе заслуживает внимания метод полного перебора, позволяющий существенно снизить субъективность принимаемых решений и оценить все возможные варианты. Для обоснования возможности его применения проведены соответствующие расчеты и программная реализация.

Терминальная сеть отличается от исследованных ранее логистических систем тем, что ее элементы — терминалы — представлены не как разобщенные логистические объекты, решающие локальные задачи распределения, а как система. В многоуровневой системе единого транспортно-экспедиционного пространства региона реализуются логистические принципы управления региональным грузодвижением и решаются комплексные задачи проектирования терминальной сети — ее пространственно-количественный состав и вид обслуживающего ее транспорта одновременно.

Поэтому возникают следующие аспекты формализации решений при создании терминальной сети: 1) формализация

процесса грузодвижения и его рационализация на основе логистических принципов; 2) построение опорной сети размещения терминалов на примере Кемеровской области; 3) формализация задачи определения транспортных затрат и инвестиций на строительство терминалов; 4) разработка схемы расчета затрат по методике решения двухэтапной транспортной задачи; 5) выбор вида транспорта или сочетания видов транспорта для эффективного обслуживания грузодвижения по модульному принципу. Все они требуют математического выражения, универсально удобного для проведения расчета.

В соответствии с приведенными выше параметрами терминальной сети была составлена целевая функция целесообразности формирования в регионе терминальной сети с определенными параметрами. В качестве критерия оптимальности принят минимум суммарных затрат на обслуживание перевозки $S_{\text{сумм}}$. Для анализа количественного (стоимостного) аспекта необходимости создания терминальной сети следует разработать, а затем минимизировать целевую функцию по выбранному критерию оптимальности

$$F = \sum_i \sum_j \sum_k \left(\sum_{\alpha_\phi}^m S_{\text{сумм}\alpha_\phi}^{(\beta;\lambda;\beta+\lambda)} \right) \Rightarrow \min; \text{ где общие затраты:}$$

$$\sum_{\alpha_\phi}^n S_{\text{сумм}\alpha_\phi}^{(\beta;\lambda)} :$$

$$\sum_{\alpha_\phi}^m S_{\text{сумм}\alpha_\phi}^{(\beta;\lambda;\beta+\lambda)} = [S_{\text{тран}}; S_{\text{инвест}}] \Rightarrow \min \text{ (при } S_{\text{тран}} \geq S_{\text{инвест}}).$$

$$F = \left(\sum_i \sum_k Q_{ik} S_{\text{сумм}(ik)} + \sum_{(m)} Q_{ik} S_{\text{сумм}(k)} \right) + \left(\sum_{(n)} Q_{kj} S_{\text{сумм}(k)} + \sum_k \sum_j Q_{kj} S_{\text{сумм}(kj)} \right) \Rightarrow \min;$$

$$F = \sum_i \sum_j \sum_k [S_{\text{тран}}; S_{\text{инвест}}; S_{\text{хран}}; S_{\text{перераб}}; S_{\text{груз}}; S_{\text{сервис}}; T_{\text{достав}}] \Rightarrow \min. (1)$$

где $S_{\text{сумм}}^{(\beta;\gamma;\beta+\gamma)}$ — суммарные затраты на обслуживание перевозки, руб./год;

S_{ik} — суммарные затраты на этапе обслуживания перевозки грузов объемом Q_{ik} от поставщика i на терминал k , руб./год;

S_k — суммарные затраты на обслуживание терминальной (внутри- и межтерминальной) перевозки, руб./год;

S_{kj} — суммарные затраты на этапе распыления объема перевозок Q_{kj} терминалом k потребителям j , руб./год;

Q_{ik} — количество груза, поступающего от поставщиков i на терминал k , т/сут;

Q_{kj} — количество груза, отправляемого (распределяемого) терминалом k потребителям j , т/сут.

$$\sum_{\alpha_\phi}^m S_{\text{сумм}\alpha_\phi}^{(\beta;\lambda;\beta+\lambda)} \text{ складываются из:}$$

$S_{\text{тран}}$ — затраты на перевозку груза, руб./год;

$S_{\text{инвест}}$ — затраты на строительство определенного количества терминалов с учетом вложений в инфраструктуру и внутрискладскую переработку груза, руб./год. Суммарные за-

траты на обслуживание перевозки $\sum_{\alpha}^m S_{\text{сумм}\alpha}^{(\beta;\lambda;\beta+\lambda)}$ на этапе α_ϕ

($\alpha_1 = ik$ — сбор; $\alpha_2 = kj$ — терминальная перевозка; $\alpha_3 = kj$ — распределение) грузодвижения β -м или λ -м видом транспорта (β — доставка автомобильным транспортом; λ — же-

лезнодорожным; $\beta + \lambda$ — доставка политранспортная) минимизируется: по варианту дислокации и размещения терминалов; поставщику ($\sum_i S_i$), терминалу ($\sum_k S_k$) и потребителю ($\sum_j S_j$); этапам m и n (m — прибытие груза от постав-

щика на терминал; n — отправление груза с терминала потребителю) по каждой транспортной связи. $S_{инвест}$ — размер инвестиций, необходимых для строительства грузового терминала, с учетом вложений в инфраструктуру и оснащение, руб./год; $S_{хран.}$ — затраты, связанные с хранением груза на терминале, руб./год; $S_{перераб.}$ — затраты, связанные со складской переработкой груза (маркировка, упаковка, подгруппировка и др.), руб./год; $S_{груз.}$ — затраты, связанные с выполнением грузовых операций (погрузка, разгрузка, перегрузка), руб./год; $S_{сервис}$ — затраты, связанные с выполнением транспортно-экспедиционного и коммерческо-информационного сервиса, дистрибуции груза, мониторинга и др. логистических услуг, руб./год. Кроме финансовых составляющих, в целевую функцию включается показатель эффективности грузодвижения по терминальной технологии: $T_{достав.}$ — время доставки груза по терминальной технологии, ч. Для того чтобы проанализировать влияние количества и размещения терминалов на величину суммарных затрат на обслуживание перевозки, необходимо определить величину

суммарных затрат для каждого из возможных вариантов и сделать вывод о целесообразности каждого варианта. Максимизация затрат по данной целевой функции позволит выявить наилучшее сочетание количества и размещения терминалов в регионе.

Если целевая функция суммарных затрат включает в себя две составляющие, одна из которых монотонно возрастает, а другая монотонно убывает, то целевая функция обязательно должна иметь минимум.

Формализация проводится на основе полученной ранее целевой функции F в составе двух элементов: $S_{тран.}$ — затраты на перевозку, руб./год; $S_{инвест}$ — размер инвестиций, необходимых для строительства грузового терминала, с учетом вложений в инфраструктуру и оснащение, руб./год. Большой объем анализа возможных вариантов формирования терминальной сети требует упрощения основных формальных процедур для последующей алгоритмизации расчета. Для этого задача формализации решалась поиском единого математического выражения определяемых параметров с учетом комплексности расчета, т. е. для параллельной проверки показателей по авто- и железнодорожному транспорту.

Логика получения предлагаемого единого математического выражения, которое положено в основу математической модели комплексного расчета при создании программного обеспечения для ЭВМ [2], приведено в табл. 1.

Таблица 1 — Получение единого математического выражения

№ тарифной схемы	Тип вагона	Принадлежность вагона	Формула тарифной схемы	
			Нач. — конеч. операции (А)	Движенческ. операции (В)
И 1 — тарифная ставка за использование инфраструктуры и локомотивов РЖД	Полувагон универсальный	Общий парк	2132	$(8,116+0,0338 \cdot P) \cdot K_L \cdot L$ $K_L = 1,23$ при L до 160 км $K = 1,041 - 0,00006 \cdot L + (31/L)$ при L от 106 до 3000 км
В 4 — тарифная ставка за использование вагонов общего парка			1126	$1,304K_L L$ $K_L = 1,23$ при L до 160 км $K = 1,041 - 0,00006 \cdot L + (31/L)$ при L от 106 до 3000 км
Для ЖДТ: $T_1 = \frac{(2132 + (8,116 + 0,0338 \cdot q_{\text{ваг}}) \cdot 1,23 \cdot L) + (1126 + 1,304 \cdot 1,23 \cdot L)]}{q_{\text{ваг}}} ; \text{руб./сут. - при } L \leq 160 \text{ км}$ $T_2 = \frac{(2132 + (8,116 + 0,0338 \cdot q_{\text{ваг}}) \cdot (1,041 - 0,00006 \cdot L + (31/L))) \cdot L + 1126 + 1,304 \cdot (1,041 - 0,00006 \cdot L + (31/L))}{q_{\text{ваг}}} ; \text{руб./сут. -}$ при 160 км $\leq L \leq 3000$ км тогда для $T_1 = (3258 + L \cdot (11,5866 + 0,041574 \cdot q_{\text{ваг}})) / q_{\text{ваг}} ;$ для $T_2 = (3258 + L \cdot (9,42 + 0,0338 \cdot q_{\text{ваг}})) / q_{\text{ваг}}$				
ТОГДА ЕДИНАЯ ФОРМУЛА РАСЧЕТА ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКУ ПО АТ И ЖДТ [3] $S_{\text{тран } i}^{(j,k)} = S_{\text{тран(сбор/распред.)}}^{\text{АТ(ЖДТ)}} = PC^{\text{АТ(ЖДТ)}} K_{\text{расст}} K_{\text{стоим}} ; \text{руб./сут.};$ $K_{\text{расст}}^{\text{ЖДТ}} = (3258 + L_{\text{ЖДТ}} \phi(x + y q_{\text{ваг}})) / q_{\text{ваг}} ; \text{руб./сут.}$ Коэффициент ϕ присутствует только при $L_{\text{ЖДТ}} \geq 161$ км; при $L_{\text{ЖДТ}} \leq 160$ км отсутствует; $\phi = 1,041 - 0,00006 L_{\text{ЖДТ}} + \frac{31}{L_{\text{ЖДТ}}}$ При $L_{\text{ЖДТ}} \leq 160$ км: $x = 11,5866$; $y = 0,041574$. При $L_{\text{ЖДТ}} \geq 161$ км (до 3000 км): $x = 9,42$; $y = 0,0338$. В соответствии с Прейскурантом № 10-01 (ТР № 1, часть 1) $K_{\text{стоим}}^{\text{ЖДТ}} = НДС, \text{руб./сут.}$				

В ходе проведенного исследования формализована задача комплексного расчета параметров терминальной сети, в частности: 1) разработана целевая функция в количественном (стоимостном) аспекте при создании терминальной сети в регионе; установлено количественное влияние числа и взаимной дислокации узлов терминальной сети на величину затрат по обслуживанию перевозки; 2) раз-

работано единое математическое выражение определяемых параметров терминальной сети с учетом требований комплексности расчета, т. е. для параллельной проверки показателей по автомобильному и железнодорожному транспорту, что позволяет определять пространственно-количественные параметры терминальной сети и вид (сочетание видов) транспорта.

Литература

1. Воскресенская Т.П., Покровская О.Д. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе (на примере Кемеровской области) // Вестник УрГУПС. 2010. № 3(7). С. 74 – 84. ISSN 2079-0392.

2. Покровская О.Д., Воскресенская Т.П. Программное обеспечение принятия решения по формированию терминальной транспортной сети в регионе. Рег. номер 2010614671. // ОБПТ Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. Программы для ЭВМ: Электронный бюллетень от 20.12.2010. М. 2010. № 4 (75). 539 с. С.98.

3. Тарифное руководство № 1. Часть 1 (Правила применения тарифов) / Прейскурант № 10-01: Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые РЖД. М. : Красный пролетарий, 2003. 160 с.

References

1. Voskresenskaya T.P., Pokrovskaya O.D. Metodika i algoritimizatsiya prinyatiya reshenij po formirovaniyu terminalnoj seti v regione (na primere Kemerovskoj oblasti) // Vestnik URGUPS. 2010. № 3(7). S. 74 – 84. ISSN 2079-0392.

2. Pokrovskaya O.D., Voskresenskaya T.P. Programmnoe obespechenie prinyatiya resheniya po formirovaniyu terminalnoj transportnoj seti v regione. Reg. nomer 2010614671. // OBPT Programmy dlya EVM, bazy dannykh, topologii integralnykh mikroskhem. Programmy dlya EVM: Elektronnyj byulleten ot 20.12.2010. M. 2010. № 4(75). 539 s. S.98.

3. Tarifnoe rukovodstvo № 1. Chast 1 (Pravila primeneniya tarifov) / Prejskurant № 10-01: Tarify na perevozki грузов i usluzhi infrastruktury, vypolnyaemye RZhD. M.: Krasnyj proletarij, 2003. 160 s.

УДК 656.073:658.8

Оксана Дмитриевна Покровская, аспирант, ассистент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте», Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк Кемеровской области),
Игорь Владимирович Воскресенский, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте», Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк Кемеровской области)

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИНАЛЬНОЙ СЕТИ РЕГИОНА

Oksana D. Pokrovskaya, post-graduate, assistant at 'Organization of transportation and management on transport' department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovskaya oblast,
Igor V. Voskresensky, PhD, Associate Professor of 'Organization of transportation and management on transport' department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovskaya oblast

Algorithmization of complex calculation of regional terminal network parameters

Аннотация

Статья посвящена алгоритмизации комплексного расчета параметров терминальной сети региона. Разработаны подробные блок-схемы принятия решений по формированию в регионе терминальной сети и расчета ее основных параметров. В основу формальной процедуры положено впервые полученное единое математическое выражение, обеспечивающее расчет показателей параллельно по авто- и железнодорожному транспорту. Разработанные алгоритмы использованы при создании программного обеспечения для ЭВМ по принятию решений при формировании терминальной сети региона.

Ключевые слова: терминальная сеть региона, грузовой терминал, комплексный расчет, пространственно-количественные параметры, транспортные параметры, единое математическое выражение.

Annotation

The article is devoted to algorithmization of complex calculation of regional terminal network parameters. Detailed block diagrams of decision-making on formation of a regional terminal network and calculation of its key parameters are developed. In a basis of formal procedure the unified mathematical expression, which provides calculation of indicators simultaneously on auto- and railway transport is necessary for the first time. The developed algorithms are used at creation of the software for the COMPUTER on decision-making at formation of a terminal network of region.

Keywords: a terminal network of region, the cargo terminal, complex calculation, spatially-quantitative parameters, transport parameters, uniform mathematical expression.

Актуальность данного вопроса продиктована необходимостью разработки алгоритма (блок-схемы работы программы для ЭВМ) выполняемых в процессе расчета параметров терминальной сети формализованных процедур с соблюдением комплексности расчета, т. е. требованием автоматизации расчета и параллельной проверки показателей по автомобильному и железнодорожному транспорту [1, 2].

Цель данной работы — разработать алгоритм комплексного расчета параметров терминальной сети региона. Для достижения цели потребовалось формализовать основные вычислительные процедуры.

Терминальная сеть — совокупность взаимодействующих и централизованно управляемых узлов (терминалов, или ЛНРЦ). Пространственно-количественные параметры терминальной сети: количество и дислокация терминалов, зоны тяготения к ним. Транспортные параметры: вид транспорта, транспортного обслуживания (политранспортное, монотранспортное), перевозки (магистральная, прямая, терминальная).

Наилучший вариант терминальной сети (НВТС) — это сочетание количества и дислокации ЛНРЦ и вида (видов) транспорта для их обслуживания; затраты по его реализации минимальны. Под ЛНРЦ (логистическим накопительно-распределительным центром или грузовым терминалом) понимается мультимодальный транспортный узел, представляющий собой комплекс сооружений и технических устройств, организационно и технологически взаимоувязанных и предназначенных для выполнения множества логистических операций. ЛНРЦ функционирует на принципах модульного интегрального логистического оператора.

В основу комплексного расчета параметров терминальной сети, в частности, для принятия решения по выбору вида транспорта по каждой транспортной связи положено единое математическое выражение определяемых параметров терминальной сети на перевозку груза автомобильным/железнодорожным транспортом и при политранспортной доставке этими видами транспорта

$$S_{\text{тран } i}^{(j,k)} = S_{\text{тран(сбор/распред.)}}^{\text{AT(ЖДТ)}} = PC^{\text{AT(ЖДТ)}} K_{\text{расст}} K_{\text{стоим}}; \text{руб./сут.} \quad (1)$$

где $PC^{\text{AT(ЖДТ)}}$ — количество подвижного состава (повагонных отправок), необходимого для освоения объемов перевозок, ед./сут (авт./сут или п.в.о./сут);

$K_{\text{расст}}$ — показатель учета расстояния перевозки при определении тарифа (на железнодорожном транспорте) или цены перевозки (на автомобильном транспорте), руб./сут;

$K_{\text{стоим}}$ — показатель учета накладных и сопутствующих расходов при выполнении перевозки, руб./сут.

Показатель учета расстояния перевозки, позволяющий определить величину затрат, связанных с расстоянием транспортировки,

$$K_{\text{расст}}^{\text{AT}} = 2L_{\text{AT}} \sum (N_{(\text{топ./смаз./шин})} S_{(\text{топ./смаз./шин})}), \text{руб./сут} — \text{для автотранспорта}; \quad (2)$$

$$K_{\text{расст}}^{\text{ЖДТ}} = 3258 + L_{\text{ЖДТ}} (x + y q_{\text{ваг}}), \text{руб./сут} — \text{для железнодорожного транспорта}; \quad (3)$$

где для автомобильного транспорта, согласно [3]:

L_{AT} — расстояние перевозки, км;

$N_{(\text{топ./смаз./шин})}$ — в зависимости от марки автомобиля соответственно нормативный расход топлива, л/100 км (в расчете принимается размерность л/1км пробега); смазочных материалов, л/100 км; шин, комплектов/тыс. км пробега;

$S_{(\text{топ./смаз./шин})}$ — соответственно цена дизельного топлива, руб./л; смазочных материалов, руб./л; комплекта шин, руб.;

для железнодорожного транспорта, согласно [4]:

$L_{\text{ЖДТ}}$ — расстояние перевозки, км;

$q_{\text{ваг}}$ — грузоподъемность вагона, т;

φ — коэффициент, присутствует только при $L_{\text{ЖДТ}} \geq 161$ км; при $L_{\text{ЖДТ}} \leq 160$ км коэффициент отсутствует; φ определяется как

$$\varphi = 1,041 - 0,00006 L_{\text{ЖДТ}} + \frac{31}{L_{\text{ЖДТ}}}. \quad (4)$$

Значения коэффициентов x, y зависят от расстояния перевозки $L_{\text{ЖДТ}}$. Если $L_{\text{ЖДТ}} \leq 160$ км, то $x = 11,5866$; $y = 0,041574$. Если $L_{\text{ЖДТ}} \geq 161$ км, то $x = 9,42$; $y = 0,0338$.

Показатель учета накладных и сопутствующих расходов при перевозке:

$$K_{\text{стоим}}^{\text{AT}} = S_{\text{накл}} R_{\text{НДС}}, \text{руб./сут} — \text{для автомобильного транспорта}; \quad (5)$$

$$K_{\text{стоим}}^{\text{ЖДТ}} = \text{НДС}, \text{руб./сут} — \text{для железнодорожного транспорта}, \quad (6)$$

где $S_{\text{накл}}$ — величина накладных расходов при перевозке, руб./сут;

R — норма рентабельности, %;

НДС — величина налога на добавленную стоимость, руб./сут.

Суммарные затраты на обслуживание перевозок через терминалы $S_{\text{сумм}}$ при политранспортной доставке определяются следующим образом:

$$S_{\text{сумм}}^{(\text{A+Ж})} = (\min \sum_{\alpha=1}^{\alpha} S_{\text{сумм}}^{(\beta;\lambda)}) + S_{\text{строит.}}; \text{руб./год}, \quad (7)$$

где $\min \sum_{\alpha=1}^{\alpha} S_{\text{сумм}}^{(\beta;\lambda)}$ — минимальные суммарные затраты на обслуживание перевозок на α -этапе грузодвижения (сбор и распределение) β -м или λ -м видом транспорта ($\beta + \lambda$ — доставка политранспортная), по каждой транспортной связи выбирается вид транспорта по минимальным затратам;

$S_{\text{строит.}}$ — затраты, необходимые для строительства и содержания определенного числа грузовых терминалов, руб./год,

$$S_{\text{строит.}} = (K * E_n) + \sum C_{\text{пост.}} C_{\text{пер.}}; \text{руб./год}, \quad (8)$$

где K — общая стоимость строительства одного ЛНРЦ, руб.;

E_n — нормативный коэффициент эффективности инвестиций в строительство;

$C_{\text{пост.}}$ — постоянная составляющая затрат на содержание ЛНРЦ, руб./год,

$$C_{\text{пост.}} = \frac{C_m^2 * Q_{\text{ЛНРЦ}}}{Q_m^2} * T_{\text{он}}; \text{руб./год}, \quad (9)$$

где $T_{\text{он}}$ — количество дней в году;

C_m^2 — стоимость содержания терминала, связанная с хранением груза, руб./м²;

Q_m^2 — количество груза, размещаемого на площади терминала, т/м²;

$Q_{\text{ЛНРЦ}}$ — грузооборот одного ЛНРЦ, т/сут. (если число терминалов > 1);

$C_{\text{пер.}}$ — переменная составляющая затрат на содержание ЛНРЦ, руб./год, принимается в долях от величины постоянной составляющей в зависимости от числа и загруженности терминалов.

Процесс принятия решений по формированию и комплексному расчету параметров терминальной сети таков: вводится блок исходных данных и назначается вариант числа и дислокации (по сектору или по ближайшему пункту выхода из региона) терминалов; проводится расчет транспортных затрат для автомобильного и железнодорожного транспорта. На основе анализа полученных результатов принимается промежуточное решение о целесообразности политранспортной доставки по сбору или дистрибуции груза по каждой транспортной связи. Расчет повторяется для каждого назначенного варианта; по итогам всех расчетов принимается решение об эффективности применения того или иного варианта (по числу и дислокации терминалов и по виду транспорта, по которому перевозка будет с минимальными транспортными затратами). В качестве критерия выбора наилучшего варианта выступает требование целевой функции $F(1)$. Расчеты проводятся параллельно по двум видам транспорта (автомобильному и железнодорожному) и двум видам доставки. Блок-схема проведения комплексного расчета параметров терминальной сети и принятия решения по формированию терминальной сети в регионе представлена на рис. 1.

Расчет (см. рис. 1) состоит из двух блоков: расчета показателей прямой (блоки 3 — 15) и терминальной перевозки (блоки 17 — 18). Расчет блоков 3 — 5 и 8 — 10 (малые пунктирные прямоугольники) аналогичен по каждому уровню. Расчеты показателей прямой и терминальной перевозки отличаются лишь тем, что затраты на обслуживание терминальных перевозок груза $S_{\text{сумм. терм.}}$ (блок 14) состоят из суммарных транспортных затрат $S_{\text{тран. сумм.}}$ (блок 12) и инвестиций на строительство соответствующего числа ЛНРЦ $S_{\text{инвест.}}$ (блок

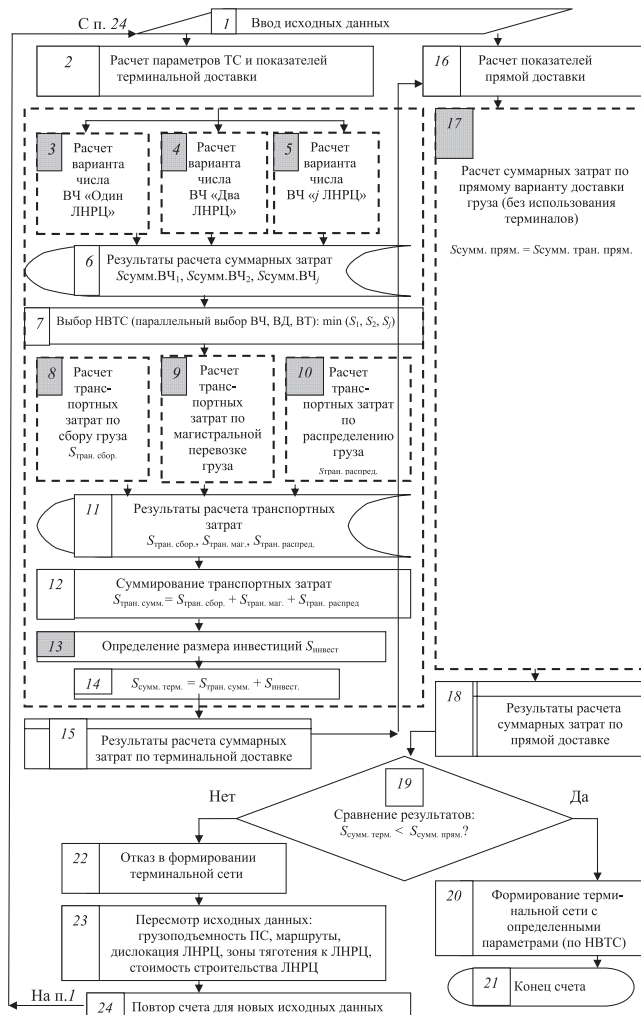


Рисунок 1 — Блок-схема комплексного расчета

13). Расчеты ведутся параллельно по автомобильному и по железнодорожному транспорту, и делается выбор наилучшего вида транспорта. Для прямой доставки затраты на обслуживание перевозок груза состоят из суммарных транспортных затрат $S_{\text{сумм.прям}}$ (блок 17). При расчете показателей терминальной доставки внутри региона выбирается наилучший вариант терминальной сети по числу и дислокации ЛНРЦ в ее числе и вида транспорта для ее обслуживания (блок 7); в межрегиональном аспекте определяются общие затраты на обслуживание перевозок груза через запроектированную терминальную сеть и наилучший вид транспорта для ее обслуживания (блоки 8 — 14); обосновывается экономическая целесообразность формирования в регионе терминальной сети и организации терминальных политранспортных перевозок (блок 19).

Выбираются вариант числа (ВЧ) параметров ЛНРЦ в регионе и вариант дислокации (ВД) узлов терминальной сети — ЛНРЦ. При расчете каждого ВЧ терминалов (блоки 3 — 5) требуется направленным перебором (итеративным методом) оценить общие затраты на перевозку груза для каждого ВД терминалов. Затраты на перевозку груза по терминальной технологии складываются из затрат по сбору груза в регионе и

затрат по распределению груза до соответствующих направлениям вывоза пунктов выхода из региона. Затраты на перевозку груза определяются по автомобильному и по железнодорожному транспорту. На основе этого расчета для конкретного ВЧ и ВД по каждой транспортной связи по минимуму суммарных транспортных затрат $S_{\text{сумм}}$ (на сбор и распределение груза до границ рассматриваемого региона) выбирается вид/сочетание видов транспорта (ВТ). Результат расчета каждого ВЧ — $S_{\text{сумм.ВЧ}}$ — величина суммарных затрат на обслуживание перевозки груза. Результаты по каждому ВЧ сохраняются в блоке 6. Это позволяет параллельно выбрать и вид транспорта, и рациональное число и дислокацию ЛНРЦ. В этом заключается комплексность расчета и принимаемых решений. В блоках 3 — 5 последовательность расчета аналогична.

Так проводятся расчеты для всех ВЧ ЛНРЦ в составе терминальной сети. Анализ результатов по величине суммарных затрат $S_{\text{сумм}}$ позволяет принять первое решение внутри региона, т. е. выявить целесообразность применения того или иного из назначенных вариантов терминальной сети по ВЧ, ВД и ВТ (блок 7). Наилучшее сочетание ВЧ, ВД и ВТ, обеспечивающее освоение объема перевозок груза с минимальными суммарными затратами, — это искомый НВТС (блок 7). После нахождения оптимального варианта терминальной сети внутри региона рассчитываются показатели терминальной перевозки груза через запроектированную сеть по НВТС (блоки 8 — 14). Результаты расчета каждого из блоков (8 — 10) — $S_{\text{тран.сбор}}$, $S_{\text{тран.маг}}$, $S_{\text{тран.распед}}$ — транспортные затраты по сбору, распределению и магистральной перевозке груза — сохраняются в блоке 11 и суммируются в блоке 12. Затем (блок 13) определяется $S_{\text{инвест}}$ — размер инвестиций на строительство необходимого ВЧ числа терминалов (в исходных данных задается стоимость строительства одного ЛНРЦ). Результаты расчета транспортных затрат и инвестиций суммируются (блок 14) и фиксируются во внутренней памяти $S_{\text{сумм.терм}}$ (блок 15). На данном этапе расчета определяются общие затраты на обслуживание перевозок груза через запроектированную терминальную сеть и наилучший вид транспорта для ее обслуживания.

Далее проводится расчет показателей (суммарных затрат на обслуживание перевозки) прямой перевозки без использования терминалов (блок 17). Результаты расчета фиксируются во внутренней памяти $S_{\text{сумм.прям}}$ (блок 18). Затем зафиксированные результаты (блоки 15 и 17) сравниваются в блоке 19; делается вывод о целесообразности организации перевозок через терминальную сеть на основе расчета экономического эффекта. Так принимается третье, окончательное решение. Если неравенство, проверяемое в блоке 19, выполняется, то формирование терминальной сети целесообразно (блок 20). Расчеты завершаются этим решением (блок 21). В случае невыгодности терминальных перевозок (невыполнение неравенства блока 19) терминальную сеть не формируют (блок 22). Расчет может быть повторен (блок 23) для новых исходных данных (блок 24) (например, по новой схеме прямой доставки, грузоподъемности подвижного состава, вариантам дислокации ЛНРЦ). Блок-схема комплексного расчета параметров терминальной сети позволяет решить вопрос о числе и дислокации терминалов в регионе и параллельно выбрать вид

(сочетание видов транспорта) для их обслуживания. Данная блок-схема положена в основу математической модели комплексного расчета при создании программного обеспечения для ЭВМ [2].

Расчет блоков, отмеченных цветом на рис. 1, показан на рис. 2 и 3.

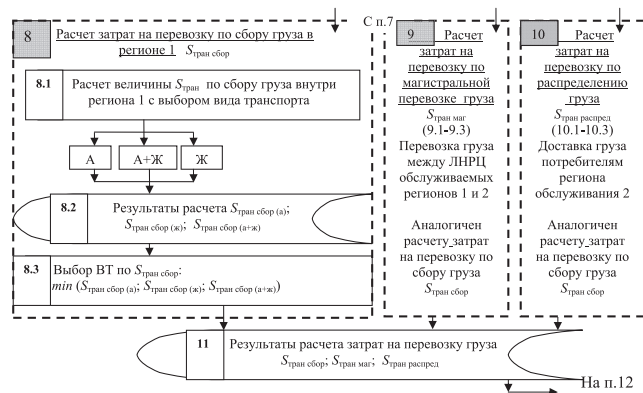


Рисунок 2 — Расчет блоков 8 — 11

В ходе проведенного исследования проведена алгоритмизация комплексного расчета параметров терминальной сети, в частности: 1) разработано единое математическое выражение определяемых параметров терминальной сети на перевозку груза автомобильным/железнодорожным транспортом и при политранспортной доставке этими видами транспорта; дано описание вводимым формулам; 2) в виде развернутых блок-схем представлена подробная формализованная вычислительная процедура комплексного расчета параметров терминальной сети.

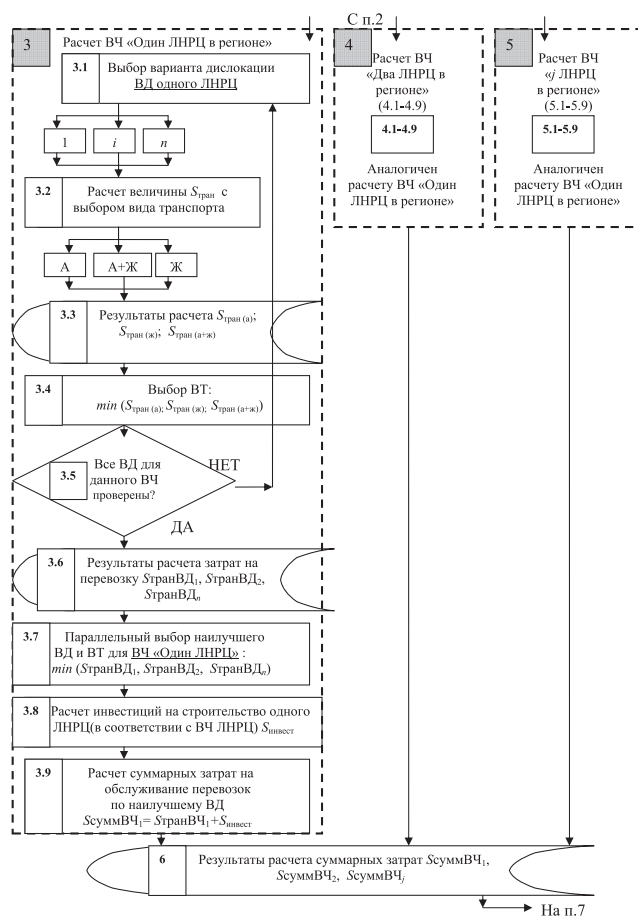


Рисунок 3 — Расчет блоков 3 — 5

Литература

1. Воскресенская Т.П., Покровская О.Д. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе (на примере Кемеровской области) // Вестник УрГУПС. 2010. № 3 (7). С. 74 — 84.
2. Покровская О.Д., Воскресенская Т.П. Программное обеспечение принятия решения по формированию терминальной транспортной сети в регионе. Рег. номер 2010614671 // ОБПТ Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. Программы для ЭВМ: Электронный бюллетень от 20.12.10. М. 2010. № 4 (75). С. 98.
3. Расход топлива и ГСМ: Нормы, комментарии. М.: Экзамен, 2007. 63 с.
4. Тарифное руководство № 1. Ч. 1. Правила применения тарифов. Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые РЖД. М.: Красный пролетарий, 2003. 160 с.

References

1. Voskresenskaya T.P., Pokrovskaya O.D. Metodika i algoritimizatsiya prinyatiya reshenij po formirovaniyu terminalnoj seti v regione (na primere Kemerovskoj oblasti) // Vestnik URGUPS. 2010. № 3(7). S. 74 – 84. ISSN 2079–0392.
2. Pokrovskaya O.D., Voskresenskaya T.P. Programmnoe obespechenie prinyatiya resheniya po formirovaniyu terminalnoj transportnoj seti v regione. Reg. nomer 2010614671. // OBPT Programmy dlya EVM, bazy dannykh, topologii integralnykh mikroskhem. Programmy dlya EVM: Elektronnyy byulleten ot 20.12.2010. M. 2010. № 4(75). 539 s. S. 98.
3. Raskhod topliva i GSM: Normy, komentarii. M.: Ekzamen, 2007. – 63 s. ISBN 5-377-00252-9.
4. Tarifnoe rukovodstvo № 1. Chast 1 (Pravila primeneniya tarifov) / Prejskurant № 10-01: Tarify na perevozki грузов i uslugi infrastruktury, vypolnyaemye RZhD. M.: Krasnyj proletarij, 2003. 160 s.

УДК 656.212

Елена Евгеньевна Москвичева, преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной грузовой и коммерческой работой» Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ СОСТАВОВ С КОНТЕЙНЕРАМИ НА ТЕРМИНАЛЕ СКВОЗНОГО ТИПА

Elena E. Moskvicheva, lecturer of 'Management of Operational Freight and Commercial Work' department, Samara State University of Transport (SSUT)

Mathematical model of container trains' handling at the through type terminal

Аннотация

Разработана математическая модель обработки составов с контейнерами на терминале сквозного типа. На основании результатов изучения модели решена задача сравнительной оценки затрат времени, целью которой являлось определение схемы организации контейнерного сервиса, обеспечивающей минимизацию времени обработки составов с контейнерами.

Ключевые слова: точная обработка контейнеров, контейнерный терминал сквозного типа, математическая модель, система массового обслуживания, число заявок, время обслуживания.

Annotation

A mathematical model of container trains' handling at the through type terminal was developed. On the basis of results of the model study the task of comparative assessment of time expenditure was solved. The objective of the task was to identify the scheme of container service organization, providing time minimization of container trains' handling.

Key words: threading container handling, through-type container terminal, mathematical model, a queuing system, the number of applications, time of service.

В настоящее время вопросам повышения эффективности железнодорожных контейнерных перевозок внутри страны и в международном сообщении уделяется все большее внимание. Важной задачей является сокращение времени нахождения контейнеров в пути. Препятствиями к этому служат обособленность и разобщенность технологий работы станций и контейнерных терминалов; отсутствие эффективного единого технологического процесса работы железнодорожных станций и соответствующих таможенных служб; низкие темпы внедрения внутриузловых перевозок контейнерными поездами между портовыми и тыловыми терминалами; невысокий сквозной срок доставки и ритм поставок; низкая надежность поставки по принципу «точно в срок»; низкий уровень взаимодействия с операторами подвижного состава; недостаточное развитие предпортовой железнодорожной инфраструктуры; отсутствие достаточного количества тыловых и распределительных контейнерных терминалов на железнодорожной сети России.

Значительные возможности по сокращению времени нахождения контейнеров в пути открываются при снижении времени их обработки на терминалах (в целом грузы находятся на контейнерных терминалах России до 70% всего времени перемещения). Снижение данного временного показателя возможно при поточной организации обработки контейнеров в условиях терминальной технологии, которая представляет собой способность контейнерных терминалов принимать полносоставные контейнерные поезда и обеспечивать быструю и эффективную обработку поездов без их предварительного реформирования, включая перегруз контейнеров с одного поезда на другой. Такой подход к решению проблемы можно организовать только на контейнерных терминалах сквозного типа, отвечающих ряду определенных технических требований, среди которых особенно важно отметить минимально необходимое число операций с контейнерами; единство и непрерывность транспортно-технологического процесса; модульное построение терминала; высокую степень автоматизации; интегрированность в информационное пространство транспортной отрасли и логистического бизнеса и др. [1].

Для определения эффективности организации поточной обработки контейнеров в условиях сквозной терминальной технологии возникает необходимость оценки затрат времени по вариантам существующего (стандартного) и предлага-

гаемого технологических процессов работы контейнерного терминала.

Для решения указанной задачи требуется построить математическую модель обработки составов с контейнерами на терминале сквозного типа. Изучая эту модель, необходимо выявить связи между различными характеристиками модели (среднее количество прибывающих составов за единицу времени, среднее время обработки состава на терминале и т. д.). На основании результатов изучения модели затем необходимо решить задачу сравнительной оценки затрат времени по каждому из вариантов, цель которой — определение той или иной схемы организации контейнерного сервиса, обеспечивающей минимизацию времени обработки составов с контейнерами.

Исследования показали, что варианты транспортно-технологических схем работы с контейнерами могут быть формализованы с применением вероятностных методов, то есть на основе математических моделей теории массового обслуживания [2 — 4]. Так, в каждом из вариантов транспортно-технологических схем работы с контейнерами имеются все содержательные моменты моделей, описываемых теорией массового обслуживания: поток заявок, канал обслуживания, очередь в ожидании процесса обслуживания, простой канала обслуживания в ожидании поступления заявки на обслуживание.

Поток заявок — это поток событий, в котором событием является появление заявки на обслуживание. В нашем случае появление заявки на обслуживание — это прибытие состава с контейнерами. Таким образом, каждый состав рассматривается как одна заявка.

Под каналом обслуживания следует понимать устройства, выполняющие ту или иную технологическую операцию. Прежде всего это сортировочные устройства, предназначенные для расформирования составов с контейнерами, а также погрузочно-разгрузочные средства для сортировки контейнеров, выгрузки их из подвижного состава или погрузки в подвижной состав автомобильного или железнодорожного транспорта. К каналам обслуживания также относятся маневровые локомотивы, участвующие в технологическом процессе.

Как заявка на обслуживание, так и сам обслуживающий канал могут простаивать в ожидании начала обслуживания (когда обслуживающий канал оказывается занятым) или в ожидании прихода заявки на обслуживание (когда заявка не поступила в обслуживающую систему).

В соответствии с моделью стандартного технологического процесса на рис. 1 конкретизируется схема многофазной модели системы массового обслуживания (СМО), обслуживающей железнодорожную станцию и контейнерный терминал. На рис. 2 приведена схема рассматриваемой многофазной модели СМО, обслуживающей терминал сквозного типа с поточной обработкой контейнеров. На схемах приняты следующие

обозначения: \bar{t}_p — соответственно среднее время расформирования составов; \bar{t}_o, \bar{t}_o — среднее время ожидания вагонов соответственно перед подачей на контейнерный терминал и после уборки с контейнерного терминала; $12/x(t_{\text{нак}})$ — среднее время накопления вагонов на подачу на станционных пу-

тях; \bar{t}_m, \bar{t}_m — соответственно среднее время подачи и уборки

вагонов на контейнерный терминал; \bar{t}_r — средняя продолжительность грузовых операций на контейнерном терминале; $-\phi$

\bar{t}_o — среднее время ожидания формирования поездов; $\bar{t}_{\text{оф}}$

$\bar{t}_{\text{пер}}$ — соответственно среднее время окончания формирования и перестановки составов. Величина \bar{t}_o включает время на

повторное расформирование уборки вагонов с контейнерного терминала и окончание накопления вагонов на состав.

В свою очередь, поток событий рассматриваемой СМО характеризуется интенсивностью λ , равной среднему числу событий за единицу времени. Таким образом, для потока заявок, т. е. потока составов, λ равняется среднему количеству составов с контейнерами, прибывающих на терминал сквозного типа за единицу времени.

В терминах теории массового обслуживания рассматриваемый поток заявок является простейшим потоком, обладающим наиболее важными его свойствами (стационарностью, ординарностью и отсутствием последствия). Свойство стационарности характеризуется тем, что вероятностные характеристики, например интенсивность λ , не зависят от времени. Конечно же, совершенно стационарных потоков в природе не бывает, так как бывают ситуации, зависящие от времени года и т. д., но в разумном приближении можно считать наш поток заявок — поток составов — стационарным.

Свойство ординарности проявляется в том, что за отрезок времени $\Delta t \rightarrow 0$ в систему обслуживания может поступить не более одной заявки. Это вполне разумное предположение относительно нашего потока заявок — потока составов.

Отсутствие последствия можно интерпретировать следующим образом: число событий, поступивших в систему после произвольного момента времени t , не зависит от того, сколько их поступило до момента t . Это также вполне разумное предположение относительно потока составов с контейнерами.

В ситуации, когда СМО — это контейнерный терминал сквозного типа, а заявки — прибывающие на терминал составы с контейнерами, предполагаем, что отказов нет и имеется очередь. В реальности невозможно накопление бесконечного количества ожидающих составов, так как система обязательно имеет «накопитель», который может вместить только определенное число заявок. Кроме того, в модели СМО является однолинейной, так как группу механизмов, обслуживающих контейнерный терминал, следует рассматривать как один совокупный обслуживающий аппарат, а состав с контейнерами, состоящий из некоторого количества вагонов, — как одну (групповую) заявку.

Заметим, что время обслуживания одной заявки $t_{\text{об}}$ (время обработки одного состава с контейнерами) является случайной величиной. Причиной этого служит то, что даже если время на переработку одного контейнера всегда одинаково, что на самом деле уже является довольно идеалистическим предположением, то время обслуживания состава все равно является случайной величиной, так как оно зависит от числа

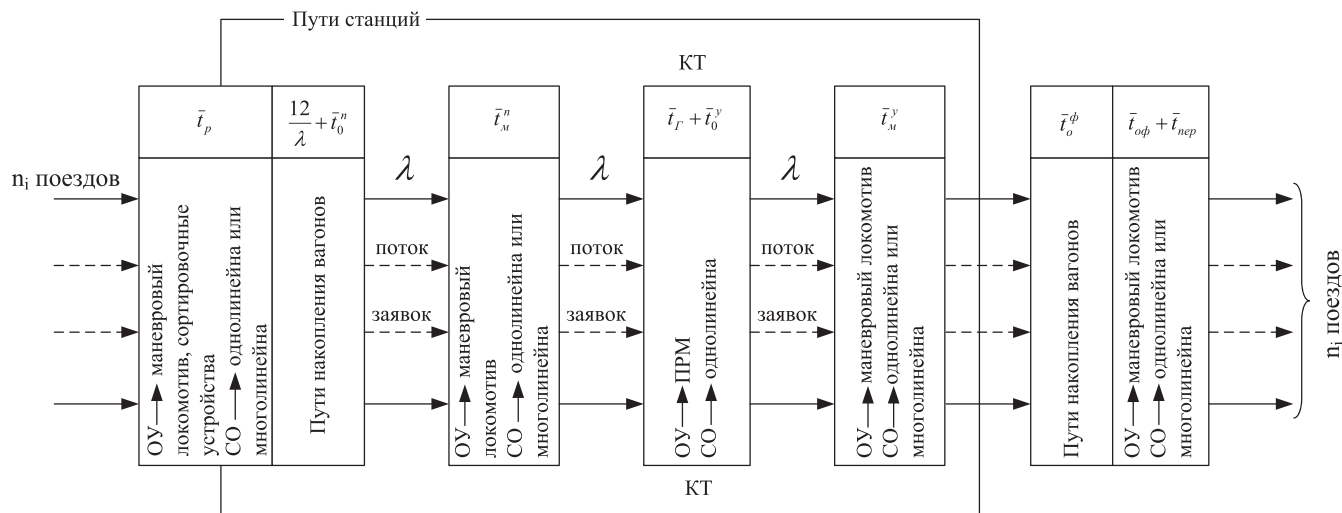


Рисунок 1 — Стандартная модель многофазной СМО, обслуживающей контейнерный терминал

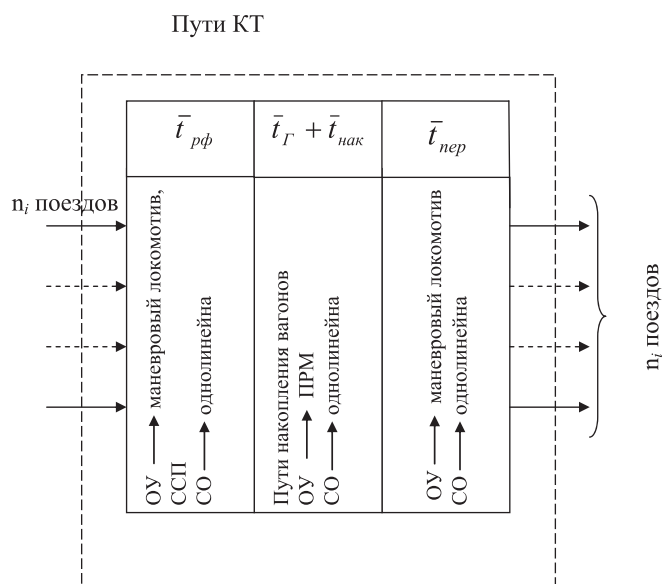


Рисунок 2 — Предлагаемая модель многофазной СМО, обслуживающей терминал сквозного типа с поточной обработкой контейнеров

контейнеров, а это число меняется от состава к составу случайным образом.

Ниже рассмотрим случай, когда время обслуживания имеет показательное распределение. Этот случай наиболее прост для изучения, а с другой стороны, наиболее часто встречается на практике (наиболее вероятная оценка, которая отождествляется при расчетах с модой распределения времени).

Таким образом, функция распределения $F(t)$, представляющая собой вероятность того, что продолжительность обслуживания не превышает величину t , имеет следующий вид:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t},$$

где μ — величина, обратная времени обслуживания.

Известно, что для показательного распределения математическое ожидание и дисперсия равны $\frac{1}{\mu}$, что можно легко

показать непосредственным вычислением. Это значит, что если t_{cp} обозначает среднее время обслуживания, т. е. среднее время обработки одного состава, то тогда имеется соотноше-

ние $t_{cp} = \frac{1}{\mu}$, откуда следует, что параметр μ может быть найден

по формуле $\mu = \frac{1}{t_{cp}}$.

Любая СМО характеризуется также своими состояниями. Состояние характеризует текущую ситуацию: занятость канала, а также количество заявок в очереди.

Так как в нашем случае имеется однолинейная СМО с неограниченной очередью, то наша система имеет счетное количество состояний, которые обозначим через P_0, P_1, P_2, \dots . Эти обозначения соответствуют таким состояниям:

P_0 — канал свободен, заявок нет (т. е. составов нет);

P_1 — канал занят, очередь пуста (т. е. один состав обрабатывается, других нет);

P_2 — канал занят, в очереди одна заявка (т. е. один состав обрабатывается, а еще один ждет обработки) и т. д.

Для перехода из одного состояния в другое необходимо, чтобы за это время либо была обслужена заявка, либо чтобы пришла новая заявка. В силу ординарности потока заявок и потока обслуживаний вероятность того, что за время Δt поступит более одной заявки или будет обслужено более одной заявки, пренебрежимо мала, точнее, она равна $0(\Delta t)$ при $\Delta t \rightarrow 0$. Вероятность того, что придет одна заявка, равна $\lambda \Delta t + 0(\Delta t)$. Вероятность того, что будет обслужена одна заявка, равна $\mu \Delta t + 0(\Delta t)$.

Таким образом, за достаточно малое время Δt рассматриваемая СМО из состояния P_i с точностью до $0(\Delta t)$ перейдет с вероятностью $\lambda \Delta t + 0(\Delta t)$ в состояние P_{i+1} (при $i \neq 0$); с вероятностью $\mu \Delta t + 0(\Delta t)$ в состояние P_{i-1} ; с вероятностью $1 - \lambda \Delta t - \mu \Delta t + 0(\Delta t)$ СМО останется в прежнем состоянии [5 — 7].

Заметим, что для данной постановки задачи нет необходимости определять вероятности нахождения системы в каждом из состояний в каждый момент времени. В свою очередь, важно определить характеристики стационарного режима, в ко-

торый выходит СМО (контейнерный терминал сквозного типа) через какое-то время. При этом в качестве математического аппарата для изучения СМО выбраны дифференциальные уравнения Колмогорова.

Стационарный режим характеризуется финальными вероятностями состояний

$$p_k = \lim_{t \rightarrow \infty} p_k(t).$$

Найти финальные вероятности гораздо проще, чем значения вероятностей состояний при произвольном времени. В самом деле, заметим, что так как при $t \rightarrow \infty$ вероятности состояний $p_k(t)$ стремятся к константам p_k , то их производные

$\frac{dp_k(t)}{dt}$ стремятся к нулю. Из этого следует, что система уравнений Колмогорова, являющаяся системой обыкновенных дифференциальных уравнений, превращается в следующую систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} 0 &= \mu p_1 - \lambda p_0; \\ 0 &= \lambda p_0 + \mu p_2 - (\lambda + \mu) p_1; \\ &\dots \\ 0 &= \lambda p_{k-1} + \mu p_{k+1} - (\lambda + \mu) p_k. \end{aligned}$$

Заметим, что из первого уравнения следует, что

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0 = \rho p_0.$$

Величина ρ определяет уровень загрузки обслуживающих устройств, приведенную интенсивность потока заявок, определяющую среднее количество составов, прибывающих на контейнерный терминал сквозного типа, за среднее время обработки одного состава.

Подставив это выражение во второе уравнение, получим, что

$$0 = \lambda p_0 + \mu p_2 - (\lambda + \mu) \frac{\lambda}{\mu} p_0,$$

откуда следует после упрощения и деления на μ , что

$$p_2 = \frac{\lambda^2}{\mu^2} p_0 = \rho^2 p_0.$$

Продолжая эту процедуру, по индукции получим формулы

$$p_k = \frac{\lambda^k}{\mu^k} p_0 = \rho^k p_0.$$

Чтобы теперь найти финальные вероятности, надо применить равенство единицы суммы вероятностей всех состояний. Получим тождество

$$1 = p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + \dots = p_0(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots).$$

При этом в скобках стоит сумма геометрической прогрессии, равная $\frac{1}{1-\rho}$. Из этого следует, что

$$1 = p_0 \frac{1}{1-\rho},$$

откуда:

$$p_0 = 1 - \rho = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \lambda t_{cp};$$

$$p_k = \rho^k (1 - \rho) = \frac{\lambda^k}{\mu^k} (1 - \frac{\lambda}{\mu}) = \lambda^k t_{cp}^k (1 - \lambda t_{cp}).$$

Знание финальных вероятностей позволяет найти выражения для интересующих нас величин, упомянутых выше, после выхода в стационарное положение. При этом необходимо отметить, что если $\rho < 1$, то при любых начальных вероятностях состояний $p_k(0)$ система переходит в стационарный режим. Если $\rho \geq 1$, то очередь неограниченно растет и перехода в стационарный режим не происходит.

Таким образом, для условия перехода в стационарный режим необходимо соблюдение неравенств $\rho < 1$ или, что то же самое, $\lambda < \mu$.

Обозначим через $n_{сум}$ среднее число составов на контейнерном терминале сквозного типа — как обрабатываемых, так и находящихся в ожидании. В свою очередь, это математическое ожидание случайной величины, равной количеству заявок в системе, а это количество с вероятностью p_0 равно 0, с вероятностью p_1 равно 1 и вообще с вероятностью p_k равно k . Поэтому получаем формулу

$$n_{сум} = 0p_0 + 1p_1 + \dots + kp_k + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} kp_k.$$

Подставив полученные выше выражения для финальных вероятностей p_k , получаем

$$n_{сум} = \sum_{k=1}^{\infty} k \rho^k (1 - \rho).$$

Чтобы найти данную сумму, пределаем следующее преобразование;

$$n_{сум} = \rho(1 - \rho) \sum_{k=1}^{\infty} k \rho^{k-1} = \rho(1 - \rho) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{d}{d\rho} \rho^k = \rho(1 - \rho) \frac{d}{d\rho} \sum_{k=1}^{\infty} \rho^k.$$

Так как полученная сумма равна сумме геометрической прогрессии, которая известна, получаем

$$n_{сум} = \rho(1 - \rho) \frac{d}{d\rho} \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}.$$

Обозначим через τ среднее время пребывания состава на контейнерном терминале сквозного типа. При этом, согласно формуле Литтла, справедливой для любого потока заявок и любого распределения времени обслуживания заявки,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} n_{сум}, \text{ т. е. среднее время пребывания в системе равно}$$

среднему количеству заявок в системе, деленному на интенсивность входного потока.

Пользуясь формулой Литтла, получаем формулу

$$\tau = \frac{\rho}{\lambda(1 - \rho)} = \frac{1}{\mu - \lambda}.$$

Обозначим через $P_{зан}$ вероятность того, что терминал обрабатывает состав (вероятность того, что канал занят). При этом канал занят в любом состоянии, кроме P_0 , поэтому

$$P_{зан} = 1 - p_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Обозначим через $n_{обс}$ среднее число обслуживаемых составов. Аналогично предыдущей формуле можно видеть, что имеет место формула

$$n_{обс} = \rho.$$

Обозначим через n_o среднее число составов, находящихся в ожидании обслуживания. Очевидно, что имеет место формула

$$n_o = n_{сист} - n_{обс} = \frac{\rho}{\rho - 1} - \rho = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}.$$

Обозначим через $t_{ожс}$ среднее время пребывания составов в ожидании обслуживания. Чтобы найти эту величину, удобно воспользоваться второй формулой Литтла $t_{ожс} = \frac{1}{\lambda} n_o$. Из этой

формулы следует, что

$$t_{ожс} = \frac{\rho^2}{\lambda(1 - \rho)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}.$$

Полученные в исследовании аналитические зависимости были использованы при проведении сравнительной оценки затрат времени по моделируемым вариантам стандартного и предлагаемого технологических процессов работы контейнерного терминала. В свою очередь, результаты расчетов показали, что при прочих равных условиях продолжительность обработки состава с контейнерами с применением поточной технологии на 37,3% меньше, чем по варианту с использованием традиционной технологии. Указанное сокращение времени связано со снижением простоев составов с контейнерами под операциями ожидания подачи и уборки на/с контейнерный/ого терминал/а; подачи и уборки вагонов на/с контейнерный/ого терминал/а; повторной рассортировки вагонов с контейнерами и окончания формирования.

Таким образом, с использованием предложенной модели контейнерного сервиса выявлены резервы повышения скорости доставки контейнеров, заключающиеся в сокращении времени их нахождения на контейнерном терминале и обслуживающей его станции за счет использования наиболее «быстрого» технологического способа обработки.

Литература

1. Москвичева Е.Е., Москвичев О.В. Сквозные терминалы с поточной обработкой контейнеров // Железнодорожный транспорт. 2010. № 3. С. 21 — 24.
2. Смехов А.А. Математические модели процессов грузовой работы. М.: Транспорт, 1982. 256 с.
3. Шабалин Н.Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станции. М.: Транспорт, 1973. 184 с.
4. Сотников И.Б. Эксплуатация железных дорог (в примерах и задачах): учебное пособие для вузов и техникумов ж.-д. транспорта. М.: Транспорт, 1978. 232 с.
5. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М.: Советское радио, 1972. 520 с.
6. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения. М.: Мир, 1965. 302 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

References

1. Moskvicheva E.E., Moskvichev O.V. Skvoznye terminaly s potochnoj obrabotkoj kontejnerov // Zheleznodorozhnyj transport. 2010. № 3. S. 21–24.
2. Smekhov A.A. Matematicheskie modeli protsessov gruzovoj raboty. M.: Transport, 1982. 256 s.
3. Shabalin N.N. Optimizatsiya protsessa pererabotki vagonov na stantsii. M.: Transport, 1973. 184 s.
4. Sotnikov I.B. Ekspluatatsiya zheleznykh dorog (v primerakh i zadachakh): Uchebnoe posobie dlya vuzov i tekhnikumov zh.-d. transporta. M.: Transport, 1978. 232 s.
5. Saati T.L. Elementy teorii massovogo obsluzhivaniya i ego prilozheniya. M.: Sovetskoe radio, 1972. 520 s.
6. Kofman A., Kryuon R. Massovoe obsluzhivanie. Teoriya i prilozheniya. M.: Mir, 1965. 302 s.
7. Venttsel E.S. Teoriya veroyatnostej. M.: Nauka, 1969. 576 s.

УДК 625.072

Александр Геннадьевич Васильев, аспирант кафедры «Экономики и управления на предприятиях транспорта», Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ, Екатеринбург),
Рудольф Николаевич Ковалев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономики и управления на предприятиях транспорта», Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ, Екатеринбург)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА АВТОБУСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ПЕРЕВОЗКИ ПассаЖИРОВ МЕЖДУГОРОДНЫХ РЕЙСОВ

Alexander G. Vasilyev, post-graduate student of «Economy and government of transport business» department of the Ural State Forestry Engineering University (USFEU),
Rudolf N. Kovalev, DSc, professor, Head of «Economy and government of transport business» Department of the Ural State Forestry Engineering University (USFEU)

Calculation method of required buses quantity to meet the needs in passenger intercity bus transportation

Аннотация

Неэффективное использование вместимости подвижного состава, выполняющего перевозку пассажиров по регулярным автобусным маршрутам, способствует завышенной себестоимости перевозки одного пассажира. Отсутствие методик оптимизации необходимого количества подвижного состава различных классов приводит к стихийному характеру организации пассажирских перевозок. Авторами разработана модель определения необходимого количества автобусов различных классов в зависимости от пассажиропотока и экономических показателей работы подвижного состава. Предложенная методика апробирована на примере Северного автовокзала Екатеринбурга.

Ключевые слова: пассажирские автомобильные перевозки, симплексный метод, количество подвижного состава, оптимизационная модель, себестоимость перевозки пассажиров, эластичность спроса.

Annotation

Inefficient use of the capacity of a rolling stock, which performs passengers' transportation on regular bus routes, contributes to inflated prime cost per passenger. Lack of optimization techniques of required number of different class rolling stock leads to the spontaneous nature of passenger transportation organization. The author developed a model for defining the required number of buses of different classes, depending on traffic flow and economic performance of the rolling stock. The proposed method was tested on the example of the Northern bus station in Yekaterinburg.

Key words: Passenger transportation by road, the simplex method, the number of rolling stock; optimization model, prime cost of passenger transportation; elasticity of demand.

Актуальность задачи. Исследования показателей временной неравномерности пассажиропотока, а также его сопоставление с вместимостью подвижного состава на автовокзалах показывают низкую эффективность использования последнего. В настоящее время на большинстве направлений пассажирских перевозок количество единиц подвижного состава и их суммарная пассажироместимость превышают значение пассажиропотоков, что ведет к росту себестоимости перевозки одного пассажира и ухудшению социального климата в регионах. Так, проведенные по методике [1, 2] расчеты зависимости спроса от изменения тарифов свидетельствуют о том, что увеличение тарифов на 1% приводит к снижению спроса на 0,42%. Повышение доступности услуг транспортного комплекса для населения — одна из целей инновационного развития России [3]. Таким образом, до сих пор малоизученными остаются вопросы снижения себестоимости перевозки одного пассажира, определения необходимого количества автобусов различных классов на междугородных и пригородных маршрутах.

Постановка задачи. Сокращение необоснованных издержек возможно за счет расчета оптимального количества автобусов, необходимых для перевозки пассажиров на существующей маршрутной сети. Поэтому основная задача исследований состоит в разработке методики определения требуемого количества автобусов различных классов в зависимости от пассажиропотока.

Методы решения. Воспользуемся методами составления математической модели оптимизации отыскиваемых параметров. В качестве целевой функции используем выражение, определяющее условие минимизации количества пассажирских транспортных средств различной вместимости, применяя симплексный способ решения линейных оптимизационных моделей на основе программы MS Excel.

Принятые предположки. Для решения поставленной задачи была разработана математическая модель оптими-

зации числа пассажирских транспортных средств, которая позволяет определить их минимальное количество с учетом необходимости снижения загрузки автовокзалов и обеспечения потребностей в пассажирских перевозках на автомобильном транспорте. В качестве целевой функции предложено выражение, определяющее условие минимизации количества пассажирских транспортных средств большой, средней и малой вместимости, используемых при перевозке пассажиров и багажа на пригородном и междугородном направлении,

$$F = \sum_{k=1}^K (x_k^B + x_k^C + x_k^M) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где x_k^B, x_k^C, x_k^M — количество транспортных средств соответственно большой, средней и малой вместимости, обслуживающих каждое k -е направление (маршрут); K — количество направлений (маршрутов).

Подобная целевая функция, которая используется при оптимизации нагрузки автобусов на улично-дорожную сеть, общеизвестна [4, 5].

Исходными данными оптимизационной распределительной модели являются:

существующая транспортная сеть, имеющая K направлений (маршрутов), ед.;

фактический пассажиропоток Q_k на каждом k -м направлении (маршруте), пасс.;

вместимость подвижного состава $q^{B,C,M}$, используемого на маршрутной сети, пасс.

Требуется определить оптимальное количество транспортных средств большой, средней и малой вместимости, обслуживающих каждый k -й маршрут.

Поскольку целью функционирования пассажирского транспорта является полное удовлетворение потребностей пассажиров в транспортных перемещениях [6], рациональное количество автобусов должно соответствовать существующим пассажиропотокам. Поэтому на целевую функцию целесообразно наложить ограничение, которое обеспечивает условие перевозки всего существующего пассажиропотока

$$\begin{cases} q^B \cdot x_1^B + q^C \cdot x_1^C + q^M \cdot x_1^M \geq Q_1 \\ q^B \cdot x_2^B + q^C \cdot x_2^C + q^M \cdot x_2^M \geq Q_2 \\ \dots \\ q^B \cdot x_k^B + q^C \cdot x_k^C + q^M \cdot x_k^M \geq Q_k \end{cases} \quad (2)$$

Помимо обеспечения условия перевозки всего существующего пассажиропотока [7] необходимо получить экономический эффект, снизив себестоимость пассажирских перевозок. Для этого вводим дополнительное условие

$$\begin{cases} z^B \cdot x_1^B + z^C \cdot x_1^C + z^M \cdot x_1^M \leq Z_1 \\ z^B \cdot x_2^B + z^C \cdot x_2^C + z^M \cdot x_2^M \leq Z_2 \\ \dots \\ z^B \cdot x_k^B + z^C \cdot x_k^C + z^M \cdot x_k^M \leq Z_k \end{cases} \quad (3)$$

где $z^{B,C,M}$ — коэффициент, учитывающий себестоимость перевозки на расстояние 1 км для автобусов различных классов, руб./км;

Z_k — коэффициент, показывающий существующую себестоимость перевозки пассажиров на расстояние 1 км, руб./км.

Решение. Описанная модель решается симплексным методом решения линейных оптимизационных моделей на основе программы MS Excel [8, 9].

Апробация модели производилась на Северном автовокзале Екатеринбурга. В соответствии с существующей маршрутной сетью с Северного автовокзала отправляются автобусы по шести направлениям. Для каждого направления на основании данных за 2008 — 2009 гг. был определен средний часовой пассажиропоток с величиной достоверности аппроксимации: для Северного направления — 0,86; Челябинского — 0,61; Полевского — 0,71; Сибирского — 0,71; Режевского — 0,8; Московского — 0,89. Данные по пассажиропотокам представлены в табл. 1.

Таблица 1 — Значение средних часовых пассажиропотоков, пасс.

Интервал времени	Направление					
	Московское	Полевское	Режевское	Северное	Сибирское	Челябинское
0 — 1	0	0	0	0	0	0
1 — 2	0	0	0	0	0	0
2 — 3	0	0	0	0	0	0
3 — 4	0	0	0	25	0	0
4 — 5	0	0	0	4	0	0
5 — 6	0	0	0	0	0	4
6 — 7	0	0	14	37	0	26
7 — 8	50	7	61	85	52	44
8 — 9	133	25	113	56	96	50
9 — 10	152	16	155	110	96	24
10 — 11	150	15	123	156	100	84
11 — 12	145	14	156	89	86	55
12 — 13	182	17	143	265	93	53
13 — 14	169	20	159	228	130	47
14 — 15	213	35	121	271	115	27
15 — 16	234	19	161	211	140	77
16 — 17	214	18	167	309	34	26
17 — 18	221	14	119	223	185	31
18 — 19	152	22	206	215	124	37
19 — 20	194	17	108	213	101	22
20 — 21	142	8	99	131	66	65
21 — 22	70	7	46	82	61	19
22 — 23	23	0	47	53	10	13
23 — 24	0	0	0	31	0	0

Автотранспортными предприятиями используется подвижной состав с установленной пассажироместимостью. Для решения оптимизационной задачи принимаем значения пассажироместимости в зависимости от класса:

для малой вместимости $q^M = 15$ пасс.;
 для средней вместимости $q^C = 25$ пасс.;
 для большой вместимости $q^B = 40$ пасс.

По методике [10] определены значения коэффициентов, учитывающих себестоимость перевозки на расстояние 1 км для автобусов малой (ГАЗ-32213), средней (ПАЗ-3205) и большой (ЛАЗ-699) вместимости: $z^M = 12$ руб./км; $z^C = 20$ руб./км; $z^B = 24$ руб./км.

На основании утвержденного расписания движения автобусов информация о количественном распределении транспортных средств по часам суток, осуществляющих перевозку пассажиров и багажа, представлена в табл. 2.

Определим значения коэффициентов, учитывающих себестоимость перевозки, по формуле

$$Z_k = z^B \cdot x_k^B + z^C \cdot x_k^C + z^M \cdot x_k^M. \quad (4)$$

Полученные значения приведены в табл. 3.

Рассмотрим данную модель для Московского направления в интервале с 8 до 9 часов. Значение ограничения обеспечения полноты перевозки

$$40 \cdot x_k^B + 25 \cdot x_k^C + 15 \cdot x_k^M \geq 133.$$

Ограничение себестоимости перевозки

$$24 \cdot x_k^B + 20 \cdot x_k^C + 13 \cdot x_k^M \leq 244.$$

Модель решается с помощью симплексного метода, описанного в [11]. Поставленная задача может быть рационально решена с использованием программы MS Excel. Модель представлена в виде табл. 4.

Оптимальные значения появляются в полях B5:D5.

Подобным образом определяют необходимое количество автобусов по другим направлениям для всех дней недели

Таблица 2 — Распределение автобусов различных классов по часам суток и направлениям

Интервал времени	Направление																	
	Московское			Полевское			Режевское			Северное			Сибирское			Челябинское		
	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б
0 — 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1 — 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 — 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 — 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4 — 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5 — 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6 — 7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1	1
7 — 8	1	2	1	1	0	0	4	2	0	2	0	2	2	2	0	1	0	1
8 — 9	2	5	5	4	0	0	4	3	0	2	1	0	2	3	1	2	1	0
9 — 10	0	6	6	2	0	0	2	4	1	5	2	1	3	4	0	3	0	0
10 — 11	3	4	7	2	0	0	2	4	1	3	4	2	1	4	1	3	2	0
11 — 12	0	3	4	2	0	0	3	3	1	4	3	0	1	5	0	2	1	1
12 — 13	0	5	4	2	0	0	2	3	0	5	5	2	2	2	0	2	0	1
13 — 14	1	4	4	2	0	0	3	3	0	7	2	2	2	4	1	3	1	1
14 — 15	0	6	5	3	0	0	1	4	1	7	2	2	0	4	2	1	0	2
15 — 16	2	4	4	2	0	0	1	5	1	5	3	2	2	3	1	5	1	1
16 — 17	1	6	6	2	0	0	2	4	3	4	4	5	1	2	0	1	0	2
17 — 18	1	6	4	2	0	0	5	1	2	5	3	3	2	6	1	1	0	1
18 — 19	0	3	5	2	0	0	3	3	2	7	2	3	1	4	0	2	1	1
19 — 20	2	4	4	2	0	0	3	4	0	6	2	2	2	3	1	2	0	0
20 — 21	0	5	3	1	0	0	3	2	1	6	2	0	1	3	0	3	2	0
21 — 22	1	3	2	1	0	0	1	2	0	3	2	1	0	3	0	1	1	0
22 — 23	1	2	0	0	0	0	0	3	0	2	1	1	0	2	0	0	1	0
23 — 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3 — Значения коэффициентов, учитывающих себестоимость для существующей системы, руб./км

Интервал времени	Направление					
	Московское	Полевское	Режевское	Северное	Сибирское	Челябинское
0 — 1	0	0	0	12	0	0
1 — 2	0	0	0	0	0	0
2 — 3	0	0	0	0	0	0
3 — 4	0	0	0	24	0	0
4 — 5	0	0	0	12	0	0
5 — 6	0	0	0	0	0	20
6 — 7	0	0	12	36	0	68
7 — 8	76	12	88	72	64	36
8 — 9	244	48	108	44	108	44
9 — 10	264	24	128	124	116	36
10 — 11	284	24	128	164	116	76
11 — 12	156	24	120	108	112	68
12 — 13	196	24	84	208	64	48
13 — 14	188	24	96	172	128	80
14 — 15	240	36	116	172	128	60
15 — 16	200	24	136	168	108	104
16 — 17	276	24	176	248	52	60
17 — 18	228	24	128	192	168	36
18 — 19	180	24	144	196	92	68
19 — 20	200	24	116	160	108	24
20 — 21	172	12	100	112	72	76
21 — 22	120	12	52	100	60	32
22 — 23	52	0	60	68	40	20
23 — 24	0	0	0	32	0	0

(табл. 5). Данные по расчету общего количества автобусов, необходимых для обеспечения перевозки пассажиров до и после оптимизации, представлены на рис. 1 — 6.

Анализ результатов решения задачи оптимизации необходимого количества автобусов для выполнения перевозки пассажиров и багажа по существующей маршрутной сети Северного автовокзала Екатеринбурга показал, что в настоящее время на маршрутной сети существует избыток количества автобусов. Таким образом, можно сократить среднесуточное количество автобусов на 48% (с 569 до 295), что позволит повысить коэффициент использования вместимости подвижного состава и сократить себестоимость перевозки одного пассажира, а соответственно и тарифа на его перевозку.

Выводы. На основании оптимизационной модели, используя программное обеспечение MS Excel, разработана методика определения необходимого количества автобусов различных

классов, а также произведен расчет требуемого количества единиц подвижного состава по часам суток для Северного автовокзала Екатеринбурга. Предлагаемая методика позволяет оптимизировать количество автобусов, необходимых для перевозки пассажиров на существующей маршрутной сети из конкретного отправного пункта. При оптимизации маршрутной сети в целом необходимо учитывать потребность в автобусах различных классов, отправляющихся в обратном направлении. Также возможно внесение дополнительных ограничений в зависимости от имеющегося подвижного состава и интервалов его движения. Применение предлагаемой модели совместно с методом искусственного распределения пассажиропотока позволит значительно повысить эффективность использования подвижного состава автовокзалами России [12, 13].

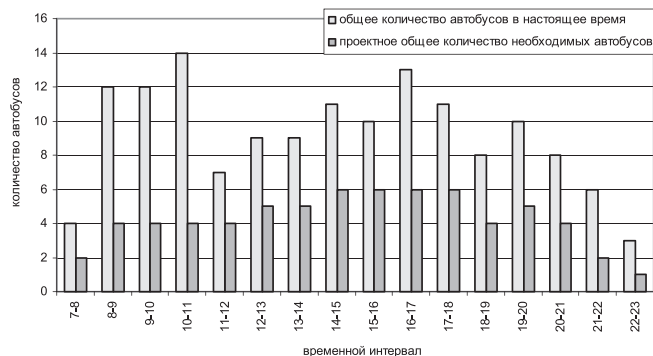


Рисунок 1 — Диаграмма сопоставления модели с существующей системой для Московского направления

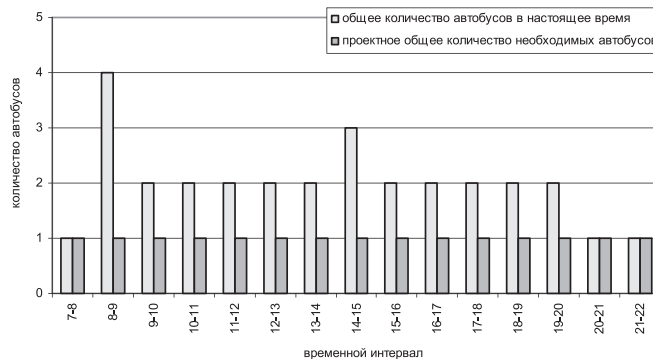


Рисунок 2 — Диаграмма сопоставления модели с существующей системой для Полевского направления

Таблица 4 — Параметры математической модели, описанной в MS Excel

	A	B	C	D	E	F
1	Марки автобусов					
2	Параметры по маркам автобусов	малый	средний	большой	Ограничения	Левая часть уравнения
3	Пассажировместимости	15	25	40	133	135
4	Себестоимость 1 км пробега	12	20	24	244	84
5	Необходимое количество автобусов	1	0	3		
6	4					
7						
8						

Таблица 5 — Необходимое количество автобусов различных классов по часам суток и направлениям

Таблица 4 — Параметры математической модели, описанной в MS Excel	Направление																	
	Московское			Полевское			Режевское			Северное			Сибирское			Челябинское		
	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б	М	С	Б
0 — 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 — 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 — 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 — 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4 — 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5 — 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6 — 7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
7 — 8	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	1	1	0	1	1	0	1
8 — 9	1	0	3	0	0	1	0	0	3	0	1	1	0	1	2	1	0	1
9 — 10	0	0	4	0	1	0	0	0	4	0	0	3	0	1	2	0	1	0
10 — 11	0	0	4	1	0	0	0	2	2	0	0	4	0	1	2	0	2	1
11 — 12	0	0	4	1	0	0	0	0	4	0	2	1	0	2	1	0	1	1
12 — 13	0	1	4	0	1	0	0	0	4	0	0	7	1	0	2	1	0	1
13 — 14	0	2	3	0	1	0	0	0	4	0	0	6	1	0	3	0	2	0
14 — 15	1	0	5	0	0	1	0	2	2	0	0	7	0	0	3	0	0	1
15 — 16	0	0	6	0	1	0	0	2	3	1	0	5	0	1	3	0	0	2
16 — 17	1	0	5	0	1	0	0	2	3	0	0	8	0	0	1	0	0	1
17 — 18	0	1	5	1	0	0	0	0	3	0	1	5	0	0	5	0	0	1
18 — 19	0	0	4	0	1	0	0	2	4	0	1	5	0	2	2	0	0	1
19 — 20	0	0	5	0	1	0	0	0	3	1	0	5	0	1	2	0	1	0
20 — 21	0	1	3	1	0	0	0	1	2	1	0	3	0	0	2	0	0	2
21 — 22	0	0	2	1	0	0	0	2	0	0	2	1	0	1	1	0	1	0
22 — 23	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
23 — 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

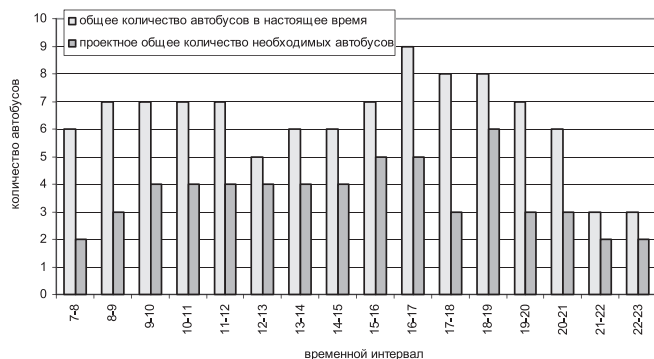


Рисунок 3 — Диаграмма сопоставления модели с существующей системой для Режевского направления

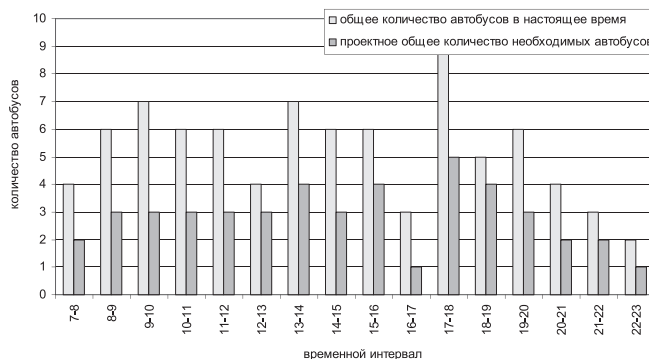


Рисунок 5 — Диаграмма сопоставления модели с существующей системой для Сибирского направления

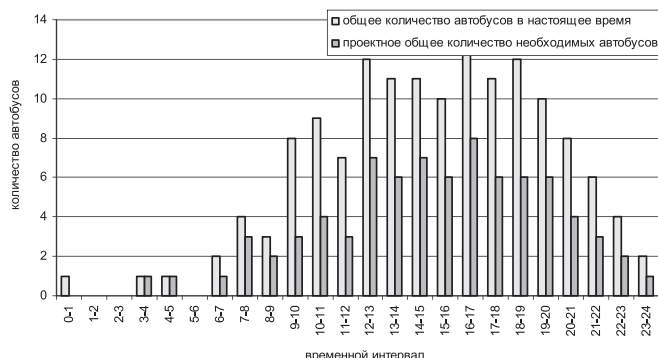


Рисунок 4 — Диаграмма сопоставления модели с существующей системой для Северного направления

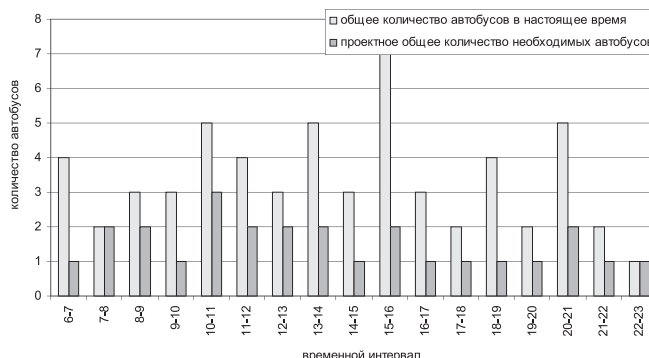


Рисунок 6 — Диаграмма сопоставления модели с существующей системой для Челябинского направления

Литература

1. Комаристый Е.Н. Информационно-модельный комплекс для исследования рынка гражданских авиаперевозок. Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2006. 144 с.
2. Васильев А.Г., Чернышев С.С., Ильяшенко С.Ю. Определение эластичности спроса на услуги пассажирских автомобильных перевозок в Свердловской области // Транспортные и транспортно-технологические системы : матер. Междунар. науч.-техн. конф. Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. С. 42 — 46.
3. Мишарин А.С. Инструменты формирования и реализации стратегических направлений развития транспортного комплекса в Российской Федерации // Транспорт Урала. 2008. № 2 (17). С. 2 — 9.
4. Пыталева О.А. Анализ и систематизация факторов, влияющих на параметры городских транспортных потоков // Транспорт Урала. 2009 № 4 (23). С. 19 — 21.
5. Пыталева О.А. Определение оптимального количества транспортных средств городского пассажирского транспорта // Вестник УрГУПС. 2009 № 3 — 4. С. 124 — 126.
6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года : утверждена Приказом Минтранса РФ от 12.05.05 № 45.
7. Плахотич С.А., Чегоданова К.Е. Новые технологии транспортного обслуживания населения в промышленно-городской агломерации // Вестник УрГУПС. 2010. № 2. С. 14 — 21.
8. Минюк С.А., Ровба Е.А., Кузьмич К.К. Математические методы и модели в экономике. Минск : ТетраСистемс, 2002. 432 с.
9. Фомин Г.П. Математические методы и модели в коммерческой деятельности. М. : Финансы и статистика, 2005. 616 с.
10. Фадеев А.И. Методические рекомендации по формированию расчетных тарифов для регулярных автобусных перевозок. Красноярск : КГТУ, 2008. 36 с.
11. Рахмангулов А.Н. Методы оптимизации транспортных процессов. Магнитогорск : МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. 114 с.
12. Васильев А.Г., Чернышев С.С., Ильяшенко С.Ю. Использование искусственного распределения пассажиропотоков по рейсам для повышения эффективности использования подвижного состава // Транспортные и транспортно-технологические системы : матер. Междунар. науч.-техн. конф. Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. С. 38 — 41.
13. Васильев А.Г., Чернышев С.С., Ильяшенко С.Ю. Искусственное распределение пассажиропотоков по рейсам как метод повышения рентабельности и эффективности использования подвижного состава // Вопросы проектирования и эксплуатации наземного колесного транспорта : межвузовский сб. науч. тр. Тверь : ТГТУ, 2010. С. 105 — 108.

References

1. Komaristyy E.N. Informatsionno-model`nyy kompleks dlya issledovaniya rynka grazhdanskikh aviaperevozok. Novosibirsk: IEOPP SO RAN, 2006.144 s.
2. Vasil`ev A.G., Chernyshev S.S., Il`yashenko S.YU. Opredelenie elastichnosti sprosa na uslugi passazhirskikh avtomobil`nykh perevozok v Sverdlovskoy oblasti // Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: mater. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Tyumen` : TyumGNGU, 2010. S. 42 - 46.
3. Misharin A.S. Instrumenty formirovaniya i realizatsii strategicheskikh napravleniy razvitiya transportnogo kompleksa v Rossiyskoy Federatsii // Transport Urala. 2008 № 2(17). S. 2 - 9.
4. Pytaleva O.A. Analiz i sistematizatsiya faktorov, vliyayushchikh na parametry gorodskikh transportnykh potokov // Transport Urala. 2009 №4(23). S. 19-21.
5. Pytaleva O.A. Opredelenie optimal`nogo kolichestva transportnykh sredstv gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik UrGUPS. 2009 №3-4. S. 124-126.
6. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda (utverzhdena Priказom Mintransa RF ot 12.05.2005 g № 45).
7. Plakhotich S.A., Chemodanova K.E. Novye tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya v promyshlenno-gorodskoy aglomeratsii // Vestnik UrGUPS. 2010 №2. S.14-21.
8. Minyuk S.A., Rovba E.A., Kuz`mich K.K. Matematicheskie metody i modeli v ekonomike. Mn.: TetraSistems, 2002. 432 s.
9. Fomin G.P. Matematicheskie metody i modeli v kommercheskoy deyatel`nosti. M.: Finansy i statistika, 2005. 616 s.
10. Fadeev A.I. Metodicheskie rekomendatsii po formirovaniyu raschetnykh tarifov dlya regul'yarnykh avtobusnykh perevozok. Krasnoyarsk: KGTU, 2008. 36 s.
11. Rakhmangulov A.N. Metody optimizatsii transportnykh protsessov. Magnitogorsk: MGTU im. G.I. Nosova, 1999. 114 s.
12. Vasil`ev A.G., Chernyshev S.S., Il`yashenko S.YU. Ispol`zovanie iskusstvennogo raspredeleniya passazhiropotokov po reysam dlya povysheniya effektivnosti ispol`zovaniya podvizhnogo sostava // Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: mater. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Tyumen` : TyumGNGU, 2010. S. 38 - 41.
13. Vasil`ev A.G., Chernyshev S.S., Il`yashenko S.YU. Iskusstvennoe raspredelenie passazhiropotokov po reysam kak metod povysheniya rentabel`nosti i effektivnosti ispol`zovaniya podvizhnogo sostava // Voprosy proektirovaniya i ekspluatatsii nazemnogo kolesnogo transporta: mezhvuzovskiy sb. nauchn. trudov. Tver` : TGTU, 2010. S. 105 - 108.

УДК 656.212.2.073.21

Ольга Юрьевна Портнова, аспирант кафедры «Станции, узлы и грузовая работа», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЗАКРЕПЛЕННОЙ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Olga Yu. Portnova, PhD of "Stations, Junctions and Freight Work" department, the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg)

Oscillation simulation of fixed wheel equipment while railway transportation

Аннотация

В статье изложены результаты построения динамической модели колесной техники, размещенной на платформе, как одномассовой механической системы «платформа — упругие элементы — кузов колесной техники». На основе представления характера изменения вынуждающей силы в виде гармонического закона выведено уравнение вертикальных колебаний колесной техники с учетом упругих и диссипативных свойств системы (гибких элементах креплений из отожженной проволоки и шин). Полученные математические модели вертикальных колебаний колесной техники на вагоне позволяют определить вертикальное перемещение последней относительно вагона, по величине которого можно найти упругие силы в гибких элементах креплений с последующей оценкой их нагруженности либо по критерию допустимого значения этих сил, либо по критерию допустимого перемещения колесной техники.

Ключевые слова: колесная техника, гибкие элементы креплений, жесткость элементов креплений и шин, расчетная схема колесной техники, вертикальное перемещение колесной техники, усилие в элементах креплений.

Annotation

The article states the results of building a dynamic model of wheel equipment, set on the platform as a one-mass mechanical system "platform-springing element- wheel equipment body". Presenting the character of a driving force change as a harmonic law, an equation of vertical oscillations of wheel equipment with subject to elastic and dissipative system characteristics (flexible fastening elements from annealed wire and tyres) was deduced. The got mathematical models of vertical oscillations of wheel equipment on a car allow to define the vertical displacement of wheel equipment relative to the car, by the quantity of which the elastic forces in fastening elements with the consequent estimation of their loading can be found by the criterion of these forces' allowed value or by the criterion of wheel equipment valid dislocation.

Key words: wheel equipment, flexible fastening element, rigidity of fastening and tyres elements, wheel equipment design diagram, vertical dislocation of wheel equipment, force in fastening elements.

Постановка задачи. Известно [1, 2], что на открытом подвижном составе грузы (как твердотельные, так и колесные) удерживаются от сдвигов относительно пола вагона следующими устройствами обеспечения безопасности перевозки (средствами креплений): гибкими упругими (растяжки и обвязки) и упорными (упорные и распорные деревянные бруски) элементами. Причем упорные средства креплений прикрепляют к полу вагона крепежными изделиями (гвоздь) вплотную к торцевой и боковой поверхности груза, например к колесам колесной техники (в дальнейшем — КТ). Один из возможных вариантов непредусмотренной техническими условиями технологии размещения и крепления колесной техники, которая удерживается от перемещений под воздействием внешних сил относительно платформы гибкими и упорными средствами креплений, показан на рис. 1.

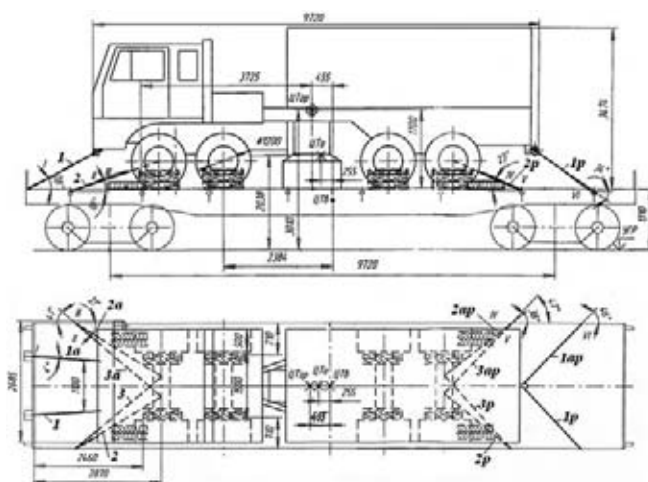


Рисунок 1 — Технология размещения и крепления КТ на вагоне:
1, 1а, ... , 3, 3а — гибкие элементы креплений одного направления;
1р, 1ар, ... , 3р, 3ар — гибкие элементы креплений другого направления

При этом ослабление (провисание) гибких упругих элементов креплений другого направления (см. рис. 1) и крепление упорных брусков к полу вагона на некотором расстоянии от колесной техники, согласно ТУ, не допускаются.

При разработке технологии креплений грузов в вагоне следует учесть, что расстройки средств креплений в пути следования поездов могут произойти из-за несовершенства методик их расчетов, где не учтены многие реальные факторы, такие как снижение давления в колесах, предварительное натяжение проволоки креплений и др.

Эти факторы оказывают существенное влияние на их транспортировку в пути следования. Например, в пути следования возможно снижение давления в колесах, в результате чего появляется нарушение средств креплений в виде провисания (ослабления) гибких элементов, которые приводят к оседанию колес, вследствие чего происходит опускание кузова перевозимой техники. При этом возможно нарушение размещения КТ относительно пола платформы, приводящее к созданию потенциально опасных ситуаций при перевозке.

В [3 — 5] изложены результаты разработки научно обоснованной рациональной технологии размещения и крепления грузов в вагонах от воздействия как плоской, так и пространственной системы сил, способствующей обеспечению безопасности движения и сохранности перевозки грузов.

В [6] построена идеализированная расчетная схема механической системы «платформа — упругие элементы — кузов колесной техники». Однако вовсе аналитически не исследованы вертикальные колебания колесной техники с учетом упругих и диссипативных сил колес, результаты которых могут быть использованы для определения сдвига груза и упругих сил (усилий) в креплениях.

В связи с этим исследование вертикальных колебаний колесной техники под действием сил периодического характера с учетом упругих и диссипативных свойств колес хотя бы в упрощенной постановке является актуальной задачей железнодорожного транспорта и транспортной науки.

Принятые допущения. Учитывая, что растяжки и/или обвязки, предназначенные для удержания груза от сдвига, формируются из отоженной проволоки, подвергаемой предварительному натяжению, величина которого находится в пределах от 15 до 25 кН, и при воздействии внешних сил могут испытывать значительные деформации, они моделируются гибкими упругими неударяющими связями. Допускаем, что такие связи, согласно аксиоме отвердевания геометрической статики, можно рассматривать как прямолинейные стержни, испытывающие одноосное растяжение. Следовательно, коэффициенты жесткости таких связей можно найти из зависимостей, соответствующих одноосному растяжению прямолинейного стержня [7]. Исходя из этого целью исследования является изучение не механики деформирования гибких упругих элементов креплений, а механики перемещения КТ от одноосного растяжения элементов креплений как прямолинейного стержня и от упругости шин колес.

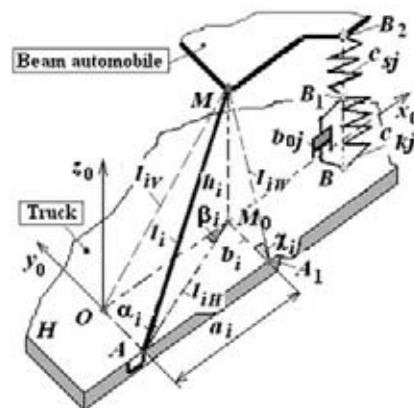


Рисунок 2 — Геометрия гибкого упругого элемента крепления

Представим геометрию гибких упругих элементов креплений КТ так, как показано на рис. 2 [6].

На рис. 2 используются следующие обозначения: A — стоечная скоба платформы; M — грузовая проушина (или крюк) колесной техники (КТ); AM — гибкий упругий элемент крепления КТ; l_i — длина элемента крепления; a_i , b_i и h_i — проекции упругих элементов креплений на продольную, поперечную и вертикальную оси; $i = 1, n_p$ — количество гибких упругих элементов креплений КТ; α_i — угол, образованный между длиной упругого элемента и ее проекцией l_{iH} на плоскость пола платформы; β_i — угол, образованный между проекцией упругого элемента на плоскость пола платформы и продольной осью Ox ; B — точка контакта колес КТ с полом платформы; B_1 — ось колес КТ (или соединение рессор с осью колес КТ); B_2 — точки на раме КТ, где рессоры соединены рамой; c_{sj} и b_{0j} — коэффициенты жесткости и вязкого сопротивления шин КТ; c_{sj} — коэффициент жесткости рессор КТ; $j = 1, n_k$ — количество колес и рессор КТ.

На основе рис. 2 получена расчетная схема КТ, размещенной на платформе, как механической системы «платформа — упругие элементы — кузов колесной техники» на колеблющемся основании (рис. 3). Здесь под понятия упругих элементов входят гибкие упругие элементы креплений, колеса и рессоры КТ.

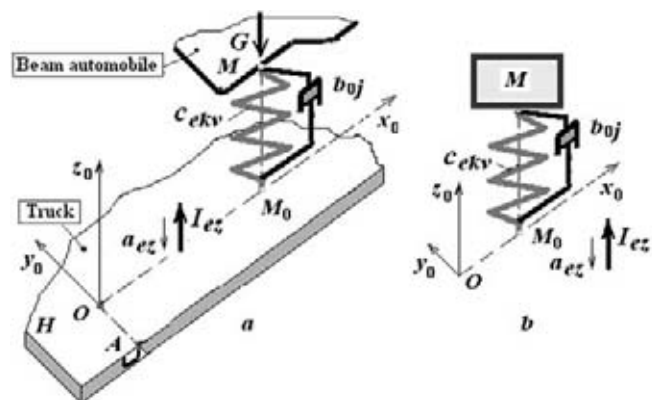


Рисунок 3 — расчетная схема колесной техники: а — кузов КТ, связанный с платформой упругим элементом и вязкой средой; б — схема КТ на колеблющемся основании

На рис. 3 обозначены: M и G — масса (см. рис. 3а) и сила тяжести (см. рис. 3б) кузова КТ; a_{ez} — переносное ускорение платформы, вызванное волной неровности пути; I_{ez} — переносная сила инерции.

Особо отметим, что нормативное значение переносного ускорения a_{ez} находится в пределах от 0,46 до 0,66g, и соответственно этому величина переносной силы инерции равна $I_{ez} = (0,46 — 0,66) G$ [4].

Решение. Пусть характер изменения вынуждающей силы имеет вид гармонического закона [8]

$$F = F_x = F_0 \sin(pt + \delta), \quad (1)$$

где F_0 — максимальная амплитуда, Н;
 $(pt + \delta)$ — фаза колебаний, рад;
 δ — начальная фаза, рад;
 p — частота возмущающей силы, рад/с,

$$p = \frac{2\pi}{T},$$

где T — период изменения возмущающей силы, с.

Для принятой расчетной схемы (см. рис. 2б) общеизвестен вид дифференциального уравнения относительного движения КТ [8]

$$\ddot{z} + 2b\dot{z} + k^2 z = a_0 \sin(pt + \delta), \quad (2)$$

где b — коэффициент сопротивления, имеющий размерность c^{-1} ;
 k — квадрат круговой частоты колебаний, рад/с,

$$k = \sqrt{\frac{c_{ekv}}{M}} \quad (3)$$

с учетом того что M — масса колесной техники, кг;

$$a_0 = \frac{F_0}{M} \text{ — максимальное ускорение, которое получает колес-}$$

ная техника согласно основному закону динамики [8] от действия на нее максимальной вынуждающей силы F_0 , м/с².

Сравнивая жесткости упругих элементов КТ ($c_{ekv} \sim 2000$ кН/м) и тележек вагона ($\sim 15 \cdot 10^6$ кН/м), убеждаемся, что КТ и вагон как колебательные системы весьма далеки от резонансного режима.

Общее решение неоднородного уравнения (2) при условии $b \ll k$ также имеет стандартный вид [5]

$$z = Ae^{-bt} \sin(\sqrt{k^2 - p^2}t) + B \sin(pt + \delta - \gamma), \quad (4)$$

где A и $\sqrt{k^2 - p^2} = k_1$ — соответственно амплитуда, м, и частота свободных затухающих колебаний, рад/с;

ζ — начальная фаза, рад;

B и γ — амплитуда, м, и сдвиг начальной фазы, рад, по сравнению с начальной фазой возмущающей силы δ ,

$$B = \frac{a_0}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4b^2 p^2}}; \gamma = \arctg\left(\frac{2bp}{k^2 - p^2}\right). \quad (5)$$

Из уравнения (4) видим, что движение колесной техники складывается из двух видов колебаний:

- первое слагаемое представляет собой свободное и затухающее колебания тела, которым можно пренебречь при движении подвижного состава на перегоне;
- второе слагаемое представляет собой вынужденное и не затухающее колебания колесной техники при наличии диссипативных свойств колес (см. (5)).

Особо отметим, что вынужденные колебания тела, обусловленные вынуждающими силами гармонического характера, при наличии диссипативных свойств колес также являются гармоническими, но искаженной формы, так как их амплитуда изменяется с течением времени, что согласуется с выводами [6]. Изменение величины и соответственно формы вынужденных колебаний происходит из-за того, что коэффициент диссипативных свойств колес b является подкоренным слагаемым знаменателя амплитуды B второго слагаемого уравнения (4).

Ввиду того что любая точка рамы КТ как твердотельного элемента перемещается на одну и ту же величину, по максимальной величине перемещения ($\Delta z = B$) рамы КТ, можно найти упругие силы на каждом гибком элементе креплений [3 — 7]

$$R_{\text{упр},i} = \frac{EA_i}{l_i} \Delta z \frac{h_i}{l_i} \leq [R_i], \quad (6)$$

где $[R_i]$ — допустимое значение упругих сил в креплениях, определяемое по ТУ в зависимости от количества нитей n_i и диаметра d_i проволоки креплений;

EA_i — жесткость элементов креплений как прямолинейного стержня, работающего на растяжение;

$A_i \in (d_i, n_i)$;

h_i — проекция гибких элементов креплений на вертикальную ось.

Анализ (6) показывает, что расчет достаточно вести только для короткого по длине (l_i) и высоте (h_i) элемента крепления, а не для всех, как в ТУ. Если условие (6) не соблюдается для таких элементов креплений, то возникнет вероятность их разрушения (разрыва).

В свою очередь, из (6) можно определить допустимое значение максимального перемещения рамы КТ по вертикали

$$[\Delta z] \geq \frac{l_i}{EA_i} \frac{l_i}{h_i} [R_i]. \quad (7)$$

Из последнего условия можно получить формулу проверочного расчета вертикального перемещения КТ

$$\Delta z = \frac{\Delta F_z}{c_{ekv}} \leq [\Delta z], \quad (8)$$

где ΔF_z — вертикальная сила, действующая на элементы креплений КТ ($\Delta F_z = G - I_{ez}$).

Таким образом, задачу оценки безопасности перевозок груза можно осуществить, сравнивая расчетное значение перемещения (сдвиг) груза в плоскости пола вагона (Δz) с допустимым значением ($[\Delta z]$), не прибегая к нахождению упругой силы R_i в каждом i -м элементе креплений, как это выполнят в ТУ.

Выводы. Полученные математические модели вертикальных колебаний колесной техники на вагоне позволяют определить максимальное значение перемещения (сдвига) КТ, по величине которого возможно нахождение упругих сил (усилия) в креплениях. При этом расчет достаточно вести только для короткого по длине (l_i) и высоте (h_i) элемента крепления, а не для всех, как в ТУ. Найдено условие, невыполнение которого приведет к вероятности разрушения (разрыва) короткого по длине элемента креплений. По допу-

стимому значению упругой силы каждого элемента крепления можно найти допустимое значение сдвига, по величине которого, в свою очередь, возможно выполнение проверочного расчета КТ.

Данный подход в перспективе может быть применен для составления математической модели колесной техники, размещенной в вагоне симметрично или же несимметрично относительно продольных и поперечных осей пересечения вагона.

Литература

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. М.: Юртранс, 2003. 544 с.
2. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». М.: Планета, 2005. 191 с.
3. Turanov Kh., Timuchina E. Analytical modeling cargoes displacement in wagon and tension in fastening // Silesian University of Technology // Transport Problems International Scientific Journal. 2008. V. 3. № 3. p. 69 — 76.
4. Туранов Х.Т. Теоретическая механика в задачах грузозовых перевозок: монография. Новосибирск: Наука, 2009. 376 с.
5. Туранов Х.Т., Оленцевич В.А. Моделирование технологии крепления груза в вагоне при воздействии пространственной системы сил // Транспорт Урала. 2010. № 2. С. 35 — 38.
6. Turanov Kh., Portnova O. Construction dynamical modeling of wheel machinery allocated on a flat-car // Silesian University of Technology // Transport Problems International Scientific Journal. 2010. V. 5. Issue 2.
7. Туранов, Х.Т., Тимухина Е.Н. Математическое моделирование сдвига груза при движении подвижного состава по кривому участку пути с учетом воздействия пространственной системы сил, включая силы инерции Кориолиса // Транспорт: Наука, техника и управление. 2011. № 3. С. 28 — 32.

References

1. Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov v vagonakh i kontejnerakh M.: Yurtrans, 2003. 544 s.
2. Prilozhenie 14 k SMGS «Pravila razmeshcheniya i krepneniya gruzov v vagonakh i kontejnerakh». M.: Planeta, 2005. 191 s.
3. Turanov Kh., Timuchina E. Analytical modeling cargoes displacement in wagon and tension in fastening //Transport Problems International Scientific Journal. Silesian University of Technology. Poland, 2008. T. 3, № 3. p. 69–76.
4. Tturanov Kh.T. Teoreticheskaya mekhanika v zadachakh gruzovykh perevozok : monografiya. Novosibirsk: Nauka, 2009. 376 s.
5. Turanov Kh.T., Olentsevich V. A. Modelirovanie tekhnologii krepnenij gruzov v vagone pri vozdeystvii prostranstvennoj sistemy sil // Transport Urala. 2010. № 2. S. 3538.
6. Turanov Kh., Portnova O. Construction dynamical modeling of wheel machinery allocated on a flat-car // Transport Problems International Scientific Journal. Silesian University of Technology. Poland, 2010. V. 5, Issue 2.
7. Turanov Kh. T., Ttimukhina E.N. Matematicheskoe modelirovanie sdviga gruzov pri dvizhenii podvizhnogo sostava po krivomu uchastku puti s uchjotom vozdeystviya prostranstvennoj sistemy sil, vkljuchaya sily inertsii Koriolisa // Transport: Nauka, tekhnika i upravlenie. 2011. № 3. S. 28–32.

УДК 656.212.2.073.21

Хабибулла Туранович Туранов, доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Елена Николаевна Тимухина, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Управление эксплуатационной работой», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЙ ГРУЗА С ПОДКЛАДКОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ СИЛ

Khabibula T. Turanov, DSc, Professor of 'Mechatronics' department (USURT, Ekaterinburg),
Elena N. Timukhina, PhD, Associate professor, Head of 'Management of Exploitation Work' department (USURT, Ekaterinburg)

Mathematical modeling of loading of cargo flexible fastening elements with a sub plate by spatial force system effect

Аннотация

В статье на основе разработанной динамической и построенной математической моделей изложены результаты аналитических исследований по выявлению влияния подкладок под груз на нагруженность гибких элементов креплений. Математическая модель совместной работы предварительно натянутых элементов креплений и подкладок под груз позволила найти условия, при которых обеспечивается отсутствие сдвига груза по направлению воздействия пространственной системы сил. Особо отмечено, что лишь при невыполнении такого условия включаются в работу по удержанию груза упругие силы гибких элементов креплений. Полученные аналитические формулы для расчета нагруженности средств креплений груза служат для оценки безопасности движения подвижного состава не только по кривому участку пути на спуск, но и при других условиях перевозки груза (например, при соударении вагонов на подгорочном парке).

Ключевые слова: груз сложной конфигурации, гибкие элементы креплений, подкладки под груз, переносные силы инерции, реакции подкладок, пространственная система сил, обобщенные жесткости креплений, сдвиг груза по направлению воздействия пространственной системы сил, натяжения в элементах креплений.

Annotation

In the article on the basis of the developed dynamic and ready-built mathematical model the results of analytical research on identification of influence of sub plates under the cargo on loading of flexible fastening elements are stated. The mathematical model of united work of pre-strained fastening elements and sub plates under the cargo allowed to find the conditions, under which the absence of cargo displacement in the line of spatial force system is guaranteed. It is specially noted that only in case of breaking such condition the forces of flexible fastening elements start operating to hold the cargo. The got analytical formulas to calculate the loading of cargo fastening means are used for estimation of safety of rolling stock movement not only on curved track section to the slope but under other conditions of cargo transportation (e.g. by collision of cars on a hump yard).

Key words: irregular shape cargo, flexible fastening elements, sub plates under cargo, force of moving space, reacting force of sub plates, spatial force system, generalized fastening rigidity, cargo displacement in the line of spatial force system, tension in fastening elements.

Актуальность проблемы. Общеизвестно [1], что твердотельные грузы различной конфигурации (далее — грузы без грузовых петель) на открытом железнодорожном подвижном составе удерживаются от сдвига из-за действия пространственных систем сил гибкими и упорными средствами креплений. При этом грузы могут быть размещены на полу вагона с подкладками или без них в зависимости от габарита и наличия (или отсутствия) грузовых петель. Гибкие элементы креплений в основном предназначены для прижатия груза к полу вагона и тем самым увеличения «удерживающих» сил, препятствующих сдвигу груза как вдоль, так и поперек вагона. Упорные средства креплений в виде упорных и распорных деревянных брусков предназначены для удержания грузов от сдвига вдоль и поперек вагона, а также для передачи «сдвигающих» сил со стороны груза на элементы кузова вагона. Гибкие элементы креплений включаются в работу лишь в случае, когда начинает происходить сдвиг груза вдоль или поперек вагона в отдельности или одновременно как вдоль, так и поперек вагона в случае частичного и/или полного выворачивания упорных средств креплений. Подкладки под груз способствуют его удержанию от сдвига при наличии в середине пола вагона листовой стали шириной до 1,2 м. При этом воздействие элементов креплений испытывают не только увязочные устройства (стоечная скоба) вагона, но и подкладки под груз.

Крепления грузов на вагоне выполняют согласно ТУ с использованием тригонометрических функций по формулам (30), (31) и (34), (35) [1]. Вывод указанных формул ТУ математически корректен. Однако решение задачи не завершено до конца, поскольку не учтено предварительное натяжение элементов креплений, а также нормальные и касательные составляющие реакции внешних связей не представлены как составляющие упругих сил гибких элементов креплений и внешних сил. В соответствии с этим в ТУ усилия во всех креплениях грузов имеют одинаковые значения (т. е. одно значение), независимо от геометрии креплений, что не со-

ответствует действительности. К тому же не учтены модуль упругости E , диаметр d_i , количество нитей n_i , а также предварительное натяжение RO_i от скруток проволоки. Напомним, что модуль упругости E гибких элементов креплений почти в 20 раз меньше ($E = 1 \cdot 10^7$ кН/м²), чем у обычной стальной проволоки ($E = 2,1 \cdot 10^8$ кН/м²). Недостатком также является невозможность включения в расчет воздействия продольных сил обвязок и использование тригонометрических функций, полученных на основе проекции креплений l_i на соответствующие оси координат в виде a_i , b_i и h_i , определяемых по данным чертежа груза, в то время как следовало бы непосредственно воспользоваться этими данными. В методике ТУ не предусмотрен учет упорных и опорных средств креплений.

Известна усовершенствованная методика расчета креплений грузов (формулы (1) — (4) приложения 8 [1]) при воздействии плоской системы сил [2]. Преимущество данной методики — простота представленных формул, в которых усилия в креплениях груза имеют различные значения в зависимости от геометрии креплений (a_i , b_i , h_i , l_i) и их доступность для выполнения инженерных расчетов вручную. Недостаток — невозможность включения в расчет воздействия продольных сил обвязок, отсутствие пояснения физического смысла решения задачи, выполнение расчетов также посредством тригонометрических функций и отсутствие учета упорных и опорных средств креплений. Кроме того, в них силы трения, возникающие при сдвиге груза как вдоль, так и поперек вагона, представлены как силы, не зависящие друг от друга, хотя являются составляющими реакции основной связи (подкладок).

В [3] построена динамическая и математическая модели креплений груза при движении подвижного состава по кривому участку пути на спуск при воздействии ПСС (как общий случай). При этом для решения задачи креплений груза, как в [4 — 7], также предложено воспользоваться уравнением равновесия в относительном движении (в покое) по направлению воздействия ПСС. Преимущество (новизна) методики [3] сравнительно со всеми ранее известными методиками [4 — 7] состоит в том, что она позволила:

- найти условия, при которых произойдут сдвиги груза в направлении воздействия ПСС с учетом совместного закрепления гибких и упорных средств и технологии размещения груза на вагоне;
- представить в явном виде «сдвигающие» и «удерживающие» силы от воздействий ПСС;
- представить в явном виде эквивалентные жесткости креплений в направлении воздействия ПСС с учетом их физико-геометрических характеристик (E , a_i , b_i , h_i , l_i , d_i , n_i) и технологии размещения груза на вагоне, в частном случае могут быть найдены жесткостные характеристики креплений как вдоль, так и поперек вагона;
- представить в явном виде (аналитической зависимостью сдвига груза в функции от сил, воздействующих на элементы креплений, и их эквивалентной жесткости) физику процесса сдвига при совместном закреплении груза гибкими и упорными элементами в направлении воздействия ПСС, в частном случае она может быть выражена как вдоль, так и поперек вагона;
- включить в расчет обвязки и упорные бруски.

Недостаток данной методики — определение натяжений и сдвига груза с грузовыми петлями без учета наличия подкладок под груз и/или одновременного наличия упорных брусков и подкладок.

Таким образом, до сих пор не построены динамическая и математическая модели креплений груза с подкладками при движении подвижного состава по кривому участку пути на спуск при воздействии ПСС.

В связи с этим можно отметить, что удержание груза от сдвига относительно пола вагона предварительно скрученными проволоками креплений с учетом подкладок под груз при воздействии ПСС является неизученной и до сих пор не решенной актуальной для транспортной науки прикладной проблемой.

Цель научной разработки (формулировка задачи).

Требуется сформировать динамические и построить математические модели креплений груза с грузовыми петлями (или без них) с учетом наличия подкладок и отсутствия упорных брусков из-за конструктивных особенностей груза при воздействии ПСС при движении подвижного состава по кривому участку пути на спуск (общий случай).

Условия задачи. Рассмотрим общий случай, когда груз весом G , который несимметрично (или симметрично) размещен относительно продольной и поперечной осей симметрии вагона и уложен на составные по высоте подкладки. При этом габариты груза таковы, что невозможно использовать упорные средства креплений. В этом случае безопасность груза при перевозке обеспечивается лишь гибкими элементами креплений. Физическая модель размещения и крепления такого груза на практике перевозки показана на рис. 1.



Рисунок 1 — Физическая модель размещения и крепления груза на вагоне гибкими элементами с использованием составных по высоте подкладок:

1, 2 — подкладки; 1а — 4а — гибкие элементы креплений одного направления (3 — 4 — другого направления)

Принятые допущения. Учитывая, что растяжки и/или обвязки, предназначенные для удержания груза от сдвига, формируются из отожженной проволоки, подвергаемой предварительному натяжению, величина которого находится в пределах от 15 до 25 кН, и при воздействии внешних сил мо-

гут испытывать значительные деформации, они моделируются гибкими упругими неудерживающими связями. Допускаем, что такие связи, согласно аксиоме отвердевания геометрической статики [8], можно рассматривать как прямолинейные стержни, испытывающие одноосное растяжение. Следовательно, коэффициенты жесткости таких связей можно найти из зависимостей, соответствующих одноосному растяжению прямолинейного стержня.

Пусть, как и в [4 — 7], подвижной состав движется на спуск под углом ψ_0 как в режиме отпуска, так и в режиме служебного торможения со скоростью v по кривому участку пути с радиусом кривизны ρ траектории в данной точке кривой. Вагон движется поступательно со скоростью \vec{v}_e , т. е. переносное движение поступательное ($\vec{\omega}_e = 0$), с продольной $\vec{a}_x = \vec{a}_{ex}$, поперечной $\vec{a}_y = \vec{a}_{ey}$ и вертикальной $\vec{a}_z = \vec{a}_{ez}$ переносными ускорениями, возникающими от волны неровности пути из-за отклонения норм его содержания, наличия технологического зазора между гребнями колес и рельсовыми нитями и конструктивных особенностей вагона, а также по другим причинам.

Примем, что гибкие упругие элементы креплений и рама вагона как внешние связи испытывают воздействие ПСС в виде силы тяжести вагона с грузом \vec{G} , переносных сил инерции $\vec{I}_e \in (\vec{I}_{ex}, \vec{I}_{ey}, \vec{I}_{ez})$ (можно учесть и воздействие силы инерции Кориолиса $\vec{I}_C \in (\vec{I}_{Cx}, \vec{I}_{Cy})$) и сил аэродинамического сопротивления $\vec{F}_{rb} \in (\vec{F}'_{rbx}, \vec{F}'_{rby})$ [3]. Считаем, что ПСС воспринимаются гибкими упругими элементами креплений, расположенными противоположно действию этих сил, а элементы креплений, расположенных по направлению их действия, провисают (т. е. теряют свойства связи).

Методы решения. Предлагается воспользоваться основным законом динамики относительного переносного движения (уравнение относительного равновесия в покое) в проекциях на оси координат при воздействии ПСС как методом решения технической проблемы [3, 5, 7]. Здесь важным является формирование динамической модели объекта, учитывающей физико-геометрические параметры креплений и силовые факторы. На основе корректно разработанной динамической модели появится возможность построить математическую модель, достаточно точно описывающую физику сдвига груза.

В основу динамической модели примем, что элементы креплений груза испытывают воздействие ПСС, которые воспринимаются основными (подкладки) и дополнительными (гибкие упругие элементы) связями. Для построения динамической модели груза (объект) при движении подвижного состава по кривому участку пути на спуск, согласно принципу освобождения от связей, от объекта мысленно отбрасывают внешние связи — подкладки и гибкие упругие элементы креплений. Подкладки для груза являются внешними неудерживающими неидеальными связями, а для системы «груз — подкладки — пол вагона» — внутренними. Влияние отброшенных связей заменяют реакциями $\vec{R}_1 \in (\vec{N}_1, \vec{F}_{t1})$ и $\vec{R}_2 \in (\vec{N}_2, \vec{F}_{t2})$ (подкладки) и \vec{R}_i, \vec{R}_{ai} (гибкие упругие элементы креплений одного направления, а другого — $\vec{R}_{pi}, \vec{R}_{api}$). К объекту прикладывают активные ($\vec{G}, \vec{I}_e, \vec{I}_C, \vec{F}_{rb}$) и реактивные ($\vec{R}_1, \vec{R}_2, \vec{R}, \vec{R}_i$) силы. Особо отметим, что поскольку воздействие ПСС как активных сил испытывают внешние связи — подкладки (основная связь), гибкие упругие элементы креплений (до-

полнительные связи), то в реальности невозможно указать координаты точек приложения этих сил. Однако в динамической модели объекта (груз) эти силы условно (мысленно) прикладывают к центру масс материальной системы (груз) C , и они направлены от объекта, реактивные силы $\vec{R} \in (\vec{R}_1, \vec{R}_2)$ с координатами $x_R \in (x_{R1}, x_{R2})$ и $y_R \in (y_{R1}, y_{R2})$ (обычно выбирают в зависимости от веса и длины груза) — к объекту, а реактивные силы гибких упругих элементов креплений как одного направления \vec{R}_i, \vec{R}_{ai} так и другого направления $\vec{R}_{pi}, \vec{R}_{api}$ — от объекта (рис. 2).

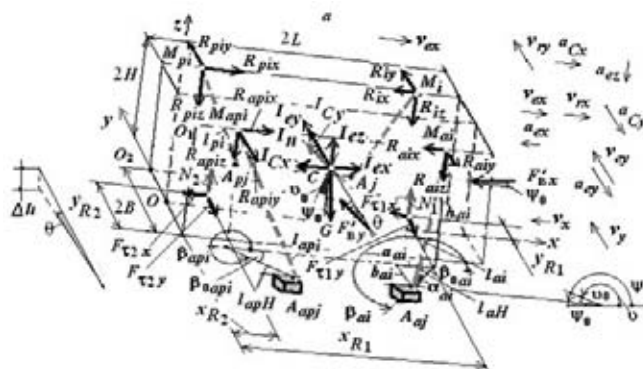


Рисунок 2 — Разновидность динамической модели груза с подкладками (аксонометрия)

На рис. 2 приняты следующие обозначения: A_j, A_{aj}, A_{pj} и A_{apj} — точки, к которым груз закреплен гибкими упругими элементами креплений к увязочным устройствам вагона; M_j, M_{aj}, M_{pj} и M_{apj} — точки, соответствующие к грузовым петлям; I_n — нормальная составляющая сила инерции при абсолютном движении, условно приложенная к центру масс груза (точнее, колесных пар совместно с буксовыми узлами и боковых рам тележек), которая будет учитывать движения подвижного состава по кривому участку пути с ускорением; j и i — индексы, показывающие количество стоечных скоб вагона и упругих элементов креплений ($i = 1, n_p$ — количество гибких упругих элементов креплений); $2L, 2B$ и $2H$ — соответственно длина, ширина и высота груза; l_{wi} и l_{wai} — проекции длины гибких упругих элементов креплений одного направления на поперечную ось вагона (l_{wpi} и l_{wapi} — тоже другого направления); ψ или ψ_0 — угол, характеризующий спуск; v или v_0 — угол, учитывающий галопирование груза вместе с вагоном (обычно из-за малости величины им пренебрегают); Δh — возвышение наружной рельсовой нити относительно внутренней; $2S$ — расстояние между кругами катания колесной пары вагона колеи 1520 мм ($2S = 1580$ мм); θ — угол, характеризующий возвышение наружной рельсовой нити относительно внутренней; ζ — угол, учитывающий наклон рамы вагона с грузом при его смещении на поперечную ось вагона y на величину $\pm uM$.

Из условия равновесия произвольной системы сил геометрической статики известно [8], что в частном случае равнодействующая двух параллельных сил, направленных в одну сторону, например $\vec{N} \in (\vec{N}_1, \vec{N}_2)$, $\vec{F}_{tx} \in (\vec{F}_{t1x}, \vec{F}_{t2x})$ и $\vec{F}_{ty} \in (\vec{F}_{t1y}, \vec{F}_{t2y})$, независимо от точки их приложения равна по модулю сумме модулей данных сил и направлена в ту же сторону: $N = N_1 + N_2$, $F_{t1x} = F_{t1x} + F_{t2x}$ и $F_{t1y} = F_{t1y} + F_{t2y}$ (рис. 3).

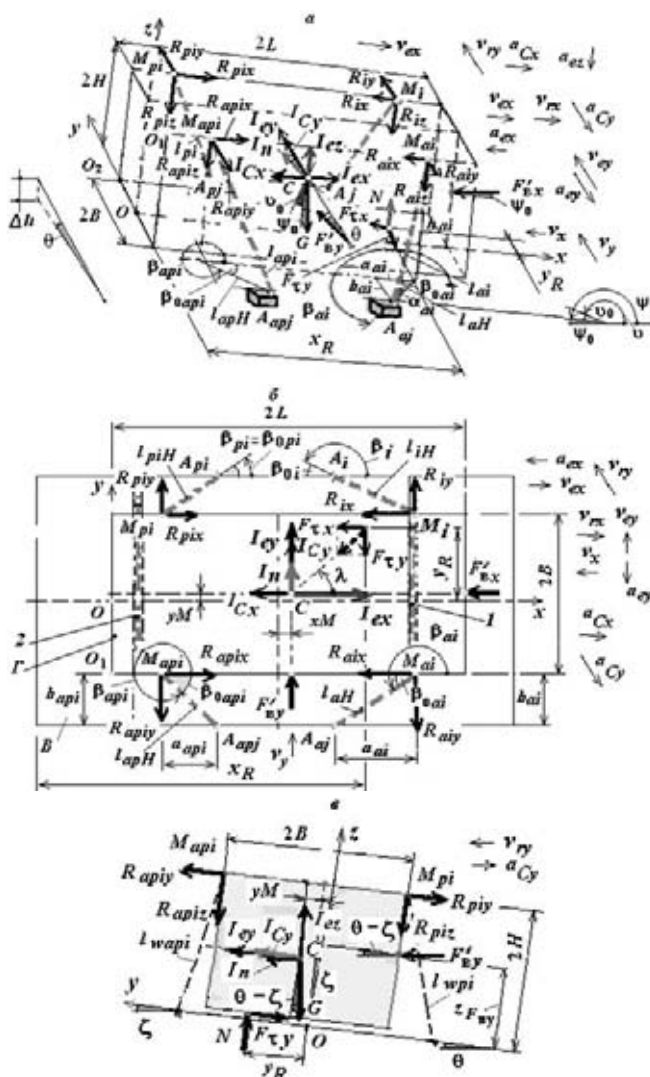


Рисунок 3 — Динамическая модель груза с подкладками:
а — аксонометрия;
б — вид сверху;
в — вид с торца

Линия действия равнодействующей двух параллельных сил \bar{N}_1 и \bar{N}_2 делит внутренним образом расстояние между линиями действия данных сил на части, обратно пропорциональные этим силам,

$$N_1 / N_2 = (x_R - x_{R2}) / (x_{R1} - x_R), \quad (1)$$

где x_R — подлежащая определению координата приложения равнодействующей $\bar{N} \in (\bar{N}_1, \bar{N}_2)$ вдоль вагона, м.

Отметим, что $x_R \in (x_{R1}, x_{R2})$ и $y_R \in (y_{R1}, y_{R2})$ можно найти лишь после определения N .

На рис. 3 приняты те же обозначения, что и на рис. 2.

Результаты решения. Запишем условие равновесия груза в относительном равновесии (покое) в проекциях на оси координат [3, 5, 7]:

$$\begin{aligned} I_{ex} + (G_x - F_{rx,x}) - I_{Cy} - F_{ix} - F_{tx} &= 0; \\ I_{ey} + I_{Cx} + (I_{ny} + F_{rx,y}) - G_x - F_{iy} - F_{ty} &= 0; \\ -(G_z - I_{ez}) + N - (I_{nz} + F_{rx,z}) - F_{iz} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где $F_i \in (F_{ix}, F_{iy}, F_{iz})$ — упругие силы гибких упругих элементов креплений груза ($i \in (1, n_p)$ — количество элементов креплений, обычно выбираемое в зависимости от веса груза).

Напомним, что F_i включает в себя упругие силы (усилия) элементов креплений R_i не только от воздействия внешних сил, но и от предварительных скруток проволоки $R0_i$ (обычно в среднем составляет 20 кН), т. е. $F_i \in (R_i, R0_i)$. Поэтому неизвестными в уравнениях (1) являются усилия (натяжения) в гибких элементах креплений (R_i).

Рассмотрим общий случай сдвига груза (Δs) по направлению действия результирующей ПСС $\Delta F^{(i)}$ (рис. 4) [3, 5, 7].

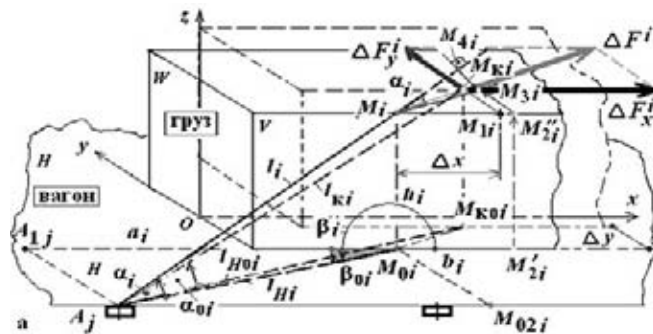


Рисунок 4 — Обобщенная модель сдвига груза от воздействия ПСС

На рис. 4 приняты следующие обозначения: M_i — точки, показывающие монтажные петли и их проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости; l_i и a_i , b_i и h_i — длины гибких упругих элементов креплений и их проекции на координатные оси; Δs — сдвиг груза по направлению действия результирующей ПСС $\Delta F^{(i)}$, подлежащий нахождению; ξ_i — угол, характеризующий сдвиг груза в плоскости пола вагона.

Опуская промежуточные математические выкладки уравнения (1), можно найти зависимость сдвига груза в плоскости пола вагона, м, по направлению действия результирующей ПСС — $\Delta s = f(\Delta F^{(i)}, c_{\text{экр}}^F)$ [3, 5, 7], где $c_{\text{экр}}^F$ — эквивалентная жесткость гибких элементов креплений как прямолинейных стержней по направлению действия ПСС, кН/м.

Результирующую ПСС $\Delta F^{(i)}$ (см. рис. 4), воспринимаемую гибкими упругими элементами креплений груза, представим в виде [3, 5, 7]

$$\Delta \bar{F}^{(i)} = \Delta F_x^{(i)} \bar{i} + \Delta F_y^{(i)} \bar{j},$$

где $\Delta F_x^{(i)}$ и $\Delta F_y^{(i)}$ — проекции составляющих сил на продольную и поперечную оси,

$$\Delta F_{ix}^{(i)} = \Delta F_{ix}^0 - F_{\tau}^e \cos \lambda^{(i)}, \Delta F_{iy}^{(i)} = \Delta F_{iy}^0 - F_{\tau}^e \sin \lambda^{(i)}, \quad (3)$$

где $\Delta F_x^{0(i)}$ — продольная сила, воспринимаемая креплениями одного направления как разность «сдвигающих» и «удерживающих» сил,

$$\Delta F_x^{0i} = F_{\text{сд.х}} - F_{\text{уд.х}}; \quad (4)$$

$\Delta F_y^{0(i)}$ — поперечная сила, воспринимаемая креплениями одного направления как разность «сдвигающих» и «удерживающих» сил,

$$\Delta F_y^{0i} = F_{\text{сд.}y} - F_{\text{уд.}y}; \quad (5)$$

$\lambda^{(i)}$ — направляющий угол, где обозначение i в степени означает, что угол зависит от количества гибких упругих элементов креплений и имеет лишь одно значение;

F_τ^e — сила трения, возникающая не только от воздействия внешних сил, но и от прижатия груза к полу предварительными скрутками проволоки креплений

$$F_\tau^e = f \left[(G \cos(\psi_0) \cos \theta - I_{ez}) + F'_{\text{рвх}} \sin(\psi_0) + (I_n + F'_{\text{рвх}}) \sin \theta + \sum_{i=1}^{n_p} R0_{iz} \right]$$

с учетом того, что f — коэффициент трения скольжения между поверхностями груза и подкладок (обычно $f < f_{\text{сц}}$, где $f_{\text{сц}}$ — коэффициент трения сцепления, определяемый по справочным данным [1]). Значение $f_{\text{сц}}$ зависит от климатических условий (влажности, температуры окружающей среды и других условий), при которых осуществляется перевозка груза по железной дороге.

В выражении (4) «сдвигающие» и «удерживающие» силы равны:

$$F_{\text{сд.}x} = I_{ex} + G \sin(\psi_0); F_{\text{уд.}x} = \sum_{i=1}^{n_p} R0_{ix} + F'_{\text{рвх}} \cos(\psi_0). \quad (6)$$

В выражении (5) «сдвигающие» и «удерживающие» силы равны:

$$F_{\text{сд.}y} = I_{ey} + (I_n + F'_{\text{рвх}}) \cos \theta; F_{\text{уд.}y} = G \sin \theta + \sum_{i=1}^{n_p} R0_{iy}. \quad (7)$$

Согласно (4) и (5), сдвиг груза произойдет лишь при выполнении условий

$$\Delta F_{ix}^{(i)} > 0; \Delta F_{iy}^{(i)} > 0. \quad (8)$$

В этом случае включаются в работу по удержанию груза от сдвига упругие элементы креплений.

Если (8) не выполняется, то предварительно натянутые проволоки креплений совместно с подкладками способны удерживать груз от сдвига в направлении воздействия ПСС. Таким образом, условием работоспособности предварительно натянутой проволоки креплений совместно с подкладками является

$$\Delta F_{ix}^{(i)} \leq 0; \Delta F_{iy}^{(i)} \leq 0. \quad (9)$$

При выполнении условия (9) обеспечивается целесообразность использования предварительно натянутой проволоки креплений совместно с подкладками, где полностью будет отсутствовать сдвиг груза по направлению воздействия ПСС (т. е. в (2) $\Delta s = 0$). В этом случае следует принять $f = f_{\text{сц}}$ а $R_i = 0$.

Натяжение R_i в i -х гибких упругих элементах креплений следует определить по величине сдвига груза в плоскости пола вагона (Δs) лишь при соблюдении условия (8) [3]

$$R_{\text{упр.}i} = \Delta s \frac{EA_i}{l_i} \left(\frac{a_i}{l_i} \cos \lambda^{(i)} + \frac{b_i}{l_i} \sin \lambda^{(i)} \right) \leq [R_i],$$

где $[R_i]$ — допустимое значение натяжений в креплениях, определяемое по табл. 20 ТУ в зависимости от количества нитей n_i и диаметра d_i проволоки креплений;

EA_i — жесткость элементов креплений как прямолинейного стержня, работающего на растяжение;

A_i — площадь поперечного сечения проволоки креплений, $A_i \in (d_i, n_i)$.

Таким образом, критерием оценки нагруженности гибких элементов креплений является их допустимое значение, определяемое по табл. 20 ТУ.

После того как определены $R_i = R_{\text{упр.}i}$ можно перейти к нахождению нормальной составляющей N реакции внешних связей (подкладок) из третьего уравнения (2) в виде

$$N = (G_z - I_{ez}) + (I_{nz} + F_{\text{рв.}z}) + F_{iz},$$

где G_z — проекции силы тяжести на ось z ,

$$G_z = G \cos \psi_0 \cos \theta;$$

$F_{\text{рв.}z}$ — проекции силы аэродинамического сопротивления $F'_{\text{в.}x}$ и $F'_{\text{в.}y}$ на ось z ,

$$F_{\text{в.}z} = F'_{\text{в.}x} \sin \psi_0 + F'_{\text{в.}y} \sin \theta;$$

F_{iz} — проекции упругих сил $F_{\text{упр.}iz}$ и предварительных скруток элементов креплений $F0_{iz}$ на ось z

$$F_{iz} = F_{\text{упр.}iz} + F0_{iz}$$

с учетом того что

$$F_{\text{упр.}iz} = \sum_{i=1}^{n_p} R_{\text{упр.}iz}; F0_{iz} = \sum_{i=1}^{n_p} R0_{iz},$$

или в проекциях на ось z ,

$$F_{\text{упр.}iz} = \sum_{i=1}^{n_p} R_{\text{упр.}i} \frac{h_i}{l_i}; F0_{iz} = \sum_{i=1}^{n_p} R0_i \frac{h_i}{l_i}.$$

Составляя уравнения равновесия моментов сил вокруг оси Oy (см. рис. 3), находим координаты приложения x_R нормальной составляющей N реакции внешних связей в виде

$$x_R = \frac{1}{N} \left[(G_z - I_{ez} + I_{nz})x_C + (I_{ex} - I_{Cx} - F'_{\text{в.}x} \cos \psi_0)H + F'_{\text{в.}x} \sin \psi_0 2L + F'_{\text{в.}y} \sin \theta L - \left(\sum_{i=1}^{n_p} R_{\text{упр.}i} \frac{a_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{n_p} R0_i \frac{a_i}{l_i} \right) 2H + \left(\sum_{i=1}^{n_p} R_{\text{упр.}i} \frac{h_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{n_p} R0_i \frac{h_i}{l_i} \right) x_{Mi} \right]$$

Имея в виду равенство $N = N_1 + N_2$ и уравнение (1), после элементарных выкладок найдем:

$$N_1 = \frac{N(x_R - x_{R2})}{(x_R - x_{R2}) + (x_{R1} - x_R)}; N_2 = N - N_1.$$

Аналогично x_R можно найти координату y_R приложения N поперек вагона (см. рис. 3).

Учитывая, что реакция N_1 приложена на стороне действия результирующей ПСС, то $N_1 > N_2$ (см. рис. 3), проверочный расчет на прочность следует выполнить только для подкладки 1, позволяющий найти по заданной, например, ширине ее высоту.

Таким образом, оценку нагруженности подкладки под груз выполняют по критерию допустимого напряжения на сжатие (см. табл. 23 ТУ) наиболее нагруженной из двух используемых подкладок.

Выводы. Обобщая результаты выполненных исследований, можно отметить, что техническая проблема обеспечения совместной работы гибких упругих элементов креплений и подкладок под груз корректно решается с использованием уравнения равновесия при относительном движении (в покое).

Впервые разработанные динамические и математические модели совместной работы гибких упругих элементов креплений и подкладок под груз позволили найти условия, при которых не произойдет сдвиг груза по направлению воздействия

ПСС. При этом лишь при несоблюдении такого условия включаются в работу по удержанию груза от сдвига упругие силы гибких элементов креплений.

Полученные аналитические формулы для расчета нагруженности средств креплений груза (гибких и опорных элементов) служат для оценки безопасности движения подвижного состава не только по кривому участку пути на спуск, но и при других условиях перевозки груза.

Отличительная особенность (новизна) данной модели при воздействии ПСС заключается в обеспечении работоспособности гибких элементов креплений совместно с подкладками под груз по критерию допустимых нагрузок. Полученные результаты исследований, доступные для разработчиков не предусмотренных ТУ грузов, перевозимых на ОПС, являются новой ступенью в разработке данной проблемы.

В перспективе полученные результаты исследований могут быть использованы при формировании обобщенной динамической и математической модели совместного закрепления гибких и упорных элементов креплений при наличии подкладок под груз.

Литература

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. М.: Юртранс, 2003. 544 с.
2. Зыльв В.Б. Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций. М.: НИЦ «Инженер», 1999. 145 с.
3. Туранов Х.Т., Тимухина Е.Н. Математическое моделирование сдвига груза при движении подвижного состава по кривому участку пути с учетом воздействия пространственной системы сил, включая силы инерции Кориолиса // Транспорт: Наука, техника и управление. 2011. № 3. С. 28 — 32.
4. Туранов Х.Т. и др. Нагрузочные способности гибких упругих элементов креплений при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона // Транспорт Урала. 2007. № 4. С. 25 — 35.
5. Turanov Kh., Timukhina E. Analytical modeling cargoes displacement in wagon and tension in fastening / Silesian University of Technology Politechnica Slaska // Transport Problems International Scientific Journal. 2008. V. 3. № 3. P. 69 — 76.
6. Туранов Х.Т. и др. Аналитическое обоснование технологии креплений при несимметричном размещении общего центра масс грузов в вагонах // Транспорт: Наука, техника и управление. 2009. № 7. С. 28 — 32.
7. Туранов Х.Т. Теоретическая механика в задачах грузозы перевозок: монография. Новосибирск: Наука, 2009.
8. Бутенин Н.В. и др. Курс теоретической механики: в двух томах. СПб.: Лань, 1998. 736 с.

References

1. Tekhnicheskiye usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov v vagonakh i kontejnerah. M.: Yurtrans, 2003. 544 s.
2. Zyl'ov V. B. Vychislitel'nyye metody v nelinejnoj mekhanike konstruksij. M.: NITs «Inzhener», 1999. 145 s.
3. Turanov Kh.T., Timukhina E.N. Matematicheskoe modelirovaniye sdviga gruzha pri dvizhenii podvizhnogo sostava po krivomu uchastku puti s uchjotom vozdejstviya prostranstvennoj sistemy sil, vkljuchaya sily inertsii Koriolisa // Transport: Nauka, tekhnika i upravleniye. 2011. № 3. S. 28–32.
4. Turanov Kh.T., Timukhina E.N., Volkov D. V. Nagruzochnye sposobnosti gibkikh uprugikh elementov kreplenij pri razmeshchenii gruzha so smeshcheniem tsentra mass vdol vagona // Transport Urala. 2007. № 4. S. 25 – 35.
5. Turanov Khabibulla, Elena Timukhina Analytical modeling cargoes displacement in wagon and tension in fastening // Transport Problems International Scientific Journal. Silesian University of Technology Politechnica Slaska. Poland, 2008. T. 3, № 3. P. 69–76.
6. Turanov Kh.T. Analiticheskoe obosnovaniye tekhnologii nesimmetrichnogo razmeshcheniya obshchego tsentra mass gruzov v vagonakh // Transport Urala. 2009. № 1. S. 31- 35.
7. Turanov Kh.T. Teoreticheskaya mekhanika v zadachakh gruzovykh perevozok: monografiya. Novosibirsk: Nauka SO RAN, 2009. 396 s.
8. Butenin N.V., Lunts Ya.L., Merkin D.R.. Kurs teoreticheskoj mekhaniki. V dvukh tomakh. SPb.: Izdatelstvo «Lan», 1998. 736 c

УДК 005:625.7/8

Дмитрий Анатольевич Скоробогатченко, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на предприятиях в дорожном хозяйстве», ГОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Dmitry A. Skorobogatchenko, PhD, associate professor of "Economics and Management at Enterprises in road system chair, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

Control system design of roads' operational state

Аннотация

Рассмотрено актуальное противоречие между не соответствующим нормативным требованиям эксплуатационным состоянием автомобильных дорог и ограниченными ресурсами дорожно-транспортной отрасли. Обоснована необходимость дальнейшей работы по созданию систем управления эксплуатационным состоянием автомобильных дорог с учетом информации качественного характера. Предложена объективная методика проектирования системы управления эксплуатационным состоянием автомобильных дорог на основе нечетких нейронных сетей. Для практических расчетов рекомендована автоматизированная система управления Road Status.

Ключевые слова: система управления, эксплуатационное состояние, автомобильные дороги.

Annotation

The author considers the current contradiction between the inappropriate regulatory requirements of roads' operational state and limited resources of the road transport field. There is proved the necessity of management systems creation of roads' operational state with regard to quality information. There is proposed the objective method of control system design of roads' operational state on the base of fuzzy neural networks. For practical calculations the author suggests an automated control system «Road Status».

Keywords: control system, operational state, roads.

В соответствии с проектом Транспортной стратегии Российской Федерации одной из целей, стоящих в настоящее время перед транспортной отраслью страны, является формирование единого транспортного пространства России. В качестве индикатора достижения цели в дорожном хозяйстве документ устанавливает приведение эксплуатационного состояния автомобильных дорог (ЭС АД) к нормативным требованиям (рис. 1). Однако доступные ресурсы, необходимые для достижения цели, существенно ограничены. Результатом сложившегося несоответствия является ускоренный износ автомобильных дорог и, как следствие, недополучение внедорожного эффекта в сопутствующих отраслях национальной экономики и социальной сфере [1].

Наиболее очевидным выходом из сложившейся проблемной ситуации является увеличение финансирования. И действительно, в этом направлении предпринят ряд шагов. Так, с 2011 г. в соответствии с [2] финансирование ремонта и содержания автомобильных дорог федерального значения будет осуществляться по новым нормативам, т. е. дорожные организации станут получать все необходимые средства на указанные работы. Однако Постановление Правительства № 539 в отношении региональных и местных автомобильных дорог носит лишь рекомендательный характер.

Другим вариантом выхода из проблемной ситуации является приведение ее к задаче перераспределения ресурсов в сторону увеличения финансирования эксплуатационных мероприятий. Установлено, что при правильном и хорошо организованном содержании появляется возможность экономить значительные средства [3]. Однако эксплуатационные мероприятия дают лишь временную экономию.

Наиболее удачными явились попытки выхода из проблемной ситуации путем решения оптимизационных задач перераспределения средств на работы, осуществляемые на автомобильных дорогах. В этом направлении разработан ряд программных продуктов, среди которых можно выделить АБДД «РЕМОНТ» и АБДД «ДОРОГА», «Титул 2000-2005», IndorGIS/Road «Минимум» и т. д. Однако существует по меньшей мере три причины, препятствующие их широкому практическому применению:

1) обилие сложно формализуемой качественной информации относительно функционирования сети автомобильных дорог, трудно поддающейся описанию математическими методами;

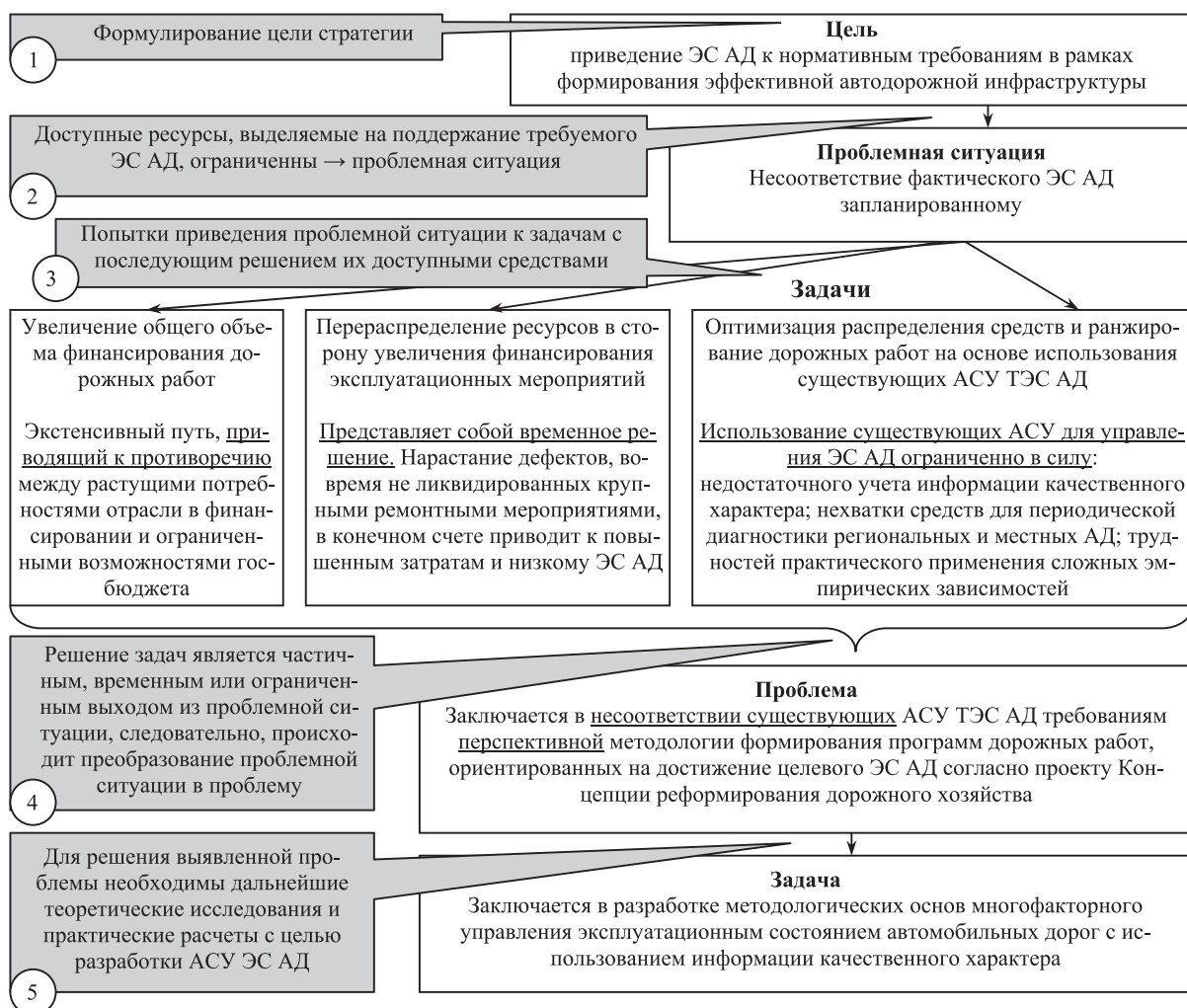


Рисунок 1 — Целеполагание и последовательность процесса определения решаемой задачи

2) относительно высокая стоимость и трудоемкость периодической диагностики;

3) необходимость сбора большого количества данных для применения сложных эмпирических зависимостей, прогнозирующих изменение ЭС дорог сети.

Таким образом, в связи с тем что процессы прогнозирования изменения ЭС АД достаточно сложны для анализа с помощью общепринятых количественных методов, а ЭС АД в каждый конкретный момент времени может очень удобно интерпретироваться качественной информацией, считаем, что для прогнозирования изменения ЭС АД большие возможности открывает использование объединения нечеткой логики с нейронными сетями. Существенным положительным качеством получаемой в результате такого объединения нечеткой нейронной сети (ННС) является способность к «обучению», т. е. к самостоятельному развитию.

Общий вид ННС, используемой в системе управления ЭС АД, представлен на рис. 2.

На первом слое (L_1) осуществляется ввод данных

$$y_i^{L_1} = x_i, \text{ где } i = 1 \dots N \quad (1)$$

На втором слое (L_2) каждая переменная первого слоя представляется совокупностью ее функций принадлежности гауссовского типа

$$y_{i,r}^{L_2} = \mu_r(x_i), \text{ где } i = 1 \dots N, r = 1 \dots R \quad (2)$$

На третьем слое (L_3) осуществляется умножение значений функций принадлежности согласно разработанным нечетким правилам

$$y_j^{L_3} = \prod_{i=1 \dots N} \mu_r(x_i), \text{ где } i = 1 \dots N, r = 1 \dots R, j = 1 \dots J \quad (3)$$

На четвертом слое (L_4) осуществляется суммирование результатов произведений третьего слоя, помноженных на веса связей,

$$y_a^{L_4} = \sum_{j=1}^J \omega_j \cdot \left[\prod_{i=1 \dots N} \mu_r(x_i) \right] \text{ и } y_b^{L_4} = \sum_{j=1}^J \left[\prod_{i=1 \dots N} \mu_r(x_i) \right]. \quad (4)$$

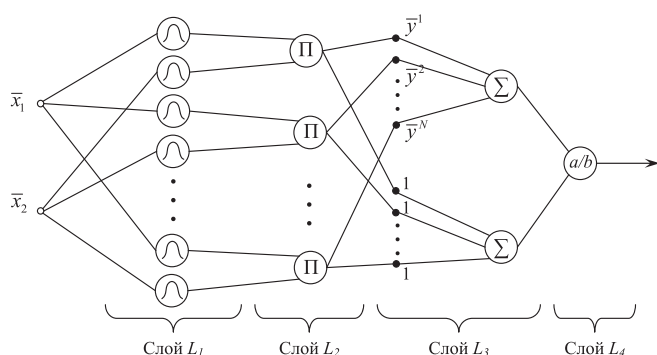


Рисунок 2 — Общий вид управления ЭС АД на основе ННС

На пятом слое (L_5) осуществляется деление выходного сигнала нейрона a на выход нейрона b

$$Y = \sum_{j=1}^J \omega_j \cdot \left[\prod_{i=1 \dots N} \mu_r(x_i) \right] / y_b^L = \sum_{j=1}^J \left[\prod_{r=1 \dots R} \mu_r(x_i) \right] \quad (5)$$

Выходной сигнал нейрона пятого слоя представляет собой значение прогнозируемого ЭС АД по элементам.

Важной особенностью реализованной подобным образом ННС является обучение, т. е. способность настраивать модель прогноза ЭС АД. Обучение сети заключается в корректировке весовых коэффициентов связей. Настройка весовых коэффициентов позволит устранить субъективизм в формулировке набора нечетких правил. Алгоритм обучения ННС следующий.

1. Определяется обучающая выборка. Она представляет собой статистический набор фактических значений входных переменных и соответствующих им значений выходной переменной — прогнозируемого ЭС АД.

2. Определяется расчетное значение выходной переменной $Y_{расч}^m$ для каждого из m примеров обучающей выборки, которые также приводятся в массиве рядом с фактическими данными (табл. 1).

Таблица 1 — Общий вид обучающей выборки с фактическими значениями для ННС с двумя входами по прогнозированию изменения ЭС АД

Номер примера выборки m	Фактическое значение первой входной переменной x_1^m	Фактическое значение второй входной переменной x_2^m	Фактическое значение выходной переменной $Y_{факт}^m$	Расчетное значение выходной переменной, полученное в модели, $Y_{расч}^m$	Фактическое значение ошибки прогнозирования $\varepsilon_{факт}^m = Y_{расч}^m - Y_{факт}^m$
1	x_1^1	x_2^1	$Y_{факт}^1$	$Y_{расч}^1$	$\varepsilon_{факт}^1$
2	x_1^2	x_2^2	$Y_{факт}^2$	$Y_{расч}^2$	$\varepsilon_{факт}^2$
...
M	x_1^M	x_2^M	$Y_{факт}^M$	$Y_{расч}^M$	$\varepsilon_{факт}^M$

3. Задается величина средней допустимой ошибки за цикл обучения ($\varepsilon_{доп}$), а также величина скорости обучения (η).

4. Рассчитывается новое значение весов связей между третьим и четвертым слоем по следующим формулам:

$$\omega_j^m(t+1) = \omega_j^m(t) + \Delta \omega_j^m, \quad (6)$$

$$\Delta \omega_j^m = -\eta \times y_j^{L3} \times \varepsilon_{факт}^m, \quad (7)$$

где t — номер цикла обучения. Один цикл обучения включает перебор всех примеров из обучающей выборки.

5. Определяется средняя фактическая ошибка за цикл обучения

$$\varepsilon_{факт} = \sum_{m=1}^M \varepsilon_{факт}^m / M. \quad (8)$$

Если значение средней фактической ошибки за цикл обучения превышает значение средней допустимой ошибки, то происходит возврат на шаг 4. В противном случае процесс обучения прекращается и сеть считается обученной.

Для практических расчетов по алгоритмам прогнозирования (1) — (5) и алгоритмам обучения (6) — (8) была создана автоматизированная система управления Road Status, вид процедур прогнозирования и обучения в которой представлен на рис. 3.

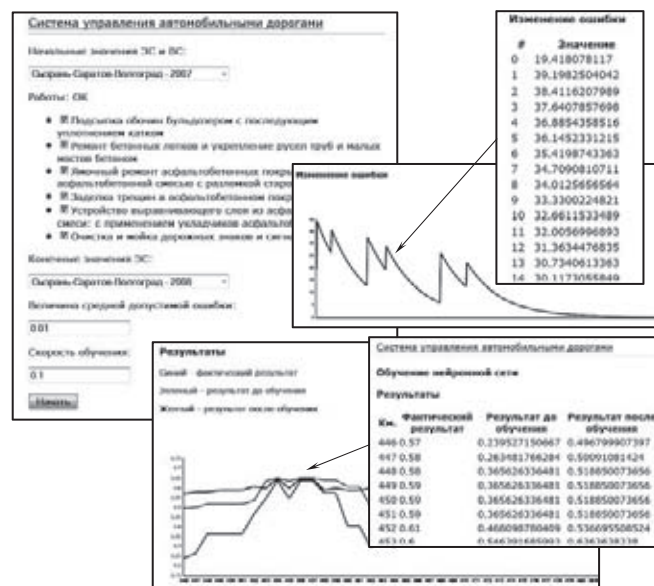


Рисунок 3 — Вид процедур обучения и прогнозирования ЭС АД в АСУ Road Status

Рассмотрим работу АСУ Road Status по прогнозированию эксплуатационного состояния автомобильной дороги Сызрань — Саратов — Волгоград на участке с 446 по 554 км на 2010 г. Данные о фактическом ЭС дороги в 2009 г. были получены на основании диагностики, проведенной Волгоградским филиалом ФГУП РосдорНИИ.

С использованием метеорологических данных, сведений о транспортной нагрузке и работах, выполненных эксплуати-

рующими организациями, был составлен прогноз изменения ЭС рассматриваемого участка дороги на 2010 г. до и после обучения системы. Результаты проанализированы в сравнении с фактическим ЭС участка дороги в 2010 г., полученным по результатам повторной диагностики (рис. 4).

Таким образом, для принятия обоснованных управленческих решений в дорожно-строительном секторе предлагается использовать автоматизированную систему управления Road Status. Благодаря заложенному в нее синтезу композиционного вывода и нейронной сети устраняется субъективизм, а точность прогноза ЭС АД увеличивается до требуемой величины.

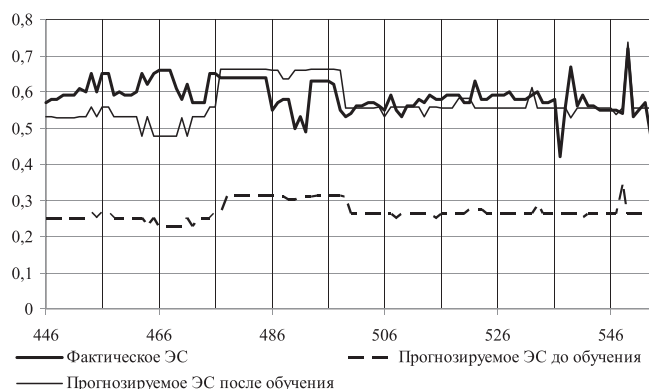


Рисунок 4 — Сравнение результатов прогнозирования ЭС АД «Сызрань — Саратов — Волгоград» до и после обучения ННС в АСУ Road Status

Литература

1. Скоробогатченко Д.А. Управление распределением ресурсов на эксплуатацию автодорожной структуры региона // Управление региональными системами: интеграционный подход, факторное обеспечение, методы, модели : Матер. Всерос. науч.-практ. конф. 26-27 ноября 2009 г. Волгоград, 2009. С. 329 — 332.
2. Правила расчета денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения при определении размера ассигнований из федерального бюджета, предусматриваемых на эти цели : Постановление Правительства РФ от 23 августа 2007 г. № 539.
3. Справочная энциклопедия дорожника (СЭД): Ремонт и содержание автомобильных дорог. Том II / под ред. А.П. Васильева. М. : Информавтодор, 2004. 507 с.

References

1. Skorobogatchenko D.A. Upravlenie raspredeleniem resursov na ekspluatatsiyu avtodorozhnoj struktury regiona // Upravlenie regionalnymi sistemami: integratsionny podkhod, faktornoe obespechenie, metody, modeli: Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. 26-27 noyabrya 2009 g. Volgograd, 2009. S. 329 — 332.
2. Pravila rascheta denezhnykh zatrat na sodержanie i remont avtomobilnykh dorog federalnogo znacheniya pri opredelenii razmera assignovaniy iz federalnogo byudzheta, predusmatrivaemykh na eti tseli. Postanovlenie Pravitelstva RF ot 23 avgusta 2007 g. № 539
3. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika (SED): Remont i sodержanie avtomobilnykh dorog, tom II / Pod red. A.P. Vasilieva. M.: Informavtodor, 2004. 507 s.

УДК 691.168-037.51

Игорь Николаевич Кручинин, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта и дорожного строительства Автомобильно-дорожного института Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ, Екатеринбург),
Александр Юрьевич Дедюхин, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта и дорожного строительства Автомобильно-дорожного института Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ, Екатеринбург)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕСТНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЩЕБЕНОЧНЫХ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Igor N. Kruchinin, PhD, associate professor of transport and railway construction of motor and railway institute, the Ural State Forest Engineering University,
Alexander Yu. Dedyukhin, PhD, associate professor of transport and railway construction of motor and railway institute, the Ural State Forest Engineering University

Research of local stone materials use for macadam base road building

Аннотация

Представленная работа предназначена для проведения анализа по использованию каменных материалов с различными физико-механическими свойствами в конструктивных слоях автомобильных дорог. Описаны экспериментальные исследования уплотнения каменных материалов. Приведено обоснование их использования по комплексным показателям.

Ключевые слова: щебеночный слой автомобильной дороги, уплотнение каменных материалов, повышение эксплуатационного состояния дорог, щебеночный слой автомобильной дороги, уплотнение каменных материалов, повышение эксплуатационного состояния дорог.

Annotation

This work is intended on analyze the use of stone materials with different physical and mechanical properties in structural layers of roads. The article contains the description of the experimental researches on their compaction. There is given the justification of their use by complex indicators.

Key words: macadam layer of the roads, stone materials compaction, improving of the operational roads' conditions.

Щебеночные основания — наиболее распространенный тип дорожных конструкций. При этом они обладают высокой технологичностью, отсутствием сезонности при проведении строительных работ, способностью к созданию изотропных слоев дорожных одежд. Однако используемые каменные материалы имеют различные физико-механические и технологические свойства, которые не всегда учитываются при производстве работ.

Статья посвящена анализу использования каменных материалов из различных горных пород для строительства оснований автомобильных дорог применительно к условиям Свердловской области.

В качестве объекта исследования были рассмотрены щебеночные основания автомобильных дорог, построенные из следующих каменных материалов: участок 1 — щебеночно-песчаная смесь С-4 из малопрочной осадочной породы; участок 2 — щебень фракции 40 — 70 с расклиновкой из малопрочной осадочной породы; участок 3 — щебень фракции 40 — 70 с расклиновкой из изверженной породы (гранодиориты); участок 4 — щебень фракции 40 — 70 с расклиновкой из отходов горной промышленности.

Общеизвестна зависимость между прочностью конструктивного слоя и его плотностью, что нашло свое отражение в нормативных документах [1]. Основываясь на этом, на первом этапе нами были проведены исследования по определению зависимости остаточной пустотности щебня от уплотняющей нагрузки в лабораторных условиях (рис. 1).

Как показал анализ, изменение пустотности у различных материалов имеет общую тенденцию. При этом достижение нормативных требований по пустотности у материалов из осадочных пород происходит при меньших нагрузках.

Оперативно производить измерения остаточной пустотности в процессе производства работ достаточно трудоемко, а при использовании баллонного плотномера в зимнее время еще и невозможно. Поэтому прочность конструктивных слоев нами оценивалась по другому показателю — динамическому модулю.

Динамический модуль упругости является функцией величины осадки штампа при его ударном нагружении и фактиче-

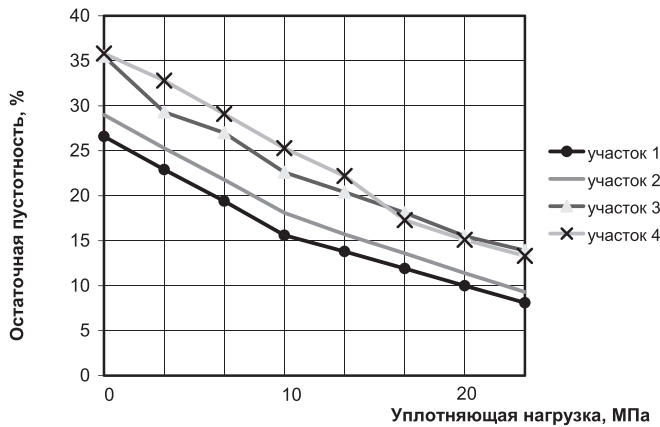


Рисунок 1 — Зависимость остаточной пустотности щебня из горных пород различного происхождения от уплотняющей нагрузки

ски определяет степень жесткости всей дорожной конструкции. И хотя этот параметр не относится к числу нормативным и, ссылаясь на исследования Дорстройпроекта и филиала СоюздорНИИ (Санкт-Петербург) [2], имеет лишь статистическую связь с модулем упругости, он позволяет качественно оценить способность дискретного каменного материала создавать конструктивные слои дорожных одежд.

На рис. 2 представлены статистические зависимости изменения динамического модуля упругости E_{vd} от количества приложенных циклов нагружения. Измерения проводились при помощи легкого прибора с падающим грузом ZFG 04.

В процессе уплотнения щебеночных оснований были выявлены следующие закономерности.

Наиболее интенсивно прочность слоя возрастала на смеси щебеночно-песчаной и щебня из осадочной породы. Как показали исследования, для достижений нормативных показателей достаточно приложить 50 — 70 циклов нагружения. Для достижения таких же результатов на высокопрочных материалах из изверженной породы или из отходов горной промышленности требуется значительно большее количество циклов.

Динамический модуль упругости наиболее интенсивно изменяется в начале уплотнения и стабилизируется при достижении 100 и более циклов нагружения.

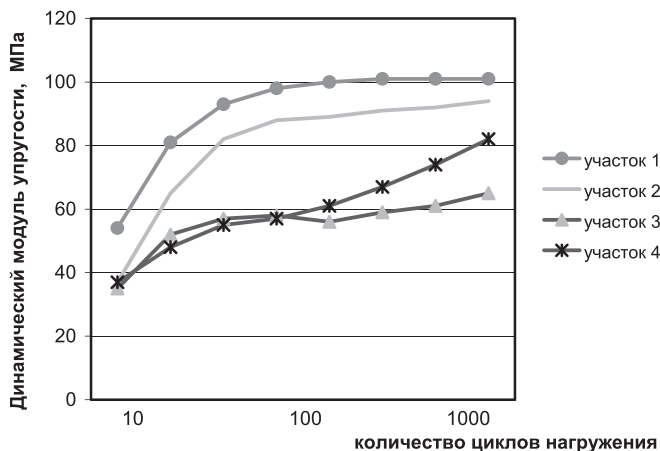


Рисунок 2 — Зависимость динамического модуля упругости от количества приложенных циклов нагружения

В процессе строительства в щебеночных основаниях происходит интенсивное накопление деформаций. Для их оценки введем индекс средней интенсивности накопления модуля упругих динамических деформаций (рис. 3)

$$\bar{E}'_{vd,i} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{E}_{vd,i}}{n_{ij}},$$

где n_{ij} — количество циклов нагружения.

Анализ изменения прочностных свойств слоев щебеночных оснований, оцениваемого по индексу средней интенсивности накопления модуля упругих динамических деформаций, показал следующее: накопление деформаций у различных каменных материалов имеет схожую тенденцию. Особенно интенсивно индекс изменяется при первых десяти проходах виброкатка. Но для получения сопоставимой прочности на различных материалах участков 3 и 4 требуется труднореализуемое на практике количество проходов катка.

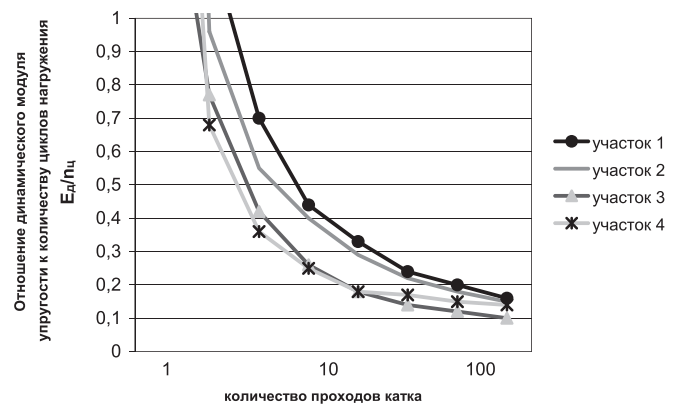


Рисунок 3 — Индекс средней интенсивности накопления модуля динамических упругих деформаций

Основываясь на полученных данных, можно предположить, что в процессе эксплуатации щебеночных оснований под действием автотранспорта произойдет стабилизация динамического модуля упругости.

Сравнительные испытания конструктивных слоев из различных материалов при статическом и динамическом нагружении приведены в табл. 1 и на рис. 4. Модуль упругости получен по методике [3] с помощью рычажного прогибомера короткобазового ПГ-1Ф.

На высокие эксплуатационные свойства указывает также и хорошая цементирующая способность представленного материала (табл. 2).

Под цементирующей способностью понимают свойство горной породы, будучи размолотой в порошок в смеси с водой, образовывать тесто, которое после высыхания приобретает некоторую связность.

Цементирующая способность считается хорошей, если показатель выше 180 с, средней — если показатель 60 — 180 с, низкой — если показатель до 60 с.

Проведенный комплекс экспериментальных исследований показал, что по обобщенному параметру (прочностные свойства, способность создавать высокоплотные слои, устой-

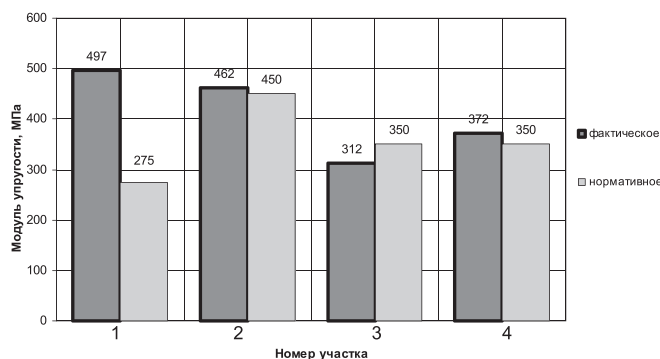


Рисунок 4 — Модули упругости материалов в конструктивных слоях

Таблица 1 — Результаты измерения модуля упругости и динамического модуля упругости материалов в конструктивных слоях

Участок	Нормативный модуль упругости, МПа	Фактический расчетный модуль упругости $E_{ф.р.}$, МПа	Среднее арифметическое значение динамического модуля упругости $E_{дгр}$, МПа
1 — щебеночно-песчаная смесь С-4 из осадочной породы	275	497	91,4
2 — щебень фракции 40 — 70 с расклинцовкой из осадочной породы	450	462	81,9
3 — щебень фракции 40 — 70 с расклинцовкой из изверженной породы (гранодиориты)	350	312	48,2
4 — щебень фракции 40 — 70 с расклинцовкой из отходов горной промышленности	350	372	55,8

Таблица 2 — Определение цементирующей способности щебня

Показатель	Щебеночно-песчаная смесь С-4 из осадочной породы, участок 1	Щебень фракции 40 — 70 с расклинцовкой из осадочной породы, участок 2	Щебень фракции 40 — 70 с расклинцовкой из изверженной породы (гранодиориты), участок 3	Щебень фракции 40 — 70 с расклинцовкой из отходов горной промышленности, участок 4
Время прохождения образцов через сито с квадратными отверстиями 15 мм, с	441	437	11	478
Цементирующая способность	хорошая	хорошая	низкая	хорошая

чивость к эксплуатационным нагрузкам, технологичность материала, цена материала) для строительства щебеночных оснований автомобильных дорог предпочтение следует отдать смеси щебеночно-песчаной из малопрочных осадочных пород (участок 1).

При этом высокая технологичность материала позволяет использовать менее дорогостоящую уплотняющую технику. Так, для создания высокоплотных слоев достаточно приложить не менее 50 — 70 циклов нагружения материала, что соответствует ориентировочно 10 — 12 проходам по одному следу виброкатка массой не менее 9 т.

Именно на этом материале достигается увеличение сверх нормативного модуля упругости основания. Это приводит к увеличению общего модуля упругости дорожной одежды, что может расцениваться как предпосылка к увеличению ее межремонтного срока и повышению транспортно-эксплуатационного качества.

Литература

- ГОСТ 25607-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. М.: Стандартинформ, 2007.
- Костельов М.П., Никольский Ю.Е., Райский Ю.Э. Методы и средства контроля качества уплотнения дорожного земляного полотна, щебеночного основания и асфальтобетонного покрытия [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.prokachka.ru>.
- ВСН 52-89. Указания по оценке прочности и расчету усиления нежестких дорожных одежд. М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989.

References

- GOST 25607-94. Smesi shchebenochno-gravijno-peschanye dlya pokrytij i osnovanij avtomobilnykh dorog i aerodromov. M.: FGUP «Standartinform», 2007.
- Kostelov M.P., Nikolsky Yu.E., Rajsky Yu. E. Metody i sredstva kontrolya kachestva uplotneniya dorozhnogo zemlyanogo polotna, shchebenochnogo osnovaniya i asfaltobetonnogo pokrytiya // www.lib.prokachka.ru.
- VSN 52-89. Ukazaniya po otsenke prochnosti i raschetu usileniya nezhestkikh dorozhnykh odezhd. M.: TSBNTI Minavto-dora RSFSR, 1989.

УДК 658.386:656.2

Евгений Алексеевич Малыгин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Марина Николаевна Оськина, старший преподаватель кафедры «Управление персоналом и социология», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Evgeny A. Malygin, PhD, associate professor of "Railway Automation and Telemechanics" chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT),
Marina N. Oskina, senior teacher of "Human Resources Management and Sociology" chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT)

Occupation planning in train schedule in the process of transport infrastructure maintenance

Аннотация

Предложена макромодель адаптивной системы кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта (КОПЖТ), которая позволяет учесть существующие проблемы действующей системы и включает в себя модель организации процесса КОПЖТ, а также модели его участников.

Задача сохранения и развития единства процесса кадрового обеспечения предприятий с целью сохранения межпрофессиональных связей и взаимодействий приобретает особую значимость в условиях структурного реформирования железнодорожного транспорта и создания широкой сети дочерних и зависимых организаций по направлениям деятельности единого транспортного процесса. В качестве центра исследуемой системы рассматривается единая служба управления персоналом реформированной железной дороги.

Ключевые слова: кадровое обеспечение, подготовка кадров, адаптивная система, модель системы кадрового обеспечения, реформирование транспорта.

Annotation

The authors suggest the model of human resources support adaptive system for railway transport enterprises that allows to view the existing problems of the operating system and includes the model of process organization and also the models of its participants.

The aim of saving and development of enterprises' human resources support process unity for keeping inter-professional relations and interactions becomes more important in the conditions of railway transport structural reforming and creation of subsidiary and dependent organizations' wide network on the united transport process direction. The united service of reformed railway human resources' management is considered to be the center of the given system.

Key words: Human resources support, HR training, adaptive system, model of HR support system, transport reforms

В условиях структурного реформирования ОАО «РЖД» путем создания широкой сети дочерних зависимых организаций, формируемых по функциональному признаку, особую значимость приобретают задачи сохранения и развития единства подходов к процессу кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта. Вместе с тем нужно отметить, что с учетом перспектив развития экономики изменяются требования к системе КОПЖТ, в первую очередь к ее способности адаптироваться к изменяющимся целям объектов управления и условиям их работы. В то же время в ее структуре имеются элементы, не позволяющие мобильно реагировать на возникающие перемены, так как обладают самостоятельными целями, которые не всегда совпадают с целями самой системы. В числе таких элементов — работники предприятий. В связи с этим необходимо пересмотреть действующую модель КОПЖТ в части изменения позиции по вопросам взаимодействия всех составляющих ее элементов, их активности, сочетания интересов предприятий и отдельных работников и других участников системы кадрового обеспечения. Результатом совершенствования модели станет снижение финансовых и трудовых издержек на процесс формирования кадрового обеспечения за счет сокращения временного периода от момента возникновения изменений до момента восстановления режима стабильной работы, что особенно актуально в условиях ограничения ресурсов на маркетинговые исследования регионального рынка труда и затрат на подготовку и повышение квалификации персонала.

Адаптация (как процесс изменений) может быть реализована в двух направлениях. Первое направление рассматривает способность осуществить изменения в среде с целью сохранения поведения системы. Второе направление предполагает ее приспособление или преобразование к новым условиям среды, что в случае с рассматриваемой системой КОПЖТ более адекватно. Российский ученый В.И. Машкин рассматривает адаптивность системы «как свойство, отражающее ее способность быстро и гибко реагировать на любые изменения и вырабатывать адекватные управленческие команды, позволяющие сводить к минимуму действие возмущающих факторов... как основное свойство, обеспечивающее устойчивость деятельности» [1]. Чем выше адаптивность, тем эффективнее система и тем

больше ее способность совершенствоваться, тем быстрее и гибче она реагирует на внешние изменения — считает В.И. Машкин. На адаптивные способности системы непосредственное влияние оказывает адекватная оценка собственных внутренних резервов и их своевременное использование для внесения изменений в деятельность.

Под адаптивной (самоприспосабливающейся) системой будем понимать систему, изменяющую алгоритмы своего функционирования и свою структуру с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий. Чтобы система достигала нужного результата, должны быть обеспечены целостность и устойчивость ее деятельности. Для адаптивной системы характерны [1]:

- самоорганизующееся поведение;
- наличие элементов, принимающих решение;
- способность диагностировать необходимость приспособления;
- наличие обратных связей, за счет которых обеспечивается равновесие системы.

Модель адаптивной системы должна иметь [1]:

- гибкую внутреннюю структуру, позволяющую системе быстро перестроиться;
- открытую коммуникационную сеть, обеспечивающую непрерывный обмен информационными потоками;
- блок обучения, обеспечивающий целенаправленное обучение и тренировку работников в процессе самоорганизующегося поведения;
- блок диагностики внешних и внутренних изменений, обеспечивающий оценку факторов условий функционирования, характер и глубину изменений внешней и внутренней среды;
- блок принятия решений, формирующий механизм адаптации к изменяющимся условиям.

На наш взгляд, действующая модель системы кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта в основном включает в себя перечисленные элементы и обладает определенными адаптивными свойствами, а также учитывает:

- цели, задачи железнодорожного транспорта и конкретного предприятия;
- исходные условия функционирования системы КОПЖТ на современном этапе;
- внутреннюю структуру системы кадрового обеспечения в ОАО «РЖД»;
- влияние ситуационных факторов (внешняя и внутренняя среда предприятий железнодорожного транспорта).

Вместе с тем блок, который обеспечивает целенаправленное обучение и тренировку работников в процессе самоорганизующегося поведения, представляется проблемным, поскольку каждый из них обладает собственными целями, ценностями и установками, которые не всегда совпадают с аналогичными категориями самой организации, что приводит к снижению устойчивости и целостности деятельности системы. Таким образом, требуется некоторое совершенствование модели. С этой целью рассмотрим кадровое обеспечение предприятий как отдельное направление производственной деятельности с использованием позиционной теории управления, которая отражает взгляд на организацию коллективной деятельности через призму способностей человека. Совершенствование модели поведем по пути развития адаптивных свойств системы.

Предлагаемая макро модель адаптивной системы КОПЖТ (рис. 1) включает в себя модель организации процесса кадрового обеспечения и модели его участников, каждая из которых должна обладать самостоятельными адаптивными свойствами [2].



Рисунок 1 — Макромодель адаптивной системы кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта

Контур 1 — 2 отражает менеджмент в части формирования заказа на подготовку работников под конкретное рабочее место и получение обратной связи о результатах деятельности по подготовке КОПЖТ со стороны производства. Система кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта является многоуровневой, цель ее существования выражена в ряде корпоративных документов. Эта цель структурируется, т. е. разбивается на подцели отдельных элементов системы, отвечающих за тот или иной участок деятельности по данному контуру. Целостность деятельности этого контура, обеспечивающего реализацию целевых установок, достигается путем установления связей между уровнями управления. Регулирование процессов совместных действий и взаимодействий элементов осуществляется через механизмы прогнозирования, планирования, контроля и стимулирования, которые, в свою очередь, ориентируют участников процессов на реализацию определенного, нужного для организации поведения и определяют важность тех или иных параметров функционирования. При этом остаются открытыми вопросы: как учитываются собственные индивидуальные цели каждого из элементов, которые могут не совпадать с едиными целями всей системы, и каким образом могут быть приняты решения, следствия которых были бы максимально выгодными, в том числе для системы в целом.

Контур 3 — 4 формируется вследствие необходимости непосредственного активного участия в процессе подготовки кадров самих работников. Адаптивное поведение имеет рисунок целенаправленного изменения параметров, структуры и свойства объекта, которым в данном случае является и отдельный работник, и суммарно — кадры предприятия. При этом «если деятельность человека представить как движение к какой-то цели, то ее можно изобразить в виде некоего вектора. В этом случае направленность вектора будет определяться целями деятельности, а величина — готовностью человека прилагать какие-то усилия для достижения этих целей» [1]. В свою очередь, вектор совокупного результата адаптивного поведения трудового коллектива будет тем больше, чем выше степень адаптивности каждого из работников в отдельности. Работники, как элементы производственной системы, должны соотносить свои цели с целями предприятия, всей системы в процессе выбора той или иной стратегии поведения, что достигается прямым или косвенным управляющим воздействием на их выбор. Управляемость же достигается разным уровнем воздействия на каждого из них в зависимости от специфики их мотивационной сферы. При этом желательно, чтобы работники к процессам изменений относились сознательно и участвовали в управлении ими. Таким образом, возникает вопрос о необходимости формирования адаптивного поведения элементов системы (работников предприятий) внутри самой системы КОПЖТ.

Для того чтобы ответить на поставленные вопросы, классифицируем кадровое обеспечение предприятий железнодорожного транспорта как систему по ряду признаков [3]:

- по открытости — системы могут быть закрытыми и открытыми;
- по виду отображаемого объекта — техническими, биологическими, экономическими и др.;
- по типу целеустремленности — детерминированными и стохастическими (вероятностными, в том числе игровыми);
- по сложности структуры — простыми, сложными, очень сложными (слабодетерминированными);
- по уровню активности — активными и пассивными;
- по степени организации — сильноорганизованными, слабоорганизованными, самоорганизующимися.

С учетом выделенных признаков систему КОПЖТ можно определить как открытую, социально-экономическую, активную, сложную. Вместе с тем имеются трудности классификации по типу целеустремленности. Детерминированной считается такая система, в которой составные части взаимодействуют друг с другом точно предвиденным образом. Ее поведение предсказуемо, если известны текущие состояния элементов и законы преобразования информации, циркулирующей между ними. Рассматривая данную систему в рамках существующей сегодня отраслевой ориентации, можно выявить все признаки, позволяющие отнести ее к числу детерминированных: имеются службы, деятельность которых достаточно регламентирована и хорошо предсказуема (контур 1 — 2 предложенной модели). В связи с этим можно ответить на часть ранее поставленных вопросов. Во-первых, собственные индивидуальные цели каждого из элементов по контуру 1 — 2 не могут не совпадать с едиными целями всей системы; во-вторых, решения, следствия которых были бы максимально выгодными, в том числе для системы в целом, должны приниматься в соответствии с установленными регламентами и нормативными документами ОАО «РЖД».

Вместе с тем для рисунка поведения элементов контура 3 — 4 предложенной модели характерно проявление самостоятельности и осуществление собственного выбора, в основе которого лежат цели, соображения и критерии, в той или иной степени неизвестные управляющему (координирующему) центру. То есть поведение части элементов системы можно описать как теоретико-игровое (стохастическое). Таким образом, при классификации по типу целеустремленности имеем наличие дуальности характеристик и учитываем этот факт при моделировании системы кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта. Наличие управляющего и координирующего деятельность системы центра в виде департамента управления персоналом и соответствующих центров последующих уровней — служб управления персоналом предприятий — филиалов ОАО «РЖД» — определяет ее активность. «Задача управления активной системой, элементы которой способны к целенаправленному поведению, состоит в том, чтобы создать для управляемых субъектов (агентов) игру с такими правилами, чтобы ее исход (набор действий агентов) был как можно более благоприятным для управляющего органа (центра). Сам центр не входит в число игроков, а лишь формирует условия их взаимодействия («правила игры»)» — так считает Роберт Ауманн, классик теории игр [4]. Разработка таких правил позволит решить проблему формирования адаптивного поведения работников предприятий как элементов системы КОПЖТ.

Возможность принятия оптимальных решений при наличии многих субъектов, преследующих разные цели, изучает теория игр [4], используя которую выполнен анализ и формализованное описание деятельности системы кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта с учетом проведенной классификации.

«Википедия» определяет термин «игра» как «процесс, в котором участвуют две и более сторон, ведущих борьбу за реализацию своих интересов. Каждая из сторон имеет свою цель и использует некоторую стратегию, которая может вести к выигрышу или проигрышу — в зависимости от поведения других игроков» [5].

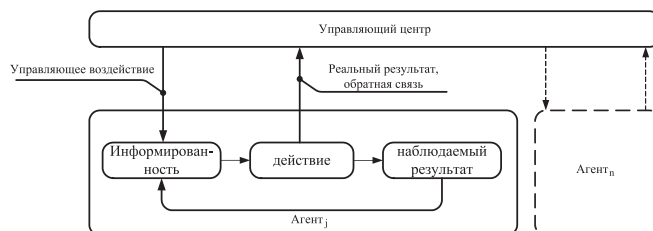


Рисунок 2 — Модель управления адаптивной системой КОПЖТ

Управляющим центром исследуемой системы (рис. 2) является единая служба управления персоналом реформированной железной дороги (АЭ_{ij}), агентами — активными элементами выступают ресурсные центры подготовки кадров, учебные центры, а также широкий спектр образовательных организаций и учреждений (вузы, колледжи, техникумы, профессиональные училища и т. п.) [6]. Также в качестве агентов необходимо учитывать собственно работников предприятий ОАО «РЖД», включая потенциальных. Причем именно их поведение, точнее, формирование его заданного рисунка нас интересует в большей степени.

Игровая неопределенность ситуации принятия решений несколькими агентами при заданных управлениях со стороны управляющего центра заключается во множестве возможных (но неизвестных в полной мере) вариантов поведения всех активных элементов системы. В качестве средства для снижения степени неопределенности и обеспечения возможности формирования адаптивного поведения выступает информация, точнее, взаимообмен информацией системы с внешней средой. Для описания коллективного поведения агентов недостаточно определить варианты их выбора по отдельности, необходимо учитывать их взаимное влияние. В любом случае рациональное поведение предполагает, что агент ведет себя таким образом, чтобы выбранное им действие максимизировало значение его целевой функции. Целевые же установки деятельности исследуемой системы в целом и каждого ее элемента, а также способы их стимулирования, в том числе в виде выделения ресурсов для достижения определенных целей, выступают в качестве системообразующих факторов [7]. Итак, пусть центр АЭ_{ij} выбирает действие $y_{ij} \in A_{ij}$. При этом он получает от j -го промежуточного центра стимулирование $\sigma_{ij}(y_i) \in M_{ij}$ и несет затраты $c_{ij}(y_{ij})$, где $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{n_jj}) \notin A_j = \prod_{i=1}^{n_j} A_{ij}$ — вектор действий активных элементов j -й подсистемы. Таким образом, целевая функция АЭ имеет вид

$$f_{ij}(y_j) = \sigma_{ij}(y_j) - c_{ij}(y_{ij}), i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}.$$

Центр получает доход $H(Y)$ (требуемый уровень кадрового обеспечения), зависящий от результатов деятельности подсистем, где $Y = (Y^1, \dots, Y^2, \dots, Y^n) \in A = \prod_j A^j$, и несет затраты на стимулирование центров промежуточного уровня $\sum_{j=1}^n \sigma_j(Y^j)$, т. е. его целевая функция имеет вид

$$\Phi(Y) = H(Y) - \sum_{j=1}^n \sigma_j(Y^j). \quad (1)$$

Порядок функционирования активной системы характеризуется тем, что центр определяет систему стимулирования центров промежуточного уровня $\{\sigma_j(Y^j)\}$, затем каждый из них назначает системы стимулирования подчиненных ему активных элементов $\{\sigma_j(y_j)\}$, и, наконец, активные элементы выбирают свои действия, тем самым определяя значения целевых функций всех участников системы.

Каждой цели организационной системы c_a можно поставить в соответствие семейство задач $\{D^{\alpha_j}\}$, $j=1, \dots, \mu_a$, связанных с реализацией этой цели. При определении соответствия задач, решаемых элементами существующей структуры управления $G=(Z, W)$, множеству задач, решение которых необходимо для реализации соответствующих целей системы управления,

$$D = \{D^{\alpha_j} : \alpha \in A, j=1, \dots, \mu_a\}. \quad (2)$$

Пусть $p^{\alpha_j}(\zeta)$ — относительная загрузка элемента $\zeta \in Z$ решением задачи D^{α_j} , так что

$$\sum_{\alpha \in A} \sum_{j=1}^{\mu_a} p^{\alpha_j}(\zeta) = 1. \quad (3)$$

Используя относительную загруженность элемента задачами, относящимися к той или иной цели, можно определить вектор распределения задач, решаемых элементом ζ , по уровням иерархии, соответствующей дереву целей:

$$P(\zeta) = (P_1(\zeta), P_2(\zeta), \dots, P_L(\zeta)), \quad (4)$$

где $P_\lambda(\zeta) = \sum_{\alpha \in A, |\alpha|=\lambda} \sum_{j=1}^{\mu_a} p^{\alpha_j}(\zeta)$ — относительная загруженность

элемента ζ решением задач управления, соответствующих целям λ -го уровня дерева целей.

С учетом вышеизложенного рассмотрим возможные варианты принятия решений агентами, каждый из которых порождает определенную концепцию равновесия, т. е. определяет, в каком смысле устойчивым должен быть прогнозируемый исход игры, в нашем случае — состояние кадрового обеспечения предприятий филиала ОАО «РЖД». Поскольку мы имеем дело с системой, элементы которой объединены общей целью, то множество наилучших вариантов решений части агентов не будет зависеть от обстановки, т. е. можно говорить о наличии доминантных стратегий поведения [4]. Для их реализации каждому из агентов достаточно знания только своей целевой функции. Таким образом, формируется задача создания перечня возможных рисунков поведения части элементов модели системы по контуру 1 — 2 и реакций управляющего центра в зависимости от их разнообразия, решение которой может быть организовано в рамках формализации процесса подготовки кадров. В то же время по контуру 3 — 4 нас интересует не вероятность конкретного рисунка адаптивного поведения, а заданность его формирования.

С целью решения такой задачи рассмотрим модель работника предприятия ОАО «РЖД», иерархия элементов которой представлена на рис. 3.

Модель состоит из ряда взаимозависимых элементов:

- личностных особенностей;
- общекультурных компетенций;
- психофизиологических особенностей;
- особенностей потребностно-мотивационной сферы;
- профессиональных компетенций — знаний, умений, навыков решения проблемных задач;
- направлений деятельности, характерных для данного рабочего места;



Рисунок 3 — Иерархия элементов модели работника предприятия ОАО «РЖД»

- обобщенного перечня функций конкретного рабочего места, должности;
- требуемого образовательного уровня подготовки работника;
- зоны ближайшего развития работника.

Основополагающим элементом обобщенной модели работника является перечень характерных для него направлений деятельности с учетом специфики предприятия. Элемент модели «обобщенные психофизиологические характеристики» присутствует не всегда, но для предприятий железнодорожного транспорта является обязательным. Определение профессионально-квалификационной группы работника происходит с учетом организационной структуры предприятия. Личностно-образовательный уровень складывается из компетенций профессиональных и общекультурных, которые, в свою очередь, определяют возможности карьеры работника и зону его ближайшего развития: расстояние между уровнем его актуального развития, определяемым с помощью профессиональных задач, решаемых в данный момент самостоятельно, и уровнем возможного развития, определяемым с помощью профессиональных задач, решаемых под руководством или в сотрудничестве с более опытными работниками. Величина зоны ближайшего развития работника (ЗБРР) определяет, с нашей точки зрения, его адаптивные свойства: чем она больше, тем выше его адаптивность к происходящим изменениям. Таким образом, задача формирования адаптивного поведения становится задачей расширения ЗБРР, решение которой возможно при наличии мотивации работника к самообучению, проявлении собственной активности в направлении освоения им смежных отраслей знаний, профессий, должностей.

Эффективность системы — это свойство системы выполнять поставленную цель в заданных условиях использования и с определенным качеством. Процесс формирования кадрового потенциала и система КОПЖТ могут считаться эффективными, если основное производство стабильно и бесперебойно обеспечивается кадрами, которые по своим профессиональным и личностным характеристикам соответствуют целям организации, спросу микро- и макросреды, что выражается в следующих показателях: повышении производительности труда работников, росте его качества, снижении текучести персонала, росте его удовлетворенности, формировании приверженности ценностям

организации [8]. Последний из перечисленных показателей наименее исследован и потому наиболее проблемный. Уровень приверженности работников ценностям организации в значительной мере определяет степень восприимчивости работников к управляющим воздействиям — внешним (зарплата, льготы, рабочие условия) и внутренним (содержание выполняемой работы, возможности профессионального роста, признание и оценка достижений). Приверженные работники в большей степени склонны к проявлению творчества и инициативы, что очень важно для сохранения конкурентоспособности предприятия [9]. Необходимость изучения данного показателя и механизма его формирования на протяжении всего трудового пути работника будет учтена в процессе совершенствования действующей модели КОПЖТ.

Предложенная нами модель позволяет учесть существующие проблемы системы КОПЖТ, сформулировать перспективные направления в области ее совершенствования. От действующей она отличается развитием адаптивных свойств, учетом социальных и экономических интересов работников и интересов предприятий. Эффективность разработанной модели можно оценить с точки зрения затрат: максимальный результат деятельности конкретного предприятия и железнодорожного транспорта в целом должен достигаться с наименьшими затратами ресурсов, т. е. развитие адаптивных свойств элементов системы должно привести к минимизации расходов на подготовку кадрового обеспечения.

Литература

1. Машкин В.И. Основные положения позиционной теории управления. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pozmetod.ru/postech/Upr2/part_2.html (дата обращения: 11.02.2011).
2. Оськина М.Н. Подготовка кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта в условиях университетского комплекса // Сб. науч. тр. Екатеринбург : УрГУПС. 2010. № 85 (168). С.108 — 117.
3. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операции. М. : Высшая школа, 1966. 331 с.
4. Губко М.В., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Элементы теории игр. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mtas.ru/uploads/file_45.pdf (дата обращения: 10.02.2011).
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/Системный_анализ
6. Малыгин Е.А. Моделирование организационной структуры подготовки специалистов железнодорожного транспорта // Современные устройства и системы автоматизации, информатики и связи: Сб. науч. тр. Екатеринбург : УрГУПС. 2006. № 44 (127). С. 73 — 78.
7. Малыгин Е.А. Организация кадрового обеспечения производственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта на основе моделей структурной оптимизации : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург : УрГУПС, 2005. 26 с.
8. Тартышева Н.А. Формирование механизма адаптивного организационного поведения персонала в промышленных корпорациях. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ncstu.ru> (дата обращения: 10.12.2010).
9. Гавриленко О.В. Формирование приверженности персонала в контексте управления организационной культурой. [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.socio.msu.ru/l>

References

1. Mashkin V.I. Osnovnye polozheniya pozitsionnoy teorii upravleniya URL: http://www.pozmetod.ru/postech/Upr2/part_2.html (data obrashcheniya: 11.02.2011).
2. Oskina M.N. Podgotovka kadrovogo obespecheniya predpriyatij zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh universitetskogo kompleksa // Sb. nauch. tr. Ekaterinburg, 201085(168). S. 108-117.
3. Degtyarev Yu.I. Sistemnyj analiz i issledovanie operatsii. M.: Vysshaya shkola, 1966. 331 s.
4. M.V.Gubko, D.A.Novikov, A.G. Chartishvili. Elementy teorii igr URL http://www.mtas.ru/uploads/file_45.pdf (data obrashcheniya: 10.02.2011).
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/Systemny_analys
6. Malygin E.A. Modelirovanie organizatsionnoy struktury podgotovki spetsialistov zheleznodorozhnogo transporta// Sovremennye ustrojstva i sistemy avtomatiki, informatiki i svyazi: Sb. nauch. tr. Ekaterinburg: UrGUPS, 2006. 44 (127). S. 73-78.
7. Malygin E.A. Organizatsiya kadrovogo obespecheniya proizvodstvennoj deyatel'nosti predpriyatij zheleznodorozhnogo transporta na osnove modelej strukturnoj optimizatsii avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk. Ekaterinburg: UrGUPS, 2005. 26 s.
8. Tartyшева N.A. Formirovanie mekhanizma adaptivnogo organizatsionnogo povedeniya personala v promyshlennykh korporatsiyakh avtoreferat, Stavropol, 2007 URL: <http://www.ncstu.ru>. (data obrashcheniya: 10.12.2010).
9. Gavrilenko O.V. Formirovanie priverzhennosti personala v kontekste upravleniya organizatsionnoj kulturoj URL: <http://lib.socio.msu.ru/l>

УДК 656.25

Екатерина Валерьевна Паршина, ведущий инженер НИЧ НИЛ КСА УрГУПС, соискатель по кафедре «Связь»

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДОСТОВЕРНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА В РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ПРИ СОГЛАСОВАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Ekaterina V. Parshina, key engineer of NICH NIL KSA USURT. Applicant of "Telecommunications" chair

Reliability parameters' estimation of useful signal detection in a railway line with matched filtering

Аннотация

Статья посвящена принципу оценки результатов применения метода согласованной фильтрации для повышения помехоустойчивости рельсового канала передачи информации. Предложен алгоритм и способ, позволяющие повысить вероятность безошибочного приема информации о показаниях огней путевых светофоров. Ввиду актуальности проблемы низкой помехоустойчивости системы АЛСН результаты, изложенные в статье, имеют высокую практическую значимость. Сделан вывод, что предложенный способ по помехоустойчивости превосходит по характеристикам обнаружения полезного сигнала в рельсовой цепи используемую в настоящее время систему АЛСН.

Ключевые слова: автокорреляционная функция, согласованный фильтр, вероятность ложной тревоги, имитационная модель, сигнал Баркера, сигнал/шум.

Annotation

The article is devoted to the principle of matched filtering method estimation for rail channel noise resistance increase of information transfer. There is offered the algorithm and method that allow to increase the probability of correct information receive of traffic lights. As the low noise resistance of ALSH system the results given in the article are significant in practice. There is made the conclusion that the offered method of noise resistance ranks over the present ALSH system by the characteristics of useful signal detection in a railway chain.

Key words: autocorrelation function, matched filter, probability of false alarm, simulation model, Barker signal, signal/noise.

На протяжении многих десятилетий основным устройством, обеспечивающим контроль нахождения подвижного состава на участках пути и выполняющим функции передачи телемеханической информации на локомотив, являлись рельсовые цепи (РЦ). Система автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия (АЛСН), созданная на базе РЦ, до сих пор продолжает эксплуатироваться на большей части сети железных дорог РФ и стран СНГ, хотя ее характеристики не удовлетворяют современным требованиям по надежности работы.

Число отказов и сбоев в работе системы АЛСН достаточно велико (порядка 300 тыс. в год), и одной из основных причин этого является высокий уровень помех в рельсовой цепи. Машинист при частых сбоях вынужден отключать систему и вмешиваться в ее работу. Неустойчивая работа АЛСН вызывает задержки поездов и нарушение графика исполненного движения (например, экстренное торможение, которое влечет за собой экономические потери, вызванные увеличением времени хода, перерасходом электроэнергии, утомляемостью машиниста).

Кроме того, в данный момент активно развивается движение высокоскоростных поездов. Поэтому исследование каналов передачи информации на локомотив, обладающих более высоким по сравнению с АЛСН быстродействием и помехоустойчивостью, является актуальной задачей.

Повышение помехоустойчивости АЛС и качественное сокращение количества сбоев в работе этой системы является одним из стратегических направлений научно-технического развития ОАО «РЖД» до 2015 г., способствующих повышению безопасности, повышению скоростей движения.

Эти обстоятельства определили тот факт, что работы по разработке, исследованию и оптимизации характеристик каналов передачи информации с использованием РЦ не прекращены, а продолжают. Основными направлениями совершенствования существующих РЦ являются применение новых методов преобразования, приема и передачи сигналов по рельсовой линии и использование современной микроэлектронной элементной базы.

В [1] было предложено использовать для передачи по РЦ показаний путевых светофоров сигналы определенной структуры [2] с характерной автокорреляционной функцией. Повышение помехозащищенности передаваемой по рельсовой

цепи информации обеспечивается за счет применения на приемном конце канала метода согласованной фильтрации — оптимального обнаружения.

Известно [3], что основной задачей оптимального обнаружения сигнала является установление следующего: содержит ли принятое из линии колебание $S_{\text{вх}}(t)$ полезный сигнал или нет. Эту задачу решает обнаружитель сигнала. На его вход поступает колебание $S_{\text{вх}}(t)$, которое при отсутствии сигнала представляет собой шум $n(t)$: $S_{\text{вх}}(t) = n(t)$, а при наличии сигнала $u(t)$ сумму шума и сигнала: $S_{\text{вх}}(t) = n(t) + u(t)$. Если ожидаемый полезный сигнал $u(t)$ полностью известен, т. е. известны его форма, амплитуда, временное положение, то обнаружитель такого сигнала должен выработать решение о наличии или отсутствии сигнала в виде некоторой решающей функции x , которая в зависимости от результата анализа поступающего колебания может принимать одно из двух значений: либо 0, либо 1. Первое свидетельствует об отсутствии полезного сигнала, второе свидетельствует о наличии полезного сигнала.

При оптимальном приеме сигналов с заранее известными характеристиками канала, сигнала и помехи необходимо получить оптимальное приемное или решающее устройство, которое принимало бы решение с наименьшими ошибками (т. е. вероятность появления ложной тревоги F или ошибки первого рода и вероятность пропуска полезного сигнала H были бы минимальными).

Применительно к задаче определения состояния огней путевого светофора необходимо получить решающее устройство, которое будет принимать решение о наличии в рельсовой цепи сигнала, соответствующего определенному показанию огня путевого светофора. При этом одинаково недопустимо появление состояний решающего устройства, характеризующихся вероятностями F и H . Состояние с вероятностью F — ложная тревога или ошибка первого рода — является наиболее недопустимым, особенно если соответствует смене сигнального показания с менее разрешающего на более разрешающее.

Поэтому при решении задачи оптимального обнаружения сигнала с заранее известными параметрами необходимо определить количественные характеристики обнаружителя в условиях действия помех: вероятности правильного принятия сигнала; вероятности ошибочного принятия решения; порог обнаружения в условиях действия помех различной мощности. Для оценки принятия решения известны следующие критерии: критерий Неймана — Пирсона; идеальный наблюдатель; последовательный наблюдатель.

С учетом требований, предъявляемых к системам железнодорожной автоматики, для оценки параметров помехоустойчивости предложенного метода передачи информации по рельсовой цепи будет использован критерий Неймана — Пирсона, при котором вероятность ложной тревоги фиксируется и оптимизация приемника достигается максимизацией правильности обнаружения сигнала D на фоне шума при заданной вероятности ложной тревоги.

В идеальном случае при вероятности ложной тревоги $F = 10^{-6}$ уровень сигнала по напряжению в канале должен быть не менее чем в 2,3 раза больше уровня шума для обеспечения вероятности D обнаружения, близкой к единице (0,99 и более). Однако рельсовая цепь как канал связи применительно к сигналу АЛСН в условиях воздействия непрерывных помех

характеризуется достаточно низкими отношениями сигнал/помеха — 3 — 4 дБ (по току). К тому же принцип функционирования АЛСН обеспечивает F порядка 10^{-2} и больше, что и приводит к большому количеству сбоев в работе этой системы. Задачей оценки параметров обнаружения полезного сигнала с использованием метода согласованной фильтрации является определение порога срабатывания решающего устройства, обеспечивающего F не более 10^{-3} , и его зависимость от уровня шума в канале связи. Рассмотрение этого вопроса обусловлено также тем, что для кодирования сигналов в данной работе используются сигналы, полученные путем циклической перестановки 13-позиционного сигнала Баркера [2] и, таким образом, обладающие похожими свойствами и имеющие между собой достаточно большие амплитуды боковых лепестков ВКФ — взаимно-корреляционной функции.

Решающие устройства не должны ложно срабатывать на большие пики ВКФ других сигналов, используемых для кодирования показаний путевого светофора при определенном уровне шума в канале связи.

Важной задачей при имитационном моделировании является исследование влияния на сигнал помех в канале связи. Помехи в канале связи — как импульсные, так и флуктуационные — представляют собой случайный процесс. Флуктуационные помехи — это случайный непрерывный процесс, импульсные помехи — это в общем случае последовательность импульсов произвольной формы, амплитуды и длительности, появляющихся в случайные моменты времени.

Характер помех зависит от свойств источника и от полосы пропускания устройства, с выхода которого эти помехи снимаются. Важно отметить, что при прохождении импульсных помех через узкополосный фильтр и в большом числе импульсных помех на входе узкополосного фильтра на его выходе импульсные помехи принимают флуктуационный характер [4].

Распределение амплитуд флуктуационных помех наиболее часто описывается нормальным законом (гауссовский шум). Таким образом, при моделировании можно использовать в качестве флуктуационной помехи стандартную модель помехи с распределением мгновенных значений амплитуды по нормальному закону (белый шум).

Большинство источников помех промышленного происхождения, в том числе в рельсовой цепи, формируют импульсные помехи. Импульсные помехи в рельсовой цепи обусловлены асимметрией тягового тока в рельсовых нитях. В данной работе для борьбы с импульсными помехами предлагается схема ШОУ с использованием ограничителя амплитуды, который усекает амплитуду импульсной помехи. Кроме того, важно отметить, что в случае сигналов, которые выбраны для кодирования показаний путевых светофоров, длительность импульса сигнала намного превышает длительность импульсной помехи. Тем самым мешающее действие импульсной помехи для имитационной модели сводится к минимуму.

Для моделирования работы оптимального обнаружителя в методе передачи и приема информации на согласованный фильтр будет использована подсистема моделирования динамических процессов SIMULINK.

Функциональная схема имитационной модели передачи сигналов в зашумленном канале и приема их на согласованный фильтр представлена на рис. 1.

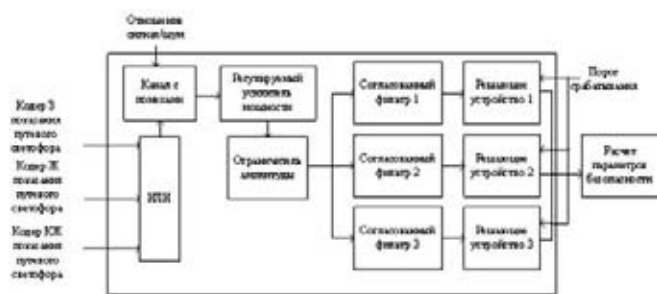


Рисунок 1 — Функциональная схема имитационной модели передачи сигналов в зашумленном канале и приема их на согласованный фильтр

В данной схеме используется канал связи с белым шумом, в котором задается отношение энергии сигнала к спектральной плотности мощности в децибелах, тем самым обеспечивая определенное отношение сигнал/шум по напряжению.

Получаемый из канала сигнал может быть усилен по мощности, после чего попадает на ограничитель амплитуды и далее — на согласованные фильтры. На одном из них, импульсная характеристика которого согласована с сигналом, поступающим в канал связи, формируется АКФ, главный лепесток которой попадает на решающее устройство. Решающее устройство имеет заданный порог для принятия решения о наличии или отсутствии в канале связи полезного сигнала, соответствующего текущему показанию путевого светофора. Для кодирования показаний путевых светофоров выбраны следующие: основной сигнал Баркера; 4-я перестановка основного сигнала Баркера; 9-я перестановка основного сигнала Баркера.

В ходе эксперимента было установлено, что применение предложенного метода непосредственно с использованием сигналов циклических перестановок основного сигнала Баркера без дополнительных параметров идентификации их между собой, несмотря на достоверное обнаружение полезного сигнала, дает высокую вероятность ошибки первого рода по другим каналам. Устранение данного недостатка возможно алгоритмическим путем с учетом свойств сигналов, полученных путем циклической перестановки сигнала Баркера.

В ходе проведения экспериментов отмечено, что максимальные амплитуды боковых лепестков сигналов, полученных путем циклической перестановки, не приходятся на момент окончания действия сигнала (рис. 2), т. е. если выделять только 13-й лепесток АКФ, можно значительно уменьшить ошибку первого рода.

Эта особенность при использовании данного алгоритма позволит увеличить количество используемых комбинаций для кодирования показаний путевых светофоров практически до общего числа сигналов, полученных путем циклической перестановки, и, несмотря на усложнение структуры приемника, однозначно увеличит защищенность приемника от воздействия взаимно-коррелированных сигналов.

Также улучшить показатели помехоустойчивости канала передачи информации по рельсовой цепи можно введением системы ШОУ (широкая полоса — ограничитель — узкая полоса) на стороне приема. Как отмечено, ШОУ эффективно

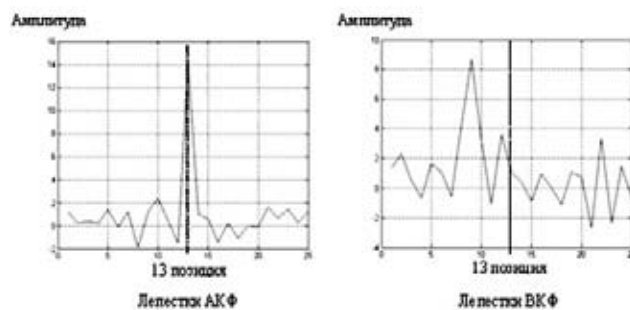


Рисунок 2 — Распределение амплитуд лепестков АКФ и ВКФ

подавляет импульсные помехи. Амплитудный ограничитель, установленный на входе системы, позволит привести амплитуду входного сигнала к заданному уровню.

В программной модели обеспечим предварительное усиление входного сигнала и ограничение его амплитуды до амплитуды парциального импульса. После этого обрабатываем сигнал на СФ. При этом получим следующие результаты (рис. 3). Порог обнаружения может быть значительно понижен для различных отношений сигнал/шум на входе приемника: до 6 для 3 дБ; до 8 — для 4,8 и 6 дБ. Сигнал мощнее обнаруживается однозначно и безошибочно во всем диапазоне.

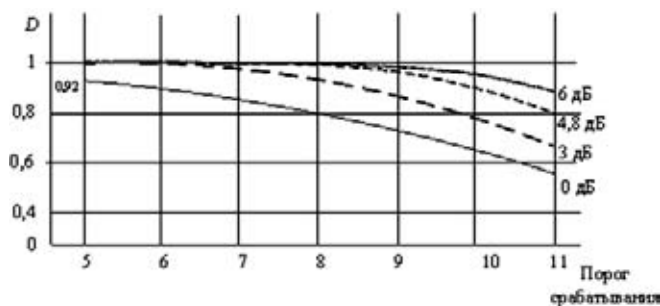


Рисунок 3 — Вероятность обнаружения полезного сигнала при различных отношениях сигнал/шум

Применением системы ШОУ мы получаем запас по мощности относительно приема без нее. Важно отметить, что даже при самых плохих условиях для передачи сигнала по рельсовой цепи (при 0 дБ) сигнал обнаружится с вероятностью 0,92 при пороге в 5. Понижив порог, можно добиться повышения вероятности обнаружения, но при этом повышется также вероятность срабатывания обнаружителя на ВКФ.

Самый положительный эффект, который достигается применением ШОУ, полностью устраняет влияние ВКФ (ложная тревога от остальных сигналов, используемых в системе).

Ошибка первого рода с вероятностями, показанными на рис. 4, проявляется только при низких отношениях сигнал/шум (порядка 0 дБ) при понижении порога срабатывания до 5 — 6.

В результате моделирования доказано, что предложенный способ использования кодовых комбинаций с преамбулой для анализа 13-го импульса с выхода СФ позволяет достичь требуемых показателей безопасности работы системы и дает возможность использовать для кодирования показаний путевого

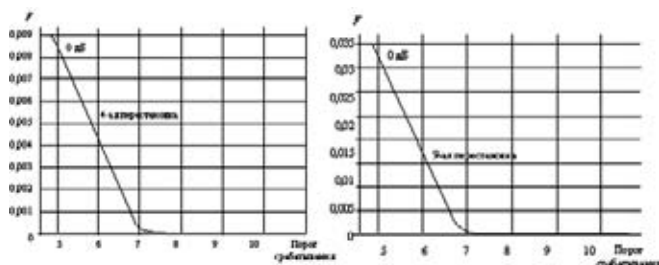


Рисунок 4 — Ошибки первого рода от ВКФ сигналов, полученных путем циклической перестановки основного сигнала Баркера

светофора сигналы, полученные путем циклической перестановки основного сигнала Баркера.

Доказано, что полезный сигнал обнаруживается с вероятностью минимум 0,998 и выше при установлении порога решающего устройства в диапазоне: от 5 до 10 при отношении сигнал/шум 3 — 6 дБ, от 10 до 11 при отношении сигнал/шум 7 дБ и выше.

При отношении сигнал/шум в рельсовой цепи ниже 3 дБ порог решающего устройства должен быть не выше 5.

По сравнению с традиционной АЛСН с Рлт от 1 — 0,01 предложенный способ позволяет защитить сигналы и обеспечить при самых плохих условиях влияния ВКФ F от 0,0045 (при отношении сигнал/шум меньше 3 дБ) и менее для порога срабатывания 6, что на порядок повышает помехозащищенность предложенного способа передачи по сравнению с АЛСН.

Литература

1. Михалев А.Н., Паршина Е.В. Обеспечение высокой помехоустойчивости и надежности систем АБ и АЛС // Транспорт Урала. 2008. № 4 (19). с. 70 — 73.
2. Паршина Е.В. Синтез двоичных сигналов, обеспечивающих максимально достижимую помехоустойчивость системы АЛС // Транспорт Урала. 2009. № 2 (21). с. 36 — 38.
3. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем : учебное пособие для вузов. М. : Радио и связь, 1986. 280 с.
4. Венчковский Л.Б. Помехи в каналах телемеханики. М.-Л. : Энергия, 1966. 96 с.

References

1. Mikhalev A.N., Parshina E.V. Obespechenie vysokoy pomekhoustojchivosti i nadezhnosti sistem AB i ALS // Transport Urala. 2008. №4 (19). S. 70 – 73
2. Parshina E.V. Sintez dvoichnykh signalov obespechivayushchikh maksimalno dostizhimuyu pomekhoustojchivost sistemy ALS // Transport Urala. 2009. №2 (21). S. 36 – 38.
3. Ljozin Yu.S. Vvedenie v teoriyu i tekhniku radiotekhnicheskikh system: Uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Radio i svyaz, 1986. 280 s., il.
4. Venchkovsky L.B. Pomekhi v kanalakh telemekhaniki. M. — L.: Energiya, 1966. 96 s.

УДК 533.915

Александр Владимирович Жебанов, аспирант кафедры « Физика и ЭТ», преподаватель кафедры «Вагоны» Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС)

ПОЛНЫЙ ЦИКЛ РАБОТЫ ЦИСТЕРНЫ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ: ОТ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ДО УТИЛИЗАЦИИ

Alexander V. Zhebanov, PhD student of “Physics and EP”, lecturer of “Railway cars” chair of Samara State University of Transport

Full cycle of cistern operation with heat insulation: from plating to utilization

Аннотация

Предложено техническое решение для стимулирования и развития конкурентоспособности железнодорожных перевозок на транспортном рынке.

Разработан способ теплоизоляции поверхности железнодорожных цистерн (теплоизоляция котла цистерны специальным составом пенополиуретана), позволяющий значительно удешевить перевозки вязких и застывающих продуктов, снизить материальные затраты при выгрузке (по энергозатратам) и сократить время выгрузки до технологического минимума.

Приведено техническое решение нанесения, эксплуатации и ремонта теплоизоляционного слоя, а также утилизации отслужившего слоя (вторичная переработка).

Ключевые слова: перевозка вязких и застывающих грузов, модификация цистерны, теплоизоляционный слой котла цистерны, нанесение, эксплуатация, ремонт теплоизоляционного слоя, методы утилизации покрытия.

Annotation

There is offered the technical decision for stimulation and development of rail transportation competitiveness on the transport market.

There is developed the method of rail tank car surface heat insulation (rail tank barrel heat insulation with specific polyurethane foam) that allows to reduce transportation price of viscous and solidifying products, reduce material costs at unloading (by power inputs) and to reduce unloading time to technological minimum.

There is given the technical decision of coating, maintenance and repair of heat insulation layer and also served layer utilization (retreatment).

Key words: transportation of viscous and solidifying products, rail tank modification, heat insulation layer of a rail tank barrel, coating, maintenance, heat insulation layer repair, methods of coating utilization.

Ускоренный поиск и развитие энергосберегающих технологий в различных отраслях промышленности, в том числе на железнодорожном транспорте, во многом объясняется ростом тарифов на электроэнергию и прочие энергоресурсы. Внедрение и усовершенствование таких технологий с учетом особенностей строения, функций парка вагонов стимулирует и развитие конкурентоспособности на транспортном рынке, оставляя преимущество за железнодорожными перевозками.

В целях решения данной задачи разработан способ теплоизоляции поверхности железнодорожных цистерн, позволяющий значительно удешевить перевозки вязких и застывающих продуктов, снизить материальные затраты при выгрузке (по энергозатратам) и сократить время выгрузки до технологического минимума.

Перевозка нефти и нефтепродуктов, масел и смазки, жирных кислот и пр. приводит к их застыванию, что, в свою очередь, вызывает необходимость разогрева.

Такие перевозки осуществляются либо в цистернах с оборудованием для подогрева и с теплоизоляцией, либо в «обычных» необорудованных цистернах. В последнем случае возникает необходимость разогрева перевозимого продукта непосредственно перед выгрузкой, хотя стоимость используемого оборудования и эксплуатации зачастую оказывается меньшей. Предложено объединить преимущества этих двух подходов: нанести на поверхность железнодорожной цистерны слой теплоизоляционного покрытия специального состава пенополиуретана (срок службы — 30 лет) и использовать для транспортировки груза без застывания (рис. 1). При этом стоимость модифицированной цистерны возрастает на 5 — 10%, а затраты на перевозку, выгрузку и простой вагонов снижаются в несколько раз [1].

Данный подход имеет ряд достоинств:

- надежная теплоизоляция значительно сокращает сроки выгрузки за счет снижения тепловых потерь на стадии перевозки;
- срок службы теплоизоляции соизмерим со сроком службы цистерны;
- теплоизолирующее покрытие легко счищается и восстанавливается, что очень выгодно при проведении диагностики и ремонтов;
- имеется возможность покраски и нанесения маркировки [1].

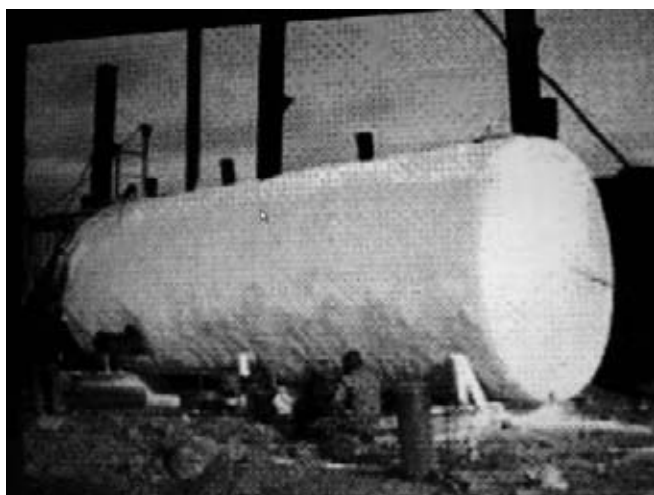


Рисунок 1 — Котел цистерны с теплоизоляционным слоем

При перевозке грузов в железнодорожных цистернах основная часть тепла теряется через поверхность цистерны, поэтому единственный неэнергоемкий способ поддержания продукта в жидком состоянии — сохранение его внутренней энергии. Предложена цистерна для затвердевающих и вязких материалов [2], имеющая механический подогрев перевозимого материала в пути. Одна из особенностей этой разработки — теплоизоляция котла цистерны.

При эксплуатации цистерны с теплоизоляционным слоем возникают вопросы ремонтпригодности и последующего возобновления целостности покрытия цистерны, а также утилизации отходов покрываемого материала.

Для проверки целостности котла цистерны могут использоваться различные дефектоскопические установки. Примером дефектоскопического прибора может служить толщиномер DM 4DL (Krautkramer). Назначением его является измерение остаточной толщины стенок труб, сосудов давления, котлов и других объектов, в том числе подверженных коррозионному или эрозионному износу. Исполнение DM 4DL имеет режим DUAL MULTI для измерений толщины основного материала под нанесенным на него покрытием [3].

При поступлении вагона-цистерны в депо или капитальный ремонт рекомендуется использовать дефектоскопические установки, такие как толщиномер DM 4DL (Krautkramer), позволяющие контролировать толщину металла без удаления теплоизоляционного слоя, т. е. толщину чистого металла. При необходимости возможна частичная срезка теплоизоляционного слоя с последующим нанесением его для сохранения свойств теплоизоляции котла цистерны.

Материал проходил серию экспериментов, в том числе на вибропрочность, с помощью специализированной установки (измеритель шума и вибрации В-003-М2) в комплекте с преобразователем (преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-4-М1), что привело, в свою очередь, к получению положительных результатов [4]. В настоящее время проводятся опытные работы на виброустойчивость и взаимодействие с окружающей средой данного материала путем напыления на действующий железнодорожный транспорт.

Вопросы технического характера нанесения покрытия и эксплуатации рассмотрены в предыдущих работах [1, 3 — 6], но необходимо проследить всю технологическую цепочку вплоть до утилизации объекта, соблюдая экологические требования к реализации проекта в целом. Особенно важно обратить внимание на то, что при возникновении некоторых нештатных ситуаций практически безвредный материал теплоизоляции (на основе пенополиуретана) может выделять вредные вещества.

Отслужившее свой срок пенополиуретановое покрытие цистерны подлежит удалению и дальнейшей утилизации. Вопрос вторичной переработки полиуретана приобретает все большее значение, особенно в тех случаях, когда площади свалок сокращаются, а затраты на вывоз отходов резко увеличиваются. Растущие законодательные требования с использованием полиуретановой продукции по формуле замкнутого круга являются дополнительными факторами стимулирования вторичной переработки. За последние годы появилось множество новаторских технологий вторичной переработки, но только некоторые из них применяются на регулярной основе.

Целесообразность внедрения определенного процесса вторичной переработки к конкретному продукту определяется свойствами материала и комплексом экономических и экологических факторов. Например, сжигание отходов полиуретана для использования накопленной энергии материалов может стать технически реализуемым решением при смешивании множества различных продуктов и законодательном ограничении их сброса на мусорных свалках. Но относительно чистые отходы зачастую гораздо выгоднее разделять на полезные мономерные исходные материалы полиуретана [5].

Согласно данным Совета по вторичной переработке и утилизации полиуретана (Polyurethane Recycle and Recovery Council — PURRC), который является подразделением API (Союз полиуретановой промышленности, действующий в рамках Американского химического совета) [5], полиуретаны составляют 5% всех пластмассовых отходов. Особенно высокий уровень утилизации имеют ковровые подкладки. Согласно отчету PURRC, в 2002 г. около 98% полиуретана, использованного для производства ковровых подкладок в США, было получено из отходов пенополиуретана.

Несмотря на то что основной потребитель полиуретана — это транспорт, объем вторичной переработки в данной отрасли достаточно ограниченный [5]. Высокая стоимость выделения отходов полиуретана из других компонентов списанных автомобилей препятствовала его утилизации и повторному использованию в автотранспортных средствах. Части автомобилей, произведенные путем реактивного литьевого прессования, находящиеся в обшивке бампера и боковых защитных панелях, прошли процесс коммерческой утилизации как для автомобилей, так для других целей [5, 6].

Методы вторичной переработки продуктов из полиуретана включают процессы регенерации энергии, такие как сжигание и использование выделяемого тепла для производства электроэнергии. Другой способ заключается в механической переработке, включая измельчение и повторное

использование отходов полиуретана в качестве наполнителя формованной продукции. Третий способ представляет собой химическое разделение полиуретана на его мономерные составляющие с последующим повторным использованием мономеров для производства новой полиуретановой продукции (табл. 1) [5, 6].

Таблица 1 — Методы вторичной переработки и утилизации полиуретана

Механическая переработка	Переработка исходного сырья	Регенерация энергии
Вторичное вспенивание	Пиролиз	Сжигание твердых коммунально-бытовых отходов
Адгезивное прессование	Гидрогенизация	Паровой котел с псевдосжиженным слоем
Соединение частиц	Газификация	Вращающаяся печь
Повторное измельчение/превращение в порошок	—	Двустадийное сжигание
Прессование в форме	Химическая переработка	
Литьевое прессование	Гликолиз/гидролиз	

Когда полиуретан является частью большого недифференцированного потока отходов, например твердых коммунально-бытовых отходов или измельченных использованных продуктов, состоящего из различных горючих материалов, сжигание и регенерация термической энергии зачастую представляют наиболее целесообразный способ вторичной переработки [5, 6].

В качестве топлива полиуретан обладает энергоемкостью, сравнимой с энергоемкостью угля по массе (рис. 2). Сжигание сокращает полиуретан до 1% от его исходного объема, таким образом, снижая нагрузку на свалки. В процессе исследования по вторичной переработке и утилизации полиуретана выяснилось, что он может добавляться к твердым коммунально-бытовым отходам в объеме до 20% от общего веса, не вызывая повышения уровня выделения нежелательных газов или золы [5, 6]. Также полиуретаны могут применяться в усовершенствованных мусоросжигательных печах, соединенных с установками регенерации энергии и очистным оборудованием для газообразных продуктов горения. Считается, что такие комбинированные установки способны обеспечивать до 10% потребностей местного населения в электроэнергии. Отходы полиуретана также используются в качестве топлива для отопления жилых помещений и в цементных печах [6].

Механический способ вторичной переработки предусматривает измельчение отходов полиуретана в крошку с последующим повторным использованием последней [5]. Материалы для такого процесса поступают из фабричных обрезков и отходов, а также от использованных продуктов. Полиуретановая крошка применяется в качестве наполнителя при производстве пенополиуретана или эластомеров. При использова-

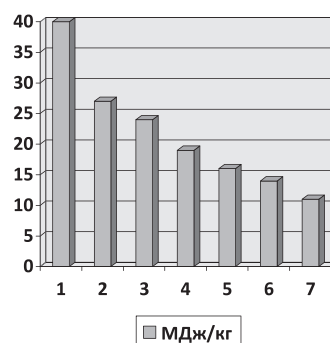


Рисунок 2 — Теплосодержание различных горючих материалов, МДж/кг:

1 — нефтепродукты; 2 — уголь; 3 — полиуретан; 4 — лигнит; 5 — отходы/бумага; 6 — древесина; 7 — твердые коммунально-бытовые отходы

нии в качестве наполнителя крошка в процессе производства полиуретана, как правило, сначала вводится в полиольный компонент. Формованная полиуретановая продукция, такая как автомобильные подголовники, может содержать до 20% повторно измельченного материала без снижения качества или эксплуатационных свойств.

Механические измельчители перерабатывают полиуретан в крошку путем различных процессов перемалывания и нарезания. Для использования в качестве наполнителей частицы полиуретана должны иметь размер менее 200 мк, предпочтительно менее 100 мк [5, 6].

Измельченные отходы пенополиуретана могут быть вспенены вторично при помощи нагрева, давления и связующего вещества. Вторичное вспенивание широко используется для производства вибрационных звукопоглощающих настилов, полового покрытия, спортивных матов, набивочных материалов и ковровых подкладок (рис. 3) [6]. В ходе аналогичного процесса, известного как адгезивное прессование, гранулы полиуретана покрываются связующим веществом и отверждаются путем нагрева под давлением. Контурная продукция изготавливается путем адгезивного прессования, она включает коврики для автомобиля и покрышки шин.

Части, изготовленные реактивным литьевым прессованием, и армированные части могут быть также измельчены в крошку с последующей отливкой при нагревании под высоким давлением для формования цельных частей деталей для автомобильной промышленности. Такие цельные части, полученные методом прессования в форме, например корпус насоса или двигателя, кожух каталитического конвертера, могут содержать до 100% повторно измельченного материала, подвергнутого реактивному литьевому прессованию.

Деполимеризация полиуретана на химические компоненты, известная как хемолиз [5, 6], наиболее эффективна, когда исходные отходы полиуретана имеют известный и однородный химический состав. Химический тип полиуретановой продукции, изготовленной из переработанных мономеров, как правило, аналогичен исходным продуктам и обладает теми же эксплуатационными качествами. По



Рисунок 3 — Образец сжатой крошки пенополиуретана (звукопоглощающая оболочка)

данным PURRC, в результате гемолиза образуются полиолы, которые могут заменить до 90% полиолов в полужестких пенополиуретанах, при этом содержание вторичного сырья в производимом пенополиуретане может достигать до 30%. PURRC приводит аналогичные результаты для жестких пенополиуретанов.

Предлагаемый теплоизоляционный слой вполне пригоден для создания теплоизолированной железнодорожной цистерны, используемой при перевозке вязких и затвердевающих грузов. Внедрение этого способа теплоизоляции цистерн позволит удешевить перевозку застывающих материалов в зимний период времени за счет сокращения тепловых потерь перевозимого груза и минимизировать время его выгрузки. Предоставляется возможность организовать «второстепенное» производство по повторному использованию и переработке отработавшего теплоизоляционного слоя, что делает внедрение еще более экономически эффективным.

Литература

1. Волов Д.Б., Жебанов А.В. Актуальные задачи транспортировки вязких и затвердевающих нефтепродуктов на железнодорожном транспорте // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса : матер. 5 Всерос. науч.-практ. конф. Самара : СамГУПС, 2009. С. 364 — 366.
2. А. с. 2005130507/22 Российская Федерация. Цистерна для затвердевающих и вязких материалов / Д.Б. Волов // Б.И. 2006. № 4.
3. Волов Д.Б., Жебанов А.В. Совершенствование железнодорожных цистерн для перевозки высоковязких грузов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. СПб. : ПГУПС, 2009. С. 37 — 38.
4. Волов Д.Б., Левченко А.С., Жебанов А.В. Характеристики теплоизоляционного слоя котла железнодорожной цистерны и практические опыты над ним // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса : матер. 6 Всерос. науч.-практ. конф. Самара : СамГУПС, 2010. С. 151 — 153.
5. Морчиладзе И.Г. Модификация конструкции и технического обслуживания вагона-цистерны в условиях транспортной компании. СПб.: ОМ-Пресс, 2003. 132 с.
6. Волов Д.Б., Жебанов А.В. Перспективы развития перевозки вязких и затвердевающих грузов // Наука и образование транспорту. СамГУПС. 2009. С. 107– 108.
7. Гордон Г. Новые химические технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://newchemistry.ru>
8. Полиуретан и окружающая среда : Технический бюллетень. 1997. Т. 6. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pfa.org>

References

1. Volov D.B., Zhebanov A.V. Aktualnye zadachi transportirovki vyazkikh i zatverdevayushchikh nefteproduktov na zheleznodorozhnom transporte // Aktualnye problemy razvitiya transportnogo kompleksa: Materialy 5 Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Samara: SamGUPS. S. 364 – 366.
2. Volov D.B. Tsisterna dlya zatverdevayushchikh i vyazkikh materialov : Svidetelstvo na poleznuyu model 2005130507/22 // B.I. 2006. № 4.
3. Volov D.B., Zhebanov A.V. Sovershenstvovanie zheleznodorozhnykh tsistern dlya perevozki vysokovyazkikh грузов // Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. SPb: PGUPS, 2009. S. 37– 38.
4. Volov D.B., Levchenko A.S., Zhebanov A.V. Kharakteristiki teploizolyatsionnogo sloya kotla zheleznodorozhnoy tsisterny i prakticheskie opyty nad nim // Aktualnye problemy razvitiya transportnogo kompleksa: mater. 6 Vseros. nauch.-prakt. konf. Samara: SamGUPS, 2010. S. 151 — 153.
5. Morchiladze I.G. Modifikatsiya konstruksii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya vagonatsisterny v usloviyakh transportnoj kompanii: SPb. OM-Press, 2003. 132 s.
6. Volov D.B., Zhebanov A.V. Perspektivy razvitiya perevozki vyazkikh i zatverdevayushchikh грузов // Nauka i obrazovanie transportu. SamGUPS. 2009. S. 107– 108.
7. Gordon G. Novye himicheskie tekhnologii. Analiticheskij portal himicheskoy promyshlennosti // Pererabotka penopolietana «zamknut krug»: <http://newchemistry.ru>
8. Poliuretan i okruzhayushchaya sreda tekhnicheskij byulleten. 1997. Tom 6. № 2: <http://www.pfa.org>

УДК 629.4.077-592.522.4/5

Глушко Марат Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Федоров Евгений Валерьевич, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ПРОВЕРКА ДЕЙСТВИЯ ТОРМОЗОВ

Marat I. Glushko, DSc, Professor of "Electric traction" chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT)
Evgeny V. Fedorov, post-graduate of "Electric traction" chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT)

Brakes' check

Аннотация

Проанализирована используемая технология проверки действия тормозов в пути следования, которая предусмотрена действующей инструкцией по эксплуатации тормозов.

Последовательный анализ показывает, что применяемые нормативы основаны на устаревших положениях Правил тормозных расчетов и нуждаются в доработке и доведении до современных требований, предъявляемых к безопасности движения поездов. Предложена усовершенствованная технология проведения выходного контроля тормозной системы поезда, позволяющая эффективно определить исправность действия автоматического тормоза подвижного состава в пути следования.

Также рекомендуется перейти от устаревшего метода подсчета тормозной силы поезда к новому способу, основанному на измерении величины ускорения (замедления) подвижного состава.

Ключевые слова: техническое обслуживание поезда, выходной контроль тормозной системы, проверка действия тормозов в пути следования, удельная тормозная сила, усовершенствованная технология.

Annotation

In the article there is analyzed the applied technology of brakes' check on the way that is specified by the brake operating instruction.

Sequential analysis shows that applied standards are based on the outdated principles of brake calculation rules and should be improved and adapted to modern requirements to trains' traffic safety.

There is offered the improved technology on the base of a train's brake system final check scientific approach that allows effectively define automatic brake operation of a rolling stock on the way.

There is also offered the transfer from out-dated method of brake force calculation to a new method based on the value detection of rolling stock acceleration (deceleration).

Key words: technical train's maintenance, brake system final check, brakes' check on the way, specific brake force, improved technology

Формирование поезда как единой тормозной человеко-машинной системы предусматривает соединение пневмопроводов в единую тормозную сеть и проведение полного опробования тормозов, при котором визуальными и с помощью бортовых средств определяются и регистрируются параметры тормозной системы поезда в качестве факторов предстоящего безопасного движения. Выходной контроль с комплексной оценкой эффективности применения тормозов производится в процессе движения, поэтому после отправления поезда предусмотрена обязательная проверка их действия в пути следования.

Такая оценка должна производиться по соответствующей технологии на основе учета параметров движения и их влияния на конечный результат. Вопросу проверки действия тормозов посвящен специальный раздел инструкции по тормозам, который постоянно корректируется в каждой редакции.

В соответствии с инструкцией машинист и его помощник обязаны убедиться в надежной работе автотормозов поезда по снижению давления в уравнительном резервуаре на 0,5 — 0,6 кгс/см², а локомотивный автоматический тормоз в поездах длиной более 100 осей обязаны отпустить (кроме локомотивов, оборудованных краном 4ВК). В указанной инструкции изменили время ожидания понижения скорости: теперь для грузовых порожних и грузопассажирских поездов оно составляет 20 с, для остальных грузовых поездов — 30 с. При отсутствии эффекта следует принять все меры к остановке поезда и немедленно произвести экстренное торможение.

Последовательный анализ рекомендаций инструкции свидетельствует о недостаточно обоснованном подходе к нормативам проверки действия тормозов в пути следования. Если начальный опыт проверки состоял только в торможении ступенью снижения давления в магистрали на 0,5 — 0,6 кгс/см² (на спуске, площадках), то последующий вариант установил норматив понижения скорости на 10 км/ч на определенном расстоянии, а также время ожидания эффекта торможения, причем при отсутствии эффекта в пассажирском поезде немедленно следует принять все меры к остановке состава, а в грузовом добавить еще ступень 0,3 — 0,4 кгс/см² для повторной проверки.

Действующий вариант инструкции самый оригинальный: он обязывает бригаду убедиться в надежной работе автотормозов снижением давления в уравнительном резервуаре, при этом автоматический тормоз локомотива отпустить. Такой ответственный документ, как инструкция по эксплуатации тормозов, должен разрабатываться на основе квалифицированного подхода. Поэтому при подготовке новой редакции инструкции следует изменить некоторые сомнительные положения.

Условия проверки действия автотормозов должны быть одинаковы, поэтому широкий размах ступеней торможения следует сократить до единого норматива ступени понижения давления в тормозной магистрали $0,5 — 0,6 \text{ кгс/см}^2$. Именно в магистрали, а не в уравнительном резервуаре, потому что результат выполнения команды определяется изменением давления в тормозной магистрали. Ведь возможна ситуация, когда сигнал от уравнительного резервуара не доходит до магистрали (при перекрытом кране).

Разработчики действующей инструкции допустили серьезную ошибку, требуя отпустить автоматический тормоз локомотива при проверке действия автотормозов. Исключение предусмотрели только для локомотива с краном 4ВК. Но это означает, что отпуск производится краном вспомогательного тормоза 254. Конструкторский центр МТЗ «Трансмаш» когда-то придал крану 254 опасную функцию отпуска автоматического тормоза, а составители инструкции решили его применить при проверке действия тормозов. Отпуск в рассматриваемой ситуации не только бесполезен (ведь проверять следует всю тормозную систему поезда), но и даже вреден, так как локомотив лишается автоматического тормоза, что может привести к серьезным последствиям в случае саморасцепки секций.

Трудно выполнять требование инструкции, которая рекомендует проводить проверку действия тормоза на крутых затяжных спусках. Правильное представление о воздействии на поезд составляющей от уклона и удельной тормозной силы рисует картину, когда после ступени торможения в поезде будет наблюдаться не тормозной, а обратный эффект.

В инструкции дается норматив снижения давления в магистрали одиночного локомотива на $0,7 — 0,8 \text{ кгс/см}^2$, но не упоминается ни время ожидания эффекта, ни команда по принятию мер при отсутствии эффекта. Нет соответствующего указания и для мотор-вагонных поездов.

Для обеспечения безопасности движения требуется пересмотреть нормативы и технологии проверки действия автотормозов в пути следования. Понятно, что разрабатывать тормозные нормативы для инструкции при отсутствии предварительно подготовленной научной базы, когда действующие Правила тормозных расчетов не рассматривают эффект применения ступенчатого торможения, 100% композиционных тормозных колодок грузовых вагонов пересчитывают на чугунные, тормозные нормативы основаны на расчетном нажатии, а не на расчетной тормозной силе вагона, дело весьма непродуктивное.

При определении тормозной эффективности нужны новые научные подходы, учитывающие тормозную силу подвижного состава при выбранной ступени торможения на основе харак-

теристики воздухораспределителей и применяемого в настоящее время авторежима.

Сущностью научного подхода является признание в качестве основной характеристики для тормозных расчетов индикаторной диаграммы воздухораспределителя, которая представляет зависимость давления в тормозном цилиндре от глубины разрядки тормозной магистрали. Для трехрежимного тормоза, каким является прибор 483, индикаторная диаграмма приведена на рис. 1.

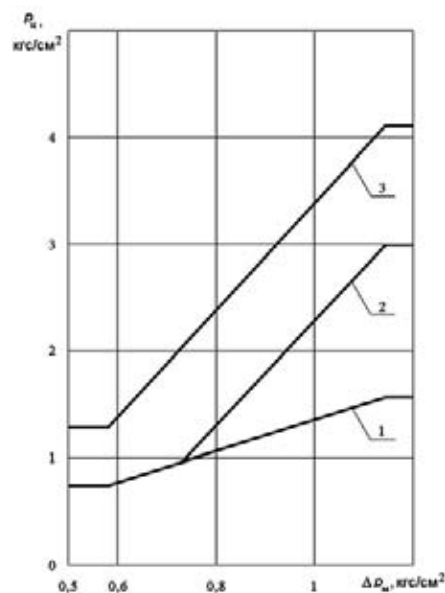


Рисунок 1 — Зависимость давления в тормозном цилиндре $p_{ц}$ от величины снижения давления в тормозной магистрали $\Delta p_{м}$:
1 — порожний режим; 2 — средний режим; 3 — груженный режим

Три ветви диаграммы определяют наполнение тормозного цилиндра сжатым воздухом при установке грузового переключателя на порожний, средний и груженный режим. Ветвь среднего режима имеет переломный характер, что является особенностью рассматриваемой диаграммы. Композиционные колодки обходятся без груженного режима, и поэтому давление при первой ступени $0,5 — 0,6 \text{ кгс/см}^2$ одинаково для порожнего и среднего режима и составляет $0,8 \text{ кгс/см}^2$. Учитывая потери на перемещение штока и сжатие пружины тормозного цилиндра, которые в общем составляют $0,3 \text{ кгс/см}^2$, получим эффективное рабочее давление $0,5 \text{ кгс/см}^2$, которому соответствует усилие $0,5 \text{ тс}$ по штоку тормозного цилиндра 14".

После проведения расчетов с учетом передаточного числа тормозной передачи и коэффициента трения тормозных колодок по колесу определяем значение статической тормозной силы вагона $B_0 = 1,2 \text{ тс}$ и расчетную зависимость тормозной силы от скорости в виде $B = B_0(V + 150)/(2V + 150)$; приняв величину скорости при проверке действия тормозов 50 км/ч , получим тормозную силу для этой скорости движения $B_k = 0,96 \text{ тс}$. При расчетном весе порожнего вагона 24 тс , груженого — 95 тс , определяем удельную тормозную силу, которая обычно применяется для определения тормозного пути:

— порожние вагоны $b_K = 40$ кгс/тс;

— груженные вагоны $b_K = 10$ кгс/тс.

В общем виде движение поезда подчиняется уравнению

$$Ma = B_K,$$

где M — масса поезда;

a — ускорение;

B_K — тормозная сила поезда.

После преобразований движение подвижного состава под действием удельной тормозной силы на площадке можно представить выражением

$$a = b_K g,$$

при движении по уклону

$$a = (b_K + i) g,$$

где g — ускорение силы тяжести.

Но ускорение — это изменение скорости в единицу времени, а для проверки действия тормозов принято изменение скорости $\Delta V = 10$ км/ч. Тогда $\Delta V = b_K g t$, и расчетная формула для условий проверки действия автотормозов в пути следования на площадке $t = 283/b_K$. С целью упрощения расчетов можно не принимать во внимание величину удельного сопротивления движению состава, оборудованного буксами с подшипниками качения, а представить расчетную формулу в окончательном виде $t = 280/b_K$.

Отсюда определяется норматив времени для принятого изменения скорости при установившемся торможении:

— грузовой порожний поезд — 7 с;

— грузовой груженный поезд — 28 с.

В случае применения на вагоне авторежима нормативы существенно изменяются вследствие трансформирования давления сжатого воздуха, поступающего от воздухораспределителя, в зависимости от веса вагона. За счет предварительного открытия питательного клапана авторежима в тормозном цилиндре создается давление $0,4$ кгс/см², а с учетом функции влияния авторежима для порожнего вагона дополнительно создается давление около $0,1$ кгс/см²; в тормозной цилиндр поступает давление $0,5$ кгс/см², и на штоке возникает усилие $0,2$ тс. Последовательными расчетами предыдущим методом для вагона с авторежимом получены следующие результаты для тех же условий проверки:

— порожний вагон $b_K = 16$ кгс/тс;

— груженный вагон $b_K = 10$ кгс/тс.

У грузового груженого вагона функция влияния авторежима равна единице, поэтому удельная тормозная сила одинакова.

Для принятой скорости проверки норматив времени для грузового поезда из порожних вагонов, оборудованных авторежимом, составляет 18 с.

Аналогичными расчетами для пассажирского поезда, оборудованного чугунными тормозными колодками, при ступени торможения $0,5$ кгс/см² и средней скорости проверки 50 км/ч получены следующие результаты:

— удельная тормозная сила $b_K = 30$ кгс/тс;

— время понижения скорости на 10 км/ч — 10 с.

Новый метод оценки эффективности тормоза по тормозной силе для тормозных нормативов намного удобнее по сравнению с подсчетом удельного нажатия тормозных колодок, а знание удельной тормозной силы поезда позволяет легко ориентироваться в эксплуатации. Например, признается очевидным, что проверка действия автотормозов грузового груженого поезда на спусках более 10% может дать негативный результат. Поэтому упоминание о проверке автотормозов на крутых затяжных спусках дискредитирует содержание инструкции.

По времени понижения скорости на 10 км/ч после ступени торможения $0,5$ кгс/см² поезда располагаются следующим образом:

— грузовой груженный — 28 с;

— грузовой порожний с авторежимом — 18 с;

— пассажирский — 10 с;

— грузовой порожний без авторежима — 7 с.

Если в эксплуатации допускается тормозная эффективность по условиям проверки действия тормозов с временным интервалом 28 с, то с учетом времени подготовки тормозов после ступени торможения и наличия в поезде вагонов, оборудованных авторежимом, следует принять единый для поездов всех категорий норматив проверки. При этом следует учесть рекомендации Правил тормозных расчетов относительно времени подготовки пневматических тормозов, которое составляет 12 с для поездов повышенной длины. Для принятой ступени торможения время подготовки можно принять 7 с, и тогда единый норматив проверки составит 35 с, но отсчет времени изменения скорости следует принять 28 с, чтобы освободиться от влияния времени подготовки тормозов к действию.

Тормозная система любого поезда и одиночного локомотива признается действующей, если за предварительное время 7 с происходит снижение скорости, и исправной, если время понижения скорости на 10 км/ч не превышает установленного норматива. Применяемая в качестве параметра максимальная величина расстояния, на котором должно происходить указанное снижение скорости, не представляет практического смысла.

Расстояние вычисляется по времени движения, но если в качестве контрольного параметра определено время, то дополнительные расчеты оказываются ненужными, в особенности для местных инструкций. К тому же решение о немедленном принятии мер для остановки поезда принимается по задаваемым нормативам времени.

Предлагаемая технология выглядит следующим образом.

При следовании с поездом машинист обязан убедиться в исправности автотормозов поезда, проверив их действие в пути следования.

Проверку действия автотормозов в пути следования нужно производить по возможности на площадке понижением давления в тормозной магистрали на $0,5$ — $0,6$ кгс/см². После появления тормозного эффекта в течение 7 с и дальнейшего снижения скорости движения на 10 км/ч необходимо произвести отпуск автотормозов. Время понижения скорости на указанную величину не должно превышать 28 с. В случае отсутствия тормозного эффекта или превышения указанного времени следует принять все меры к остановке поезда.

Предлагаемая технология проверки действия автотормозов в пути следования разработана в контексте действующей инструкции по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. Однако представленные в ней требования целесообразно выполнять в автоматическом режиме контроля эффективности действия тормозов на всем пути следования поезда с применением прорывной технологии на основе системного подхода. Для этого нужно в парках отправления при выполнении полного опробования автотормозов перейти от устаревшего метода подсчета тормозного нажатия к суммированию статической тормозной силы B_0 всех вагонов поезда и определению удельной тормозной силы b_0 поезда. Локомотив должен быть оборудован измерителем ускорения. При первом торможении для проверки действия автотормозов в пути следования определяется реализуемая удельная тормозная сила b_K при скорости 50 км/ч, а затем статическое значение $1,25b_K$, которое сравнивается с величиной b_0 , зарегистрированной в справке формы ВУ-45. По результатам проверки состояния тормозных средств дается качественная оценка подготовки тормозных средств поезда в парке отправления, поэтому появляется возможность вообще отказаться от подсчета тормозного нажатия для справки формы ВУ-45, достаточно проверить правильность установки режимных устройств. При полном насыщении парка грузовых вагонов авторежимами суммирование тормозного нажатия по всему поезду теряет всякий смысл.

Предлагаемая технология особенно эффективна при оборудовании локомотива линейным измерителем ускорения. В таком случае действие тормозов контролируется по реализуемой удельной тормозной силе b_K (кгс/тс), которая определяется формулой $b_K = 1000 a/g$ или в удобном для измерения виде $b_K = 102 a$. Вообще, можно отказаться от перехода к удельной тормозной силе, а оценку тормозной эффективности поезда проводить непосредственно по величине измеренного ускорения (замедления). В таком случае принятой скорости проверки 50 км/ч должна соответствовать величина ускорения $a = 0,16 \text{ м/с}^2$ для порожних вагонов, $0,10 \text{ м/с}^2$ — для груженых вагонов, оборудованных авторежимом, и $0,30 \text{ м/с}^2$ — для пассажирского поезда.

Принятая ступень торможения соответствует величине дополнительной разрядки тормозной магистрали, при которой

происходит быстрое наполнение тормозного цилиндра, поэтому полное торможение поезда наступает в момент срабатывания тормоза хвостового вагона. С учетом скорости тормозной волны время ее распространения в грузовом поезде не превысит 5 с, поэтому измерения ускорения следует начинать с момента торможения, и через 5 — 7 с величина ускорения должна быть не менее установленного норматива.

Представление удельной тормозной силы в форме ускорения позволяет в автоматическом режиме выдавать информацию о тормозной эффективности поезда при каждом торможении. Полученный результат имеет научный интерес. Так, движение при постоянной ступени торможения позволяет выявить фактическую зависимость тормозной силы (или коэффициента трения тормозных колодок по колесу) от скорости движения в эксплуатационных условиях, не прибегая к стендовым испытаниям; при постоянной скорости движения возможно уточнить зависимость тормозной силы от силы нажатия тормозных колодок (при разных ступенях торможения).

И это применимо не только для режима торможения. Выполняя проверку при движении по площадке в режиме выбега, можно определить удельное сопротивление движению подвижного состава; действие полученного выражения можно распространить на любую ускоряющую или замедляющую удельную силу, которую представляют в кгс/тс. В таком измерении, которое идентично промилле, становится возможным суммировать действие удельной тормозной силы и уклона в ‰, что позволяет учитывать влияние продольного профиля на процесс движения и определять возможность удержания поезда на уклоне за счет автоматических тормозов.

Предлагаемый способ контроля открывает широкие возможности для повышения безопасности движения в результате достоверной информации о состоянии тормозных средств, важной как для локомотивной бригады, так и для ревизорского аппарата. Применяемый контроль эффективности тормозов по величине тормозного коэффициента поезда (или суммарного нажатия колодок на 100 тс веса поезда) не может быть признан представительным. С позиций научного подхода и с учетом современных вычислительных средств подобный метод выглядит архаичным.

УДК 629.424

Яромир Зеленка, доктор наук, доцент кафедры железнодорожного транспорта Транспортного факультета Университета г. Поддубица, Чехия,
Томас Михалец, магистр естественных наук, аспирант кафедры железнодорожного транспорта Транспортного факультета Университета г. Поддубица, Чехия

УПРАВЛЕНИЕ И ДВИЖЕНИЕ ЛОКОМОТИВА КЛАССА 744.0 CZ LOKO ДЛЯ ПУТИ С ШИРИНОЙ КОЛЕИ 1520 ММ

Jaromír Zelenka, DSc, Associate Professor at the Department of Rail Vehicles of the Jan Perner Transport Faculty of the University of Pardubice, Czech Republic,
Tomáš Michálek, MSc, PhD student at the Department of Rail Vehicles of the Jan Perner Transport Faculty of the University of Pardubice, Czech Republic

Running and guiding behaviour of the locomotive class 744.0 CZ LOKO for the track gauge 1520 mm

Аннотация

Статья посвящена моделированию движения и управления новым четырехосевым дизель-электровозом класса 744.0 LOKO для пути с шириной колеи 1520 мм. Локомотив класса 744.0 — это модульный локомотив, совместно разработанный компанией CZ LOKO и транспортным факультетом Университета г. Пардубице (Чехия) и предназначенный как для поездной, так и для маневровой работы.

Представлены первые результаты моделирования динамических свойств данного локомотива для широкой колеи. Поведение движения локомотива определяется на основе анализа устойчивости. С целью оценки управления применены квазистатические расчеты для кривых участков пути (с малым радиусом). Моделирование выполнено для локомотива с общим весом от 64 до 88 т.

Ключевые слова: дизель-электровоз, CZ LOKO-тележка, ход и управление, моделирование, анализ устойчивости, квазистатическая направляющая сила.

Annotation

This paper deals with simulations of running and guiding behaviour of a new four-axled diesel-electric locomotive Class 744.0 CZ LOKO for the track gauge 1520 mm. The locomotive Class 744.0 is a projected modular locomotive for the track as well as the shunting service which is being developed in a co-operation of the JSC CZ LOKO and the Jan Perner Transport Faculty of the University of Pardubice (Czech Republic).

There are presented the first results of the simulations of dynamical properties of this locomotive in a broad-gauged version in this paper. The running behaviour is evaluated on the basis of a stability analysis; for the assessment of the guiding behaviour quasistatic calculations in small-radius curves were performed. These simulations were realized for the locomotive with total weight of 64 up to 88 tons.

Keywords: diesel-electric locomotive, CZ LOKO bogie, running and guiding behaviour, simulations, stability analysis, quasistatic guiding force.

Introduction

In the projection stage of new rail vehicles, the verification of their running and guiding behaviour by means of computer simulation is an integral part of the development. The simulations are the most perfect and in the phase of the vehicle projection also the only possible way how to verify the dynamic properties and eventually to optimize the vehicle parameters.

In the framework of solving the R&D program project “IMPULS” of the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic in years 2007 — 2009, a new two-axled traction bogie for a diesel-electric locomotive was developed by the JSC CZ LOKO. A prototype of this bogie was presented on the International Engineering Fair (“MSV”) 2009 in Brno (Czech Republic). A new R&D program project “TIP” continues the “IMPULS” in years 2010 — 2012. The aim of this project is to manufacture a prototype of a new diesel-electric locomotive Class 744.0, which will be equipped with the new CZ LOKO bogies, as well as to prepare a broad-gauged version of this locomotive, which will be projected according to the GOST standards and intended especially for the Russian market. The Jan Perner Transport Faculty of the University of Pardubice co-operates with the JSC CZ LOKO on the solving of this R&D project, especially in the branch of the research of running and guiding behaviour of the new CZ LOKO locomotives generation.

Locomotive Class 744.0 CZ LOKO

The diesel-electric locomotive Class 744.0 (see Pict. 1) is projected as a track as well as a shunting locomotive with a power of 800 to 1500 kW and maximum speed up to 120 km/h. The locomotive is equipped with a combustion engine Caterpillar which drives a traction AC generator Siemens. The locomotive has two two-axled traction bogies. Two axle-mounted traction motors with a power of 2x 360 kW with roller bearing are situated in each bogie. The power transmission can be AC/AC (in the case of using asynchronous motors) as well as AC/DC (DC motors).



Picture 1 — A visualisation of the locomotive Class 744.0

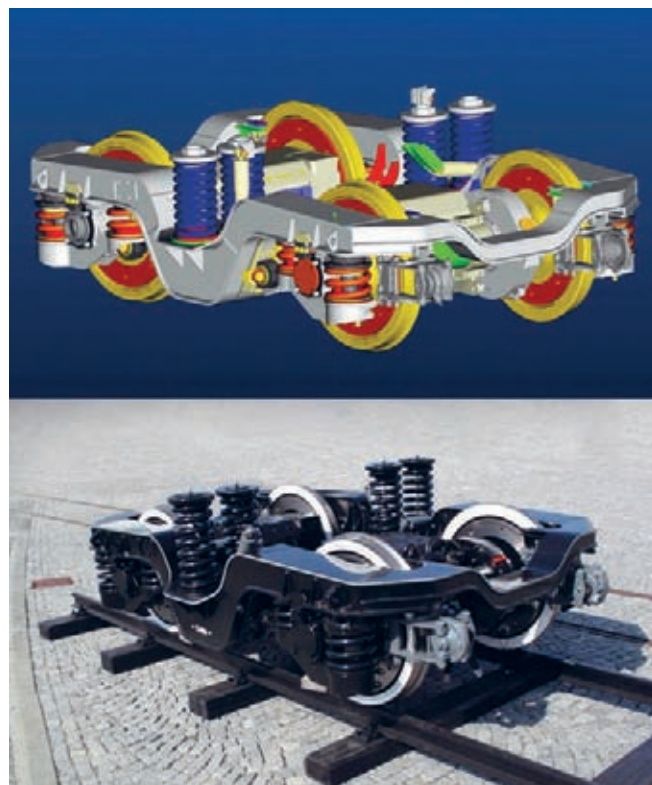
The new CZ LOKO bogies, which substitute here the earlier used ČKD bogies, have a welded frame and double suspension. The first suspension stage is realized by four coil springs per wheelset; the second suspension stage is realized by four coil springs per bogie. The coil springs in both stages of suspension utilize a flexicoil effect. The lateral and the vertical suspension of the bogie is complemented by hydraulic dampers. A usage of yaw dampers is supposing only for the locomotive for maximum speed 120 km/h. The wheelsets are equipped with a disc brake; the wheelset guiding is realized by connecting rods. Longitudinal forces transmission on the locomotive body is realized by means of a central pivot which is welded to the locomotive frame. In the Pict. 2, there are shown a 3D model and a prototype of this bogie. A detailed description of the CZ LOKO bogie is presented in [1].

Simulations of the running and guiding behaviour

Simulations of the dynamic behaviour of this new locomotive are being performed at the Detached Branch of the Jan Perner Transport Faculty of the University of Pardubice in Česká Třebová. In the framework of the co-operation by solving of the R&D project, a dynamic model of the four-axled locomotive was created. This model was subsequently solved by means of a program system for simulations "SJKV" which is being developed for these purposes at the Department of Transport Means and Diagnostics of the Jan Perner Transport Faculty.

The program system "SJKV" is original multi-body simulation software for the dynamics of rail vehicles. This program system consists of the dynamic models of the railway vehicle and the track. The mechanical system of the vehicle and the track is modeled as a multi-body system, i. e. a system of rigid bodies which are bounded by means of elastic and damping — in general case nonlinear — joints. Next important parts of the program system are the mathematical instruments which solve the equations of motion, the geometric relationship between the wheelset and the track, the adhesion joint wheel/rail etc. By means of the algorithmization, the mathematical models are transformed into the programming language Pascal of the IDE Borland Delphi. A more detailed description of the multi-body simulation program system "SJKV" is presented for example in [2].

It was created a new version of the program system named "SJKV-Lok744" which is modifiable for realization of the simulations of the locomotive Class 744.0 in the standard-gauged (1435 mm) as well as the broad-gauged (1520 mm) alternative. The simulation results of the standard-gauged locomotive were



Picture 2 — The new CZ LOKO bogie for the locomotive Class 744.0

presented for example in [3]. This article deals with first simulation results of the broad-gauged version of the locomotive Class 744.0 CZ LOKO.

Running behaviour of the locomotive

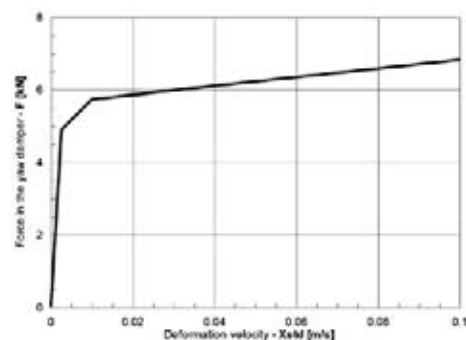
In this stage of development of the locomotive Class 744.0 for the track gauge 1520 mm, the assessment of running behaviour was realized only by means of a simplified method — so-called stability analysis. It means that a method of isolated lateral track unevenness with a various vehicle velocity was used.

In this case, the locomotive moves during the simulation along the ideal straight track, but in the beginning of the simulation it is kinematically excited by means of the lateral track unevenness. The various velocity is achieved by means of implementation of a constant longitudinal decelerating force, which acts in the centre of mass of the locomotive body, into the dynamic model of the vehicle. In this case, the force was always so great that the deceleration had a value of 0.42 m/s^2 . The initial velocity was 150 km/h.

Time behaviour of some quantities (especially lateral motion of the wheelsets and deflections of the locomotive body from the equilibrium state) are observed after the kinematical excitation of the locomotive. In the range of high velocities the locomotive moves unstably. If the velocity decreases under a certain limit (so-called critical speed), all the oscillations disappear and the vehicle runs stably.

For purposes of the stability analysis 8 different versions of simulations were performed. The theoretical critical speed of

the locomotive in dependency on the total weight of locomotive was observed. Therefore, the total weight of locomotive was alternated from 64 up to 88 t. Except the influence of the total weight, the influence of the yaw dampers on the critical speed was observed, as well. In case of the locomotive with the yaw dampers it was used characteristics of these dampers according to the Pict. 3. All the simulations were realized only on the track with a value of equivalent conicity 0.207 in this phase.



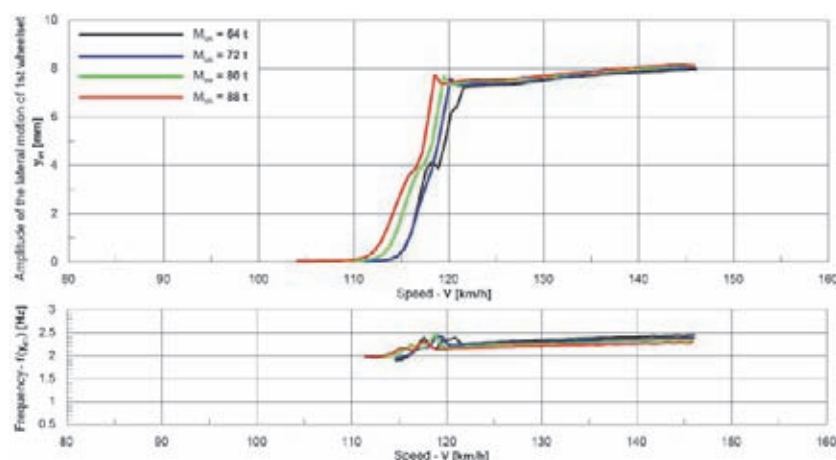
Picture 3 — Yaw damper characteristics

In the graphs in the Pict. 4 up to 7, there are presented the simulation results of the stability analysis for the locomotive Class 744.0 CZ LOKO for the track gauge 1520 mm with a total weight of 64 up to 88 t.

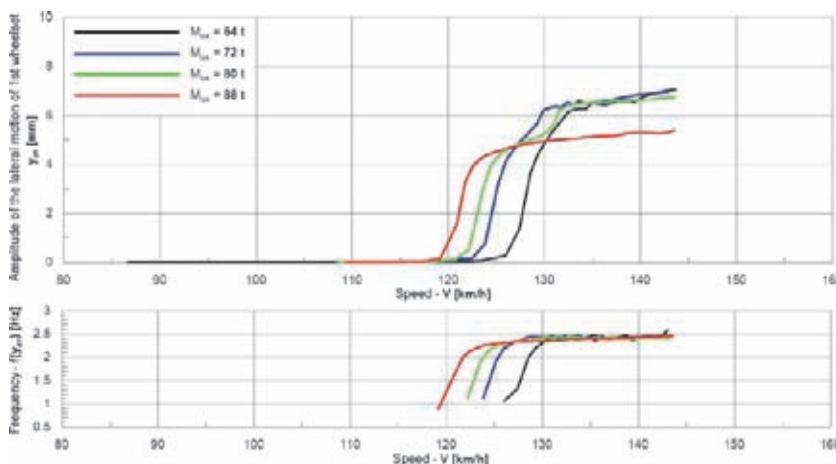
On the basis of the simulation results, resp. curves of the amplitudes and frequencies of the lateral motion of the 1st wheelset (see Pict. 4 and 5) we can say that the increasing total weight of locomotive has — under these conditions — a slightly negative influence on the critical speed. This influence is more noticeable in case of locomotive with yaw dampers (see Pict. 5). However, the installation of the yaw dampers (2 pcs. per bogie) has generally positive influence on the critical speed; in case of locomotive with yaw dampers the theoretical critical speed is higher by ca. 10 km/h (ca. 120 up to 125 km/h) than without them (ca. 110 up to 115 km/h).

Similarly to the behaviour of the 1st wheelset (see Pict. 4 and 5) the yawing of the locomotive body in dependency on the vehicle velocity was observed, as well. In the Pict. 6 and 7, there are presented curves of the amplitudes and frequencies of the vehicle body yawing for different total weight of locomotive.

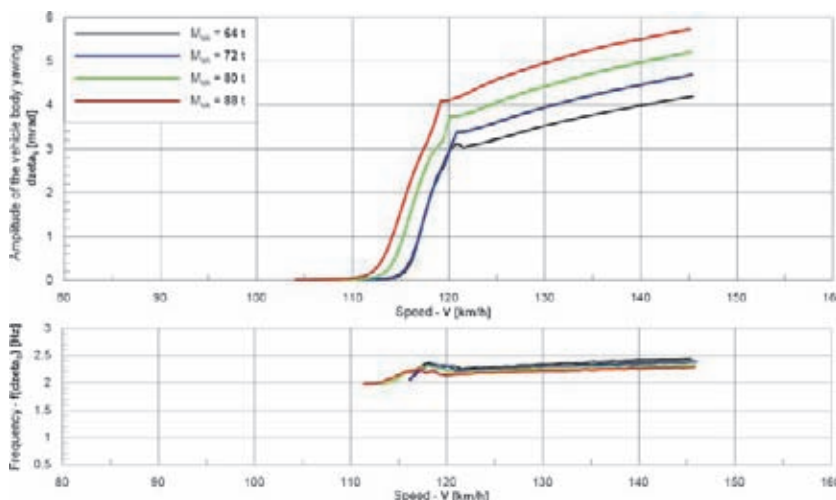
We can see that the critical speeds in the Pict. 6, resp. 7 (yawing) correspond to the critical speeds in the Pict. 4, resp. 5 (lateral



Picture 4 — Amplitude and frequency of the lateral motion of the 1st wheelset during the deceleration; Class 744.0 for 1520 mm without yaw dampers



Picture 5 — Amplitude and frequency of the lateral motion of the 1st wheelset during the deceleration; Class 744.0 for 1520 mm with yaw dampers (acc. to the Pict. 3)



Picture 6 — Amplitude and frequency of the vehicle body yawing during the deceleration; Class 744.0 for 1520 mm without yaw dampers

motion of the 1st wheelset). In case of instable run the locomotive body performs oscillations with a frequency of ca. 2.2 up to 2.5 Hz. The yaw dampers have a positive influence on the amplitudes of yawing.

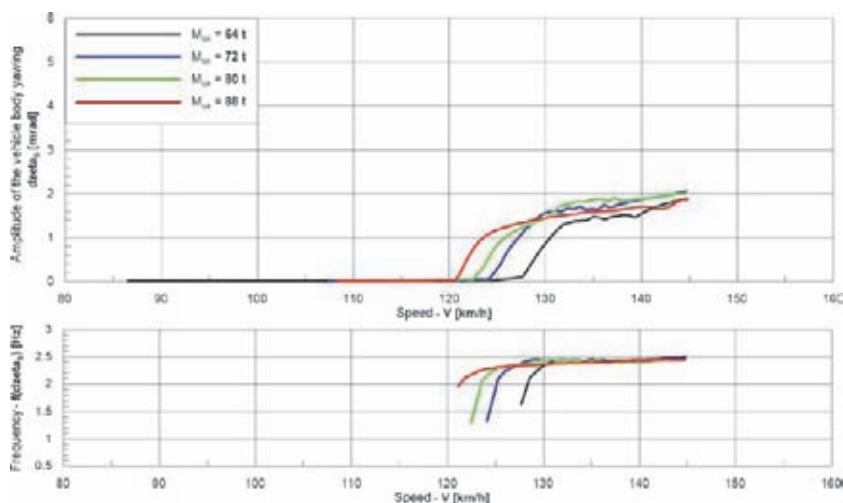
Guiding behaviour of the locomotive

Except the analysis of stability in the straight track, an assessment of guiding behaviour of the locomotive Class 744.0 CZ LOKO for the track gauge 1520 mm in small-radius curves was performed, as well. In case of evaluation of guiding behaviour a value of the quasistatic guiding force acting on the outer wheel of the guiding wheelset is one of the most important quantities. This force characterizes the interaction between the rail vehicle and the track in the lateral direction and is one of the observed quantities at the authorization process of new railway vehicles.

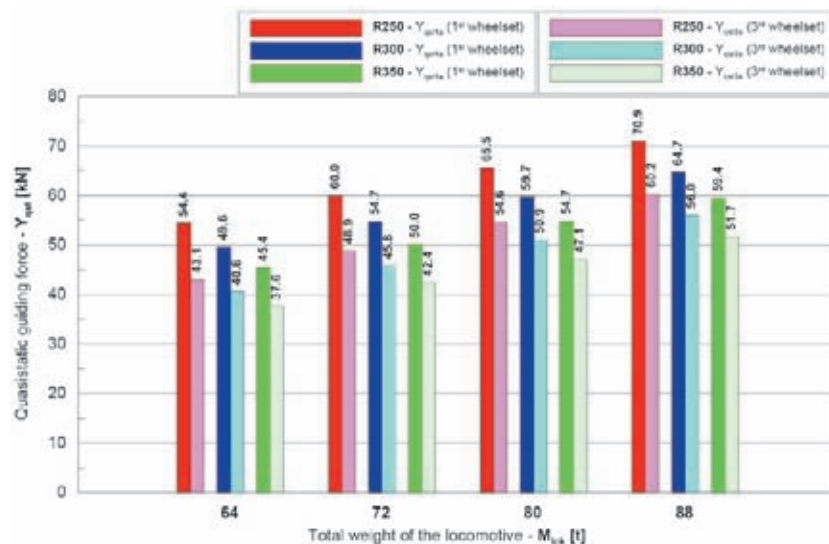
Therefore, only the quasistatic calculations were realised in this phase of development of the new locomotive. It means that the simulations were performed on the ideal track without deviations of the horizontal and vertical track position. However, this simplification does not have influence on the value of the quasistatic guiding force. By means of analysis it was determined that the mean value of this quantity differs less than 1% in comparison with results of the dynamic calculation, i. e. the simulation on the real track with deviations of the horizontal and vertical track position (see [3]).

The simulations of guiding behaviour were performed for the passing through the curves with radii 250 m, 300 m and 350 m. The speeds, which correspond to the unbalanced acceleration of 1.1 m/s² at cant of 150 mm, were 81 km/h for the R250, 89 km/h for the R300 and 96 km/h for the R350. The calculations were realised for parameters of the contact geometry defined by a value of equivalent conicity 0.207. The friction coefficient between wheel and rail had a value of 0.40. The simulation results for the broad-gauged locomotive with total weight from 64 up to 88 t are presented in the bar chart in the Pict. 8.

On the basis of the simulation results we can say that the total weight of the locomotive as well as the value of the curve radius have — under these conditions — a dominant influence on the quasistatic guiding forces. It is evident (see Pict. 8) that the quasistatic guiding force, which acts on the outer wheel of the 1st wheelset, is markedly



Picture 7 — Amplitude and frequency of the vehicle body yawing during the deceleration; Class 744.0 for 1520 mm with yaw dampers (acc. to the Pict. 3)



Picture 8 — Values of the quasistatic guiding force acting on the outer wheels of the 1st and 3rd wheelset in small-radius curves; Class 744.0 for 1520 mm

greater than the force acting on the outer wheel of the 3rd wheelset. The difference between these forces is ca. 13 up to 20% and decreases with increasing total weight of locomotive.

Conclusions

There are presented the first simulation results of running and guiding behaviour of the projected locomotive Class 744.0 CZ LOKO in version for the "Russian" track gauge 1520 mm in this paper. In this phase of the development of this new locomotive all the input parameters of the dynamic model of the vehicle (weights of the vehicle parts, inertia moments, joint characteristics etc.) are not still exactly known. Therefore, only the simplified methods of the vehicle dynamics analysis (the analysis of stability in the straight track and the quasistatic calculation of quasistatic forces in small-radius curves) were used. However, these simplified procedures can disclose trends in the dynamical behaviour of the vehicle and can be used for

the optimization of its parameters, as well. More information about these simulations as well as further simulation results are presented in the internal report of the R&D project "TIP" — see [4].

In the next stages of the development the input parameters for simulations are going to be specified. After that it will be necessary to realize further extensive simulations of the dynamical properties of this locomotive, including the simulations of the run on the real track with various characteristics of the contact geometry. So, the development of the new locomotive Class 744.0 will stay an object of co-operation of the Jan Perner Transport Faculty with the JSC CZ LOKO.

Acknowledgements

This work has been supported by the R&D project "TIP" of the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic No. FR-TI2/562 "Research and Development of a Modular Four-axled Locomotive".

References

1. Kopal J. A running gear of the CZ LOKO locomotives. (In Czech) // *Proceedings of the XIX. conference with international participation "Current Problems in Rail Vehicles 2009"*. Pardubice : University of Pardubice, 2009. S. 1 — 6. ISBN 978-80-7395-199-3.
2. Zelenka J. Running and guiding behaviour of two-axled diesel-electric locomotives CZ LOKO. (In Czech) // *New Railway Technique*, No. 6/2009. Brno : KPM Consult, 2009. S. 15 — 23. ISSN 1210-3942.
3. Zelenka J., Michálek T. A new method of the assessment of rail vehicles guiding behaviour in small-radius curves // *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 15, No. 2. Zielona Góra : University of Zielona Góra, 2010. S. 511 — 519. ISSN 1425-1655.
4. Zelenka J., Kohout M., Hába A., Vágner J., Michálek T., Voltr P. Running and guiding behaviour of modular diesel-electric locomotive Class 744.0 for the track gauge 1520 mm. (In Czech) // *Report No.: DP-T-01-10*. University of Pardubice, Detached Branch of the Jan Perner Transport Faculty, Česká Třebová, 2010.

УДК: 629.4.054.2

Александр Петрович Буйносов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
 Дмитрий Леонидович Худояров, кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Электрическая тяга», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
 Игорь Михайлович Пышный, аспирант кафедры «Электрическая тяга», Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ВЫБОР ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЗОВ

Alexander P. Buinosov, PhD, associate professor, «Electric traction» chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT),
 Dmitry L. Khudoyarov, PhD, the assistant, «Electric traction» chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT),
 Igor M. Pyshny, PhD student, the assistant, «Electric traction» chair, The Ural State University of Railway Transport (USURT)

Choice of wheel pairs tires' roll surface profile of industrial diesel locomotives

Аннотация

В статье приведены результаты сравнительного анализа изнашивания бандажей колесных пар тепловзов ТГМ4 и ТГМ23 депо «Пермские моторы» и Мотовилиха ЗАО «Железнодорожник». Бандажи колесных пар промышленных тепловзов были обточены по профилям ГОСТ 11018-2000, черт. 2, ДМетИ типа ЛР. На основе методов теории вероятности и математической статистики исходя из критерия максимального ресурса бандажей колесных пар до обточки для тепловзов ТГМ4 депо «Пермские моторы» эффективно применение профиля по ГОСТ 11018-2000, черт. 2, тогда как для бандажей колесных пар тепловзов ТГМ23 депо Мотовилиха — профиля ДМетИ типа ЛР.

Ключевые слова: тепловз, колесная пара, бандаж, профиль, износ, контролируемые параметры, ресурс, оценка.

Annotation

In the article there are given the results of the comparative analysis of wheel pairs' tires wear of diesel locomotives TGM4 and TGM23 depot Perm motors and Motovilikha JSC "Zheleznodorozhnik". Wheel pairs' tires of industrial diesel locomotives have been ground on profiles of GOST 11018-2000, fig. 2, DMetI type LP. On the base of probability theory methods and mathematical statistics under the criterion of wheel pairs tires' maximum resource before turning for diesel locomotives TGM4 depot Perm motors there exists the efficient use of a profile in accordance with GOST 11018-2000, fig. 2, whereas for wheel pairs' tires of diesel locomotives TGM23 depot Motovilikha — profile DMetI of type LP.

Key words: Diesel locomotive, wheel pair, tire, profile, wear, controlled parameters, resource, estimation.

Промышленный железнодорожный транспорт (железнодорожный транспорт необщего пользования) — огромный организм, в настоящее время раздробленный по министерствам и ведомствам. Задача у промышленных предприятий одна — максимум прибыли, доходов от своей деятельности. Однако в стороне остаются проблемы, связанные с работой внутризаводского железнодорожного транспорта, особенно вопросы поддержания в надлежащем состоянии подвижного состава и пути.

Изучение этой проблемы требует большого внимания, так как в настоящее время в сфере промышленного железнодорожного транспорта остро стоит вопрос о повышении ресурса бандажей и гребней колесных пар тягового подвижного состава. Это связано с ухудшением содержания, качеством ремонта пути и подвижного состава, несовершенством существующих нормативов, по которым оценивается состояние ходовых частей. Необходимо учитывать, что особенностями эксплуатации промышленного транспорта на путях необщего пользования являются: широкий диапазон грузонапряженности путей — от несколько тысяч до 20 — 25 млн т брутто в год; значительное число стрелочных переводов (в черной металлургии — в среднем до 4 на 1 км); наличие большого числа криволинейных участков, в том числе малых радиусов; нагрузка от оси подвижного состава на путь от 200 до 560 кН. Как известно из опубликованных результатов исследований [1, 2], интенсивность бокового износа рельсов и гребней бандажей колесных пар тягового подвижного состава находится в квадратичной зависимости от этих нагрузок. Например, при увеличении нагрузки на ось в среднем со 300 до 400 кН износ возрастает в 2,7 раза. Характерно применение специальных конструкций путей в цехах и на эстакадах, значительная протяженность путей с заглубленным балластным слоем.

Общая протяженность железнодорожных путей необщего пользования шириной колеи 1520 мм к началу 2011 г. в Российской Федерации составляла свыше 120 тыс. км. Из них около 50% — рельсы типа 1-а, Р38, Р43, другая половина — рельсы Р50, Р65 и более тяжелые. Более 30 тыс. предприятий имеют примыкание к железнодорожному транспорту общего пользования. Свыше 15% общей протяженности железнодорожных путей приходится на предприятия черной металлургии и почти 10% — на предприятия угольной промышленности.

Условия эксплуатации на путях общего пользования, конечно же, отличаются от эксплуатации на железнодорожном транспорте необщего пользования из-за наличия на последнем большого количества кривых малого радиуса (до 60 м). Тяжелые условия эксплуатации железнодорожного транспорта необщего пользования все чаще приводят к тому, что у тепловозов встречаются так называемые «шалые» тележки, т. е. такие, у которых при движении по прямым участкам пути гребни одной или обеих колесных пар (двухосная тележка) все время прижаты к головке одной рельсовой нити. При движении по криволинейному участку пути, если кривизна рельсовой нити, к которой прижаты гребни, направлена в сторону оси колеи, такая «шалая» тележка воздействует на головку наружного рельса в поперечном горизонтальном направлении значительно сильнее, чем исправные («нешалые») тележки.

Такая особенность «шалой» тележки имеет ряд негативных последствий: интенсивный боковой износ рельсов и гребней колесных пар тепловозов.

Выявлена следующая закономерность: если износ бандажа поверхности катания колесной пары локомотива мал (прокат менее 1 мм), а износ гребня одного бандажа колесной пары существенный [например, даже при обточке бандажей по профилю ДМетИ (типа ЛР) с номинальной толщиной гребня 30 мм и перед обточкой 23 мм, т. е. при износе гребня 7 мм], то износ гребня другого бандажа одной колесной пары, как правило, ничтожно мал (менее 1 мм).

Почему тележка тепловоза стала «шалой»?

Первая причина — перекося колесных пар относительно оси пути, образующийся вследствие различия межчелюстных расстояний у правой и левой боковин рамы тележки, отклонения в центровке букс, неблагоприятные сочетания и чрезмерные значения зазоров в буксовых узлах (между буксой и челюстями боковин вагона).

Если тележка становится «шалой» из-за перекося колесных пар, то особенность ее поведения в процессе эксплуатации проявляется в том, что при движении по прямым участкам пути гребень только одного бандажа колесной пары постоянно прижат к головке одного рельса. При этом гребень бандажа второй колесной пары (двухосная тележка) тележки может быть постоянно прижат к головке второго рельса.

Вторая причина — различие диаметров кругов катания бандажей одной колесной пары, следующих на прямом участке пути по правой и левой по ходу рельсовой нити. При этом возможны варианты, когда при движении по прямым участкам пути к головке рельса постоянно прижат гребень только одного бандажа колесной пары, двух бандажей одной колесной пары к одному рельсу и двух бандажей колесных пар разных

осей к разным рельсам. И понятны возможные последствия произвольного увеличения норматива на разность диаметров колесных пар при обточке с 1 до 10 мм, что эквивалентно соответствующему увеличению возвышения в одних кривых и снижению в других.

Совсем другое дело, когда поезд с такой «шалой» тележкой следует в режиме торможения, когда в поезде действует продольная сжимающая квазистатическая сила, обусловленная торможением поезда. Групповое боковое воздействие бандажей колесных пар локомотивов на верхнее строение пути, обусловленное сжатием поезда при его торможении, может быть снижено за счет модернизации автосцепного устройства. Основное направление работ в этой области — устройство стабилизирующего шарнира в хвостовике автосцепки и увеличение мощности поглощающих аппаратов.

Ресурс колесных пар определяется периодичностью технического обслуживания Т0-4, на котором производится обточка бандажей с целью восстановления профиля, а также периодичностью ремонтов ТР-3, на которых производится замена полностью изношенных бандажей.

Срок службы бандажей при прочих равных условиях во многом зависит от формы профиля поверхности катания. В ЗАО «Железнодорожник» (Пермь) колесные пары тепловозов обтачиваются по двум профилям поверхности катания: ДМетИ (Днепропетровский металлургический институт) типа ЛР (локомотивный, ремонтный) и по ГОСТ 11018-2000, черт. 2. Парк приписки промышленных тепловозов ТГМ4 и ТГМ23 в локомотивном хозяйстве ЗАО «Железнодорожник» составляет 169 тепловозов ТГМ4 и ТГМ23 (из них ТГМ4 — 86 и ТГМ23 — 83).

Для определения наилучшего профиля, обеспечивающего максимальный ресурс, в течение 2008 — 2010 гг. был проведен сравнительный анализ изнашивания бандажей с различными профилями в двух локомотивных депо: «Пермские моторы» и Мотовилиха приписки ЗАО «Железнодорожник». Для достоверной оценки был взят эксплуатируемый парк тепловозов в количестве 169 штук. Собранный и в дальнейшем обработанный статистический материал на основе измерения контролируемых параметров (прокат и толщина гребня) колесных пар 23 тепловозов ТГМ23 с конфигурацией профиля поверхности катания колесных пар по ГОСТ 11018-2000, черт. 2 и 30 тепловозов ТГМ4 с профилем бандажей ДМетИ типа ЛР (депо «Пермские моторы»); 60 тепловозов ТГМ23 с конфигурацией профиля поверхности катания колесных пар по ГОСТ 11018-2000, черт. 2 и 56 тепловозов ТГМ4 с профилем бандажей ДМетИ типа ЛР (депо Мотовилиха) позволил отразить картину нормального закона распределения, что говорит о достоверности обработанного статистического материала.

Замеры производились на плановых осмотрах Т0-3 и ремонтах ТР-1 с помощью электронного малогабаритного переносного прибора КИП-05 [3], разработанного в УрГУПС и предназначенного для автоматического измерения параметров бандажей колесных пар локомотивов. Относительная погрешность прибора КИП-05 не превышает 2%. По книгам ремонта и формам ТХ0-5 для каждого значения был определен пробег от момента восстановления бандажа до замера.

В процессе эксплуатации контролируемые параметры бандажей колесных пар меняются в результате изнашивания или старения. Для каждого технического (контролируемого) пара-

метра устанавливаются допуски, т. е. минимальное X_{\min} и максимальное X_{\max} значения, между которыми может находиться значение параметра при эксплуатации $\Delta = X_{\max} - X_{\min}$ — поле допуска.

Отказ — это событие, заключающееся в потере работоспособного состояния в результате выхода значений одного или нескольких контролируемых параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции, за пределы установленных допусков. Отказы, которые возникают в процессе плавного изменения контролируемого параметра и выхода его величины за установленный допуск называются постепенными параметрическими отказами. Отказ, наступивший в результате резкого, скачкообразного изменения параметра, является внезапным.

На рис. 1 показаны реализации изменения контролируемого параметра в зависимости от продолжительности эксплуатации — наработки бандажей колесных пар тепловозов.

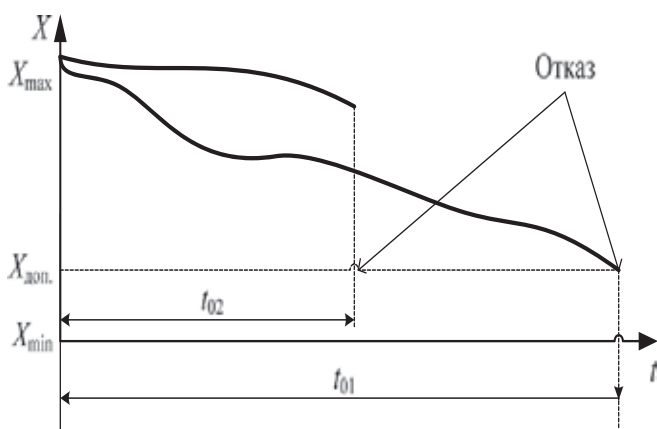


Рисунок 1 — Реализация контролируемого параметра

В момент времени t_{01} возникает постепенный отказ в результате выхода (например, толщины гребня бандажа за минимально допустимый предел вследствие его изнашивания). В момент t_{02} возник внезапный отказ (например, в результате резкого уменьшения толщины гребня — подреза гребня из-за наличия «шальной тележки»).

Если в результате такого контроля окажется, что все параметры бандажей находятся в пределах установленных допусков $X_{\text{доп.}}$, то тепловоз находится в работоспособном состоянии. Если хотя бы один из параметров выходит за пределы установленных допусков, то такой тепловоз считается потерявшим работоспособность — отказавшим.

Наработка до и между отказами бандажей колесных пар определяется множеством случайных факторов — химическим составом материала и физическими свойствами бандажа, качеством его изготовления, его прочностными характеристиками, климатическими и метеорологическими условиями эксплуатации, режимами нагружения, порядком чередования различных эксплуатационных режимов, температурными условиями эксплуатации, степенью влажности атмосферы и ее запыленности, состоянием тормозной системы, режимами ведения поезда, насыщенностью поверхности трения абра-

зивными частицами, зависящими от интенсивности пескоподачи, состоянием пути и зависящими от него динамическими нагрузками, а также другими факторами, т. е. является случайной величиной [4].

Полная (исчерпывающая) характеристика случайной величины — это закон ее распределения, т. е. соотношение, которое устанавливает связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Для проверки соответствия теоретического и статистического распределения случайной величины служат так называемые критерии согласия. Один из наиболее распространенных критериев — критерий Пирсона или критерий «хи-квадрат» χ^2 . Он позволяет определить вероятность того, что за счет случайных причин мера расхождения теоретического и статистического распределений будет больше, чем фактически наблюдаемая.

Выборки контролируемых параметров бандажей колесных пар с различной конфигурацией профиля поверхности катания хорошо описываются нормальным законом, что не противоречит физике процесса.

Завышение или занижение контролируемого параметра искажает зависимость его от пробега, так как скачкообразные изменения параметра, являясь внезапными отказами, нарушают процесс естественного износа. Поэтому, чтобы избежать искажений, необходимо исключить из общего числа исходных данных значения, которые резко отличаются от основной совокупности. Чтобы не отбросить вполне закономерные значения, а исключить именно те, которые имеют случайный характер, применяется критерий «грубых ошибок».

Границы, в свою очередь, выбираются так, чтобы вероятность превзойти их отвечала некоторому уровню значимости $q\%$, т. е. вероятность того, что отброшенное число принадлежит данной совокупности, равна $q\%$, а вероятность противоположной гипотезы о том, что отбрасываемое число случайно в данной выборке, $\beta = 1 - q$.

При $q = 0,3\%$ вероятность $\beta = 99,7\%$, что для практических расчетов обеспечивает необходимую точность.

Критические границы определяются по правилу 3σ , т. е. отрезок $m_i + 3\sigma_i$ считается участком практически возможных значений параметра.

Среднее значение контролируемого параметра X в i -м сечении

$$m_i = 1/N_i \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij}, \quad (1)$$

где N_i — число значений контролируемого параметра на замер с данным номером i (в i -м сечении);

X_{ij} — контролируемый параметр в i -м сечении.

Среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра

$$\sigma_i = \sqrt{D_i} = \sqrt{1/N_i \sum_{j=1}^{N_i} (X_{ij} - m_i)^2}, \quad (2)$$

где m_i — среднее значение контролируемого параметра X в i -м сечении.

Исследованиями было доказано, что контролируемые параметры бандажей колесных пар локомотивов хорошо опи-

сываются нормальным законом, плотность распределения которого

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_x(t)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[X(t) - m_x(t)]^2}{2\sigma_x^2(t)}\right\}, \quad (3)$$

где m_x — математическое ожидание контролируемого параметра;

σ_x — среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра;

X — текущее значение контролируемого параметра.

Для того чтобы осуществлять прогнозирование процесса изнашивания деталей и определить их ресурс, необходимо построить аналитические зависимости числовых характеристик среднего значения m_x и среднеквадратического отклонения σ_x от пробега [1].

На практике замеры значений контролируемых параметров изнашиваемых деталей производят не чаще, чем на ТР-1. Однако период приработки после восстановления бандажей на ремонте ТР-3 заканчивается уже к первому ТР-1. Кроме того, допуски на значения контролируемых параметров $M_{\text{доп}}$ устанавливаются с таким расчетом, чтобы предупредить наступление периода усиленного изнашивания. Поэтому полученные значения контролируемых параметров представляют только второй участок — период нормальной эксплуатации, где зависимость контролируемых параметров от пробега близка к линейной. Об этом свидетельствует также анализ полей корреляции числовых характеристик контролируемых параметров.

При проведении сравнительного анализа изнашивания бандажей в ЗАО «Железнодорожник» было выявлено, что износ элементов пары «колесо — рельс» отражает приработочный период, нормальную работу и старение — интенсивный износ. С помощью стратегии ремонтов (переточек) колес попадание их в третий этап — старение, как правило, не допускается. Однако специфика работы колесной пары промышленного тепловоза такова, что при одном фиксированном элементе пары второй — всегда переменный. Не включая в рассмотрение изменения, происходящие в поверхностном слое элементов колесной пары (наклеп, раскат и др.), указанный факт должен приводить к регулярной смене этапов: приработка — нормальная работа. В этом случае интенсивность износа рабочих поверхностей значительно уменьшается и для этого интервала становится практически постоянной. В этих условиях происходят благоприятные изменения в поверхностном слое элементов пары: раскат, наклеп, шлифовка, что в некоторый момент времени заметно уменьшает интенсивность износа, которая на длительное время остается практически постоянной.

Зависимости величины проката и изменение толщины гребня от пробега можно определить с помощью методов регрессионного анализа, который позволил выявить основные закономерности износа. Эти зависимости были аппроксимированы линейными функциями

$$X = A + BL, \quad (4)$$

где X — значение контролируемого параметра (прокат, износ гребней бандажей);

A — величина контролируемого параметра на начало рассматриваемого периода;

B — интенсивность нарастания проката, уменьшение толщины гребня бандажей;

L — пробег.

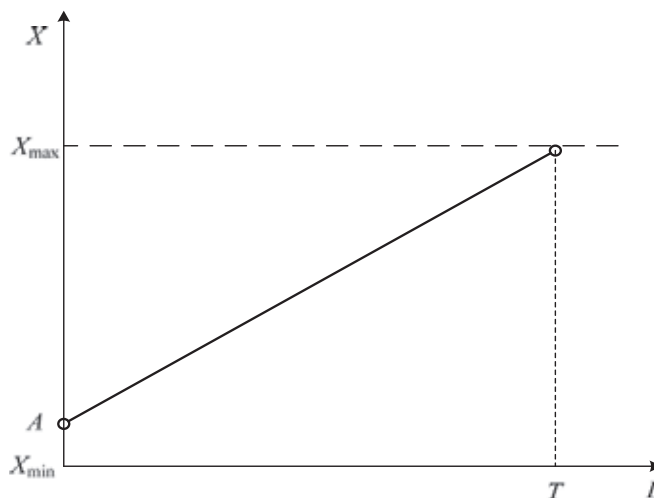


Рисунок 2 — Изменение определяющего параметра

В этом случае оценка полного ресурса T при известном значении B производится решением уравнения (1) при $X = X_{\text{max}}$

$$T = \frac{X_{\text{max}} - A}{B} \quad (5)$$

Величина предельного износа X_{max} определяется по условию прочности бандажей, требованиям нормативно-технической документации или исходя из требований безопасности (рис. 2) [5].

На основании выполненных расчетов при помощи специализированных программ STATISTICA и SPSS построены зависимости среднего значения и среднеквадратического отклонения от пробега проката и износа гребня бандажей колесных пар тепловозов ТГМ4 и ТГМ23 двух локомотивных депо «Пермские моторы» и Мотовилиха приписки ЗАО «Железнодорожник».

В качестве примера зависимости среднего значения проката бандажей колесных пар от пробега тепловозов ТГМ4 «Пермские моторы», обточенных по профилю ГОСТ 11018-2000, черт.2 и ДМетИ типа ЛР, представлены на рис. 3 и 4.

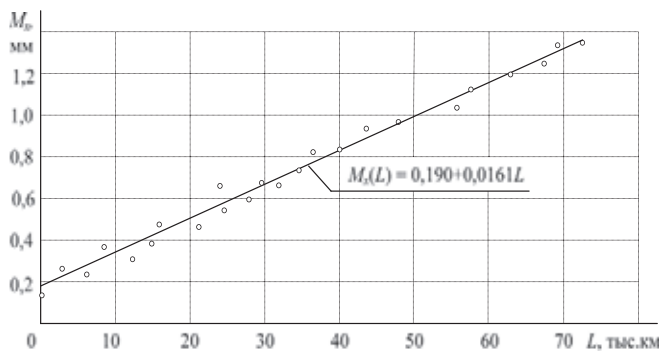


Рисунок 3 — Зависимость от наработки среднего значения проката бандажей колесных пар от пробега тепловозов ТГМ4 депо «Пермские моторы», обточенных по профилю ГОСТ 11018-2000, черт.2

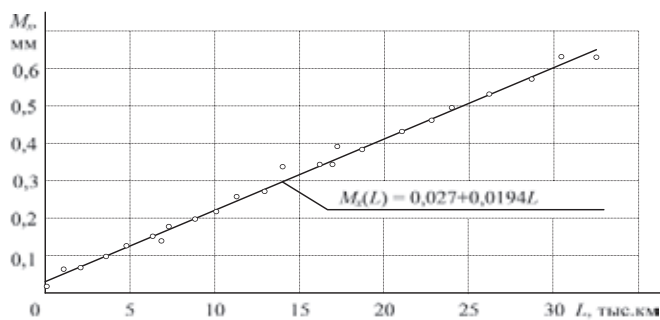


Рисунок 4 — Зависимость от наработки среднего значения проката бандажей колесных пар тепловозов ТГМ4 депо «Пермские моторы», обточенных по профилю ДМетИ типа ЛР

Результаты расчета коэффициентов уравнений регрессии контролируемых параметров бандажей колесных пар тепловозов ТГМ4 и ТГМ23 сведены в табл. 1, в которой профиль ДМетИ типа ЛР обозначен как ДМетИ, а ГОСТ 11018-2000, черт. 2 — как ГОСТ.

Значения всех коэффициентов корреляции составляют 0,757 — 0,988, что свидетельствует об адекватности линейной аппроксимации, т. е. о достаточно тесной линейной связи контролируемых параметров с величиной пробега L в двух локомотивных депо ЗАО «Железнодорожник».

Выполненный анализ полученных данных (см. табл. 1) показал:

1) интенсивность нарастания проката (естественный износ) бандажей, обточенных по профилю ДМетИ типа ЛР, в сравнении с колесными парами, имеющими конфигурацию профиля поверхности катания по ГОСТ 11018-2000, черт. 2:

— в депо «Пермские моторы» увеличилось на 20% (с 0,161 до 0,194 мм/10⁴ км);

— в депо Мотовилиха уменьшилась в 2,6 раза (с 0,346 до 0,131 мм/10⁴ км);

2) интенсивность уменьшения толщины гребней бандажей колесных пар, обточенных по профилю ДМетИ типа ЛР, в сравнении с профилем обточенных по ГОСТ 11018-2000, черт. 2:

— в депо «Пермские моторы» уменьшилась в 2 раза (с 0,332 до 0,167 мм/10⁴ км);

— в депо Мотовилиха увеличилась на 65% (с 0,126 до 0,208 мм/10⁴ км).

На основании полученных зависимостей $M_x(L)$ и $\sigma_x(L)$ можно прогнозировать процесс изнашивания и определить ресурс бандажей колесных пар тепловозов.

Как видно из рис. 5, с ростом наработки L увеличивается вероятность того, что значение контролируемого параметра выйдет за пределы установленного допуска $X_{\text{доп}}$ (заштрихованная часть площади, ограниченной кривой плотности распределения параметра).

Выход контролируемых параметров за установленный допуск классифицируется как отказ работы бандажа, предельный износ. Установленный допуск проката по кругу катания бандажей колесных пар тепловозов ТГМ4 и ТГМ23 — 7 мм, уменьшение толщины гребня (износ гребня) для тепловозов ТГМ4 и ТГМ23, бандажи колесных пар которых обточены по профилю ДМетИ типа ЛР, — 5 мм, а имеющих конфигурацию профиля по ГОСТ 11018-2000, черт. 2 — 8 мм [5].

Выход контролируемого параметра за установленный допуск классифицируется как отказ детали, износ которой он характеризует. Таким образом, с увеличением наработки L

Таблица 1 — Результаты расчета коэффициентов уравнений регрессии среднего и среднеквадратического отклонения параметров колесных пар

Контролируемый параметр	Локомотивное депо, серия тепловоза	Объем выборки N	Профиль	Зависимость	Коэффициенты уравнений регрессии $X = A + BL$		Коэффициент корреляции R_{xy}	Остаточная дисперсия S_0^2 , мм ²	98%-й ресурс бандажей до обточки, тыс. км
					A, мм	B, мм/10 ⁴ км			
Прокат бандажей	«Пермские моторы» ТГМ4	572	ГОСТ	$M_x(L)$	0,190	0,161	0,931	0,0248	167
				$\sigma_x(L)$	0,098	0,187	0,883	0,0622	
			ДМетИ	$M_x(L)$	0,027	0,194	0,988	0,0016	189
				$\sigma_x(L)$	0,144	0,129	0,887	0,0083	
	Мотовилиха ТГМ23	480	ГОСТ	$M_x(L)$	0,191	0,346	0,963	0,0678	137
				$\sigma_x(L)$	0,528	0,081	0,935	0,0069	
			ДМетИ	$M_x(L)$	0,971	0,131	0,892	0,0231	305
				$\sigma_x(L)$	0,904	0,022	0,780	0,0017	
Износ гребней бандажей	«Пермские моторы» ТГМ4	498	ГОСТ	$M_x(L)$	3,993	0,332	0,757	0,5393	132
				$\sigma_x(L)$	1,322	0,116	0,965	0,0065	
			ДМетИ	$M_x(L)$	3,410	0,167	0,971	0,1775	97
				$\sigma_x(L)$	1,329	0,283	0,936	0,0120	
	Мотовилиха ТГМ23	444	ГОСТ	$M_x(L)$	2,015	0,126	0,941	0,0162	183
				$\sigma_x(L)$	0,887	0,109	0,739	0,0782	
			ДМетИ	$M_x(L)$	1,944	0,208	0,904	0,0349	178
				$\sigma_x(L)$	1,239	0,078	0,868	0,0106	

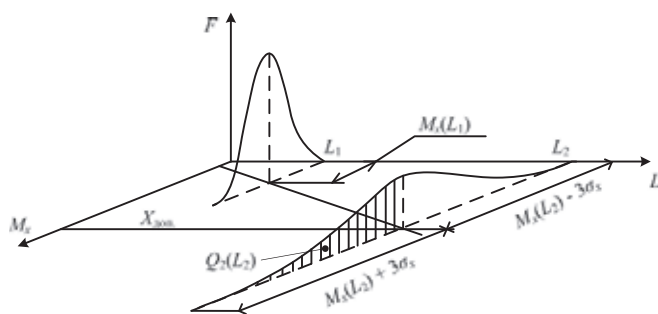


Рисунок 5 — Определение вероятности отказа детали Q при фиксированной наработке L для увеличивающегося контролируемого параметра

возрастает вероятность отказа детали Q и, соответственно, уменьшается вероятность безотказной работы детали P .

Наработка, при которой вероятность безотказной работы детали равна заданному значению $\gamma = (1 - Q) \cdot 100\%$, называется гамма-процентным ресурсом L_γ . Значение функции распределения ресурса при фиксированной наработке L_i определяется как

$$F(L) = \int_b^a f(x) dx, \quad (6)$$

где a и b — интервал изменения величины контролируемого параметра, выходящей за установленный допуск.

По известной функции распределения ресурса $F(L)$, задаваясь требуемым уровнем вероятности безотказной работы γ , выраженным в процентах, определены соответствующий гамма-процентный ресурс колесных пар тепловозов ТГМ4 и ТГМ23 с различной конфигурацией профилей поверхности катания. Если производить восстановление изношенного бандажа, его замену при наработке (пробеге), не превышающей 98%-го ресурса ($P = 0,02$), то вероятность отказа бандажа в межремонтном периоде не превысит 2% и отклонение межремонтного пробега от установленной величины также окажется в пределах $\pm 2\%$, т. е. находится в со-

ответствии с относительной погрешностью прибора КИП-05. Поэтому целесообразно ограничить межремонтные пробеги 98%-м ресурсом.

Результаты расчета 98%-го ресурса бандажей колесных пар до обточки приведены в табл. 1 и на рис. 6.

Ресурс до обточки бандажей колесных пар (см. рис. 6), обточенных по профилю ДМетИ типа ЛР, по сравнению с профилем по ГОСТ 11018-2000, черт. 2 уменьшился в депо «Пермские моторы» (тепловозы ТГМ4) на 36% (с 132 до 97 тыс. км), тогда как в локомотивном депо Мотовилиха (тепловозы ТГМ23) при переходе на профиль ДМетИ типа ЛР — увеличился на 30% (с 137 до 178 тыс. км).

Таким образом, исходя из критерия максимального ресурса бандажей колесных пар до обточки для тепловозов ТГМ4 депо «Пермские моторы» эффективно применение профиля по ГОСТ 11018-2000, черт. 2, тогда как для бандажей колесных пар тепловозов ТГМ23 депо Мотовилиха — профиля ДМетИ типа ЛР.

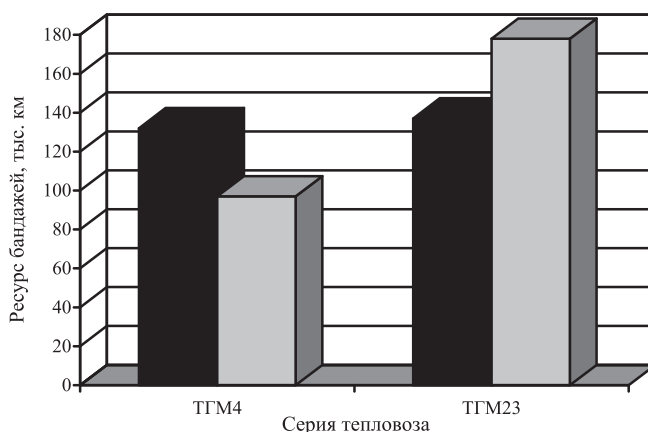


Рисунок 6 — 98%-й ресурс до обточки бандажей колесных пар тепловозов ТГМ4 и ТГМ23:

■ — профиль ГОСТ 11018-2000, черт. 2; ■ — профиль ДМетИ типа ЛР

Литература

1. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург : УрГУПС, 2009. 224 с.
2. Буйносов А.П. Выбор оптимального остаточного проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Транспорт Урала. 2010. № 2 (25). С. 45 — 47.
3. Буйносов А.П. Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64 — 68.
4. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава. М., 2010. 244 с.
5. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм № К-2273у / ЦТ-329. Измененная и дополненная. М. : МПС РФ, 1995, 2000. 48 с.

References

1. Buinosov A.P. Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhej kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh us-traneniya. Ekaterinburg: Izd-vo UrGUPS, 2009. 224 s.
2. Buinosov A.P. Vybore optimalnogo ostatochnogo prokata bandazhej kolesnykh par elektrovozov VL11 // Transport Urala. 2010. № 2 (25). S. 45– 47.
3. Buinosov A.P. Razrabotka i apparatnaya realizatsiya pri-bora dlya izmereniya geometricheskikh parametrov bandazhej kolesnykh par // Transport Urala. 2010. № 3 (26). S. 64 – 68.
4. Buinosov A.P. Metody povysheniya resursa kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava. M. 2010. 244 s.
5. Instruksiya po formirovaniyu, remontu i soderzhaniyu kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 15-20 mm s. № K-2273u / TST- 329. Izmenennaya i dopolnennaya. M.: MPS RF, 1995, 2000. 48 s.

УДК 621.332

Олег Алексеевич Сидоров, профессор кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС),
Александр Николаевич Смердин, доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС),
Вячеслав Александрович Жданов, аспирант кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС)

ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТОКОСЪЕМА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Oleg A. Sidorov, professor of 'Power supply of railway transport' department (Omsk State University of Railway Transport (OSTU), Omsk),
Aleksandr N. Smerdin, Associate professor of 'Power supply of railway transport' department (Omsk State University of Railway Transport (OSTU), Omsk),
Viacheslav A. Zhdanov, PhD student of 'Power supply of railway transport' department (Omsk State University of Railway Transport (OSTU), Omsk)

Application of reasonable current collection quality methods for high speed railways

Аннотация

Статья посвящена описанию методик для определения рациональных показателей качества токосъема, основанных на применении аппарата математической статистики и регрессионного анализа. Выполнен анализ методов оценки качества токосъема на сети железных дорог РФ; предложена методика обработки данных вагона-лаборатории испытания контактной сети и определения интегральных показателей качества токосъема, составлена регрессионная модель определения среднеквадратического отклонения контактного нажатия токоприемника, приведено сравнение результатов моделирования с данными измерений.

Ключевые слова: контактная подвеска, токоприемник, высотное положение, контактное нажатие, среднеквадратическое отклонение, закон распределения, регрессионная модель.

Annotation

This paper is devoted to description of reasonable current collection quality characteristics based on statistics and regression analysis applications. In this paper the methods of current collection quality examination analysis for Russian Railways are shown, the data processing method of contact system testing and identification of integral performance indexes of current is offered, regression model for evaluation of standard deviation of pantograph contact force is offered, simulation and measurement data comparison is given.

Keywords: catenary, pantograph, contact wire height, contact force, standard deviation, partition law, regression model.

Согласно плану научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. одним из стратегических направлений является создание высокоскоростного движения с освоением отечественного производства основных элементов инфраструктуры и подвижного состава [1]. При этом на первый план выходит безопасность движения поездов, связанная в том числе и с надежностью инфраструктуры системы токосъема (ИСТ), текущее состояние которой определяется комплексом методик оценки ее функциональной готовности.

Одним из основных направлений совершенствования методик оценки функциональной готовности ИСТ к скоростному движению является создание системы диагностики, основанной на определении интегральных показателей качества токосъема.

Современные методы оценки технического состояния системы токосъема, как правило, рассматривают объекты инфраструктуры в виде пролетов и анкерных участков с заданным перечнем характеристик, основными из которых служат высотное положение контактного провода и эластичность контактной подвески.

В настоящее время оценка технического состояния ИСТ осуществляется с помощью вагонов для испытания контактной сети (ВИКС). Аппаратура, смонтированная в этих вагонах, измеряет и регистрирует с записью на ленте, а также в памяти ЭВМ следующие параметры:

- зигзаги и выносы контактного провода;
- высоту положения контактного провода над уровнем головки рельса (УГР);
- подбои и отрывы токоприемника в жестких точках;
- уменьшенные расстояния в зоне прохода токоприемника до отходящих ветвей, фиксаторов и других элементов;

- контактное нажатие токоприемника.

По результатам измерений указанных параметров с помощью ВИКСа производится балльная оценка состояния контактной сети в соответствии с ЦЭ-197 [2] для скоростей движения до 160 км/ч, которая определяет систему штрафных баллов за единичные разрегулировки контактной подвески.

С ростом скоростей движения время взаимодействия токоприемника с контактным проводом в пределах пролета контактной сети резко снижается, поэтому оценка параметров единичных пролетов не дает полной картины состояния системы «контактная подвеска — токоприемник». Следовательно, необходим новый подход к оценке состояния ИСТ, при котором параметры и характеристики контактной подвески должны задаваться в интегральной форме без учета особенностей единичных пролетов.

В качестве базисных критериев качества токосъема предлагается использовать среднеквадратическое отклонение (СКО) контактного нажатия токоприемника и высотного положения контактного провода, определяемые для различных скоростей движения на исследуемом участке. Измерения, производимые с помощью ВИКСа, могут дать необходимую информацию об указанных выше параметрах в виде массива данных для каждого исследуемого участка пути.

В настоящее время в Омском государственном университете путей сообщения ведется разработка методики оценки базисных критериев качества токосъема, которая позволяет производить обработку данных ВИКСа, подразумевающую фильтрацию результатов измерительных поездок от выбросов, а также расчет этих критериев в интегральной форме с выводом результатов в текстовый файл для дальнейшего анализа.

На первом этапе данные, поступающие от ВИКСа, конвертируются в текстовый формат Unicode, позволяющий производить над ними различные действия: редактирование, импортрование и пр. Представленные в текстовом

виде файлы поездок импортируются в специализированную базу данных на основе СУБД MySQL для дальнейшего анализа.

На втором этапе производится разбиение данных на участки длиной 1 км для удобства их привязки к пикетажу исследуемого участка.

Значения высотного положения контактного провода, измеренные с помощью ВИКСа, графически можно представить в виде кривой, приведенной на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что кривая имеет ряд нехарактерных точек (выбросов), вызванных несовершенством измерительного комплекса, а также случайными факторами, вносящими погрешность в измерения. При этом появляется опасность, что программное обеспечение ВИКСа может ошибочно принять выброс за факт разрегулировки контактной подвески [3]. Следует отметить, что за выброс стоит принимать единичное значение оцениваемого параметра, резко выделяющееся на фоне ряда монотонной последовательности измерений.

На третьем этапе производится фильтрация данных от выбросов. В качестве алгоритма фильтрации был выбран медианный фильтр, отличительными особенностями которого являются:

- простая структура фильтра как для аппаратной, так и для программной реализации;
- фильтр не изменяет ступенчатые и пилообразные функции;
- фильтр хорошо подавляет одиночные импульсные помехи и случайные шумовые выбросы отсчетов.

Алгоритм медианной фильтрации реализован на языке Python и производит фильтрацию измерений, хранящихся в базе данных с записью результатов в соответствующие таблицы.

После процедуры фильтрации для каждого километра пути строятся гистограммы распределения высотного положения и контактного нажатия токоприемника (рис. 2). В ходе анализа было выявлено, что наиболее точно исследуемые величины описывает нормальный закон распределения $P(\chi^2) > 0,1$.

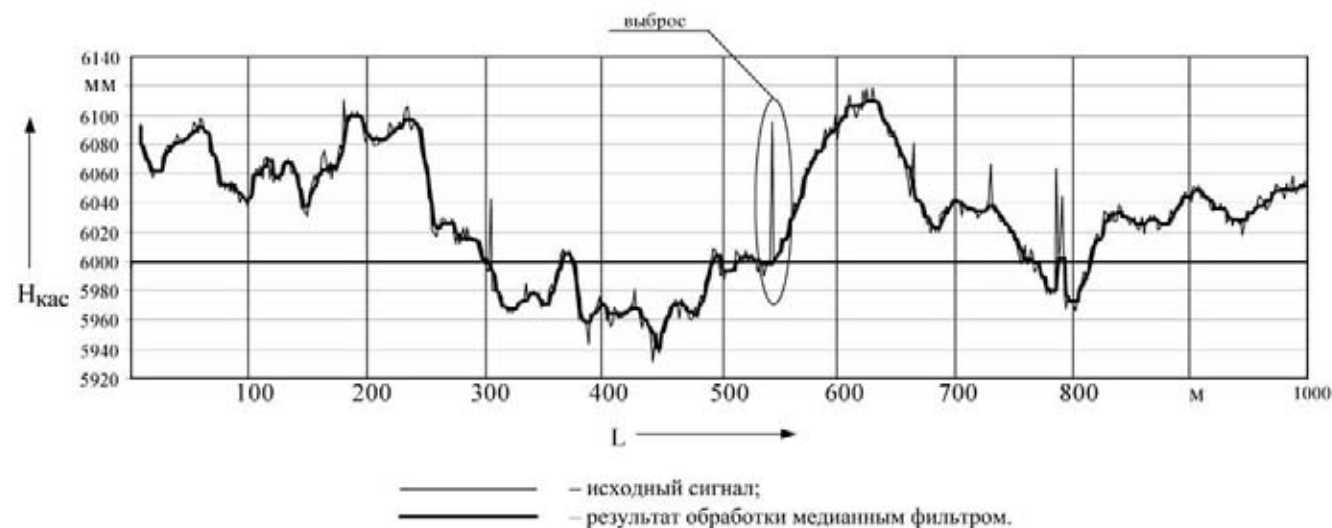


Рисунок 1 — Высотное положение контактного провода

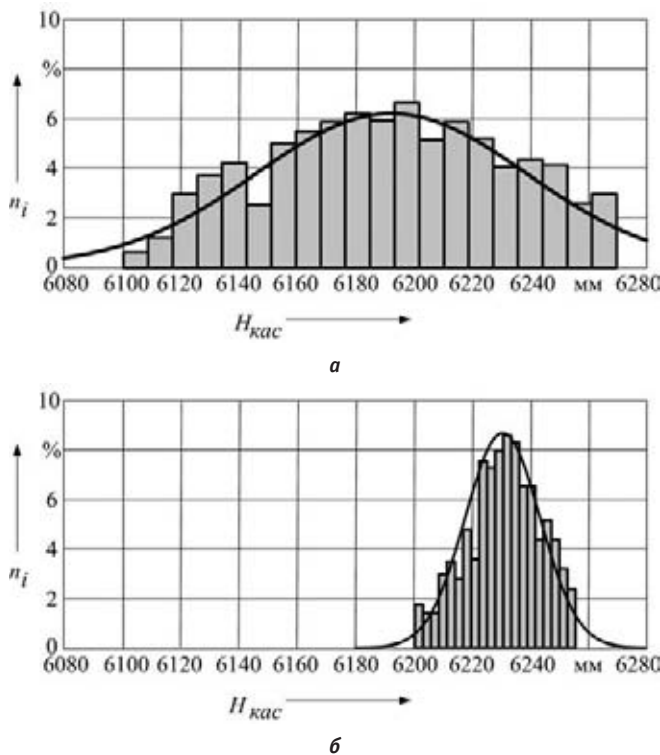


Рисунок 2 — Гистограммы километрового распределения высотного положения контактного провода с различным качеством регулировок:

а — с низким качеством регулировки;
б — с высоким качеством регулировки

Важной характеристикой нормального закона является величина СКО от математического ожидания, характеризующая разброс значений исследуемой величины. Поэтому на четвертом этапе производится расчет СКО контактного нажатия токоприемника и высотного положения контактного провода на каждом километре пути с помощью встроенных функций СУБД MySQL.

При анализе рассчитанных величин было выявлено, что для различных участков контактной подвески значения СКО высотного положения и контактного нажатия отличаются [4].

При увеличении контактного нажатия (при прочих равных условиях) имеет место механический износ, а при его снижении — электрический, вызванный искрением и выгоранием материала контактной пары под действием дуги, что может быть графически представлено в виде U-образных характеристик, отражающих качественную зависимость износа j от контактного нажатия токоприемника $P_{КТ}$ и СКО контактного нажатия $\sigma P_{КТ}$. Аналогичные зависимости (рис. 3) были получены в ходе натурных испытаний на скоростных участках Октябрьской железной дороги, проведенных в 2005 — 2010 гг. с участием ОмГУПС.

Из рис. 3 видно, что при изменении контактного нажатия относительно статического как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения возрастает величина износа. Следовательно, рост СКО контактного нажатия токоприемника харак-

теризуется нестабильностью контакта между токоприемником и контактным проводом, что свидетельствует о снижении показателей качества токосъема.

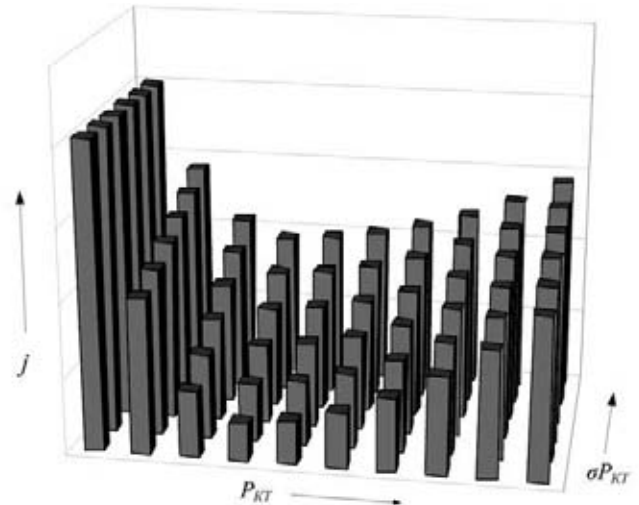


Рисунок 3 — Зависимость удельного износа от СКО контактного нажатия

На основании имеющихся регрессионных зависимостей при достижении СКО контактного нажатия определенного значения можно сделать вывод о невозможности дальнейшего увеличения скорости движения при сохранении заявленного качества токосъема, а также уточнить участковые ограничения скорости по токосъему для исследуемой системы.

Проведение измерительных поездок для определения большого количества входных величин связано со значительными материальными затратами. С целью оптимизации работы измерительного комплекса ВИКСа предлагается использовать методику регрессионного моделирования для определения среднеквадратического отклонения контактного нажатия токоприемника. Методика регрессионного моделирования, разработанная в ОмГУПС, заключается в определении вида зависимости между влияющими факторами и оцениваемой величиной.

Парная регрессия может дать хороший результат лишь в случае влияния одного фактора на исследуемый объект (СКО контактного нажатия), что на практике реализовать достаточно сложно. Следовательно, для выявления количественной зависимости между возмущающими воздействиями и откликом модели необходим подход, учитывающий влияние нескольких факторов, реализовать который позволяет аппарат множественного регрессионного анализа.

Основная цель применения множественного регрессионного анализа — построение прогностической модели определения СКО контактного нажатия путем анализа совокупности возмущающих факторов (предикторов) для экстраполяции исследуемой величины по данным экспериментальных исследований.

Построение уравнения множественной регрессии начинается с решения вопроса о спецификации модели, который может быть разбит на два этапа: отбор влияющих

факторов (составление матрицы — столбца предикторных переменных Θ) и выбор вида параметрического семейства функций F .

В качестве исследуемого полигона выбран участок скоростной линии Москва — Санкт-Петербург. Обездан полигона длиной 81 км осуществлялся ВИКСом с регистрацией следующих параметров: координата (км), скорость ЭПС в данной точке (км/ч), высотное положение контактного провода в данной точке (м), зигзаг контактного провода (м) и сила контактного нажатия токоприемника (Н). Обездан данного участка выполнялся дважды, в результате было получено два массива данных — для обучающей и экзаменующей выборки соответственно.

Таблица 1 — Пример таблицы исходных данных в MySQL

Километр	Средняя скорость ЭПС, км/ч	СКО высотного положения контактного провода, м	Средний положительный зигзаг, м	Средний отрицательный зигзаг, м	СКО контактного нажатия токоприемника, Н
1	134,11	0,006953	0,0123	0,0097	12,54
2	151,85	0,006996	0,0109	0,0148	14,21
...
81	29,23	0,002995	0,0081	0,0093	6,01

Данные обрабатывались по описанной выше методике (фильтрация и расчет интегральных показателей) с записью результатов предварительной обработки в специализированную базу данных. В итоге были получены две таблицы исходных данных для обучающей и экзаменующей выборки (табл. 1).

Исходя из предпосылок независимости предикторных переменных, а также оптимальности их набора [5] был выполнен корреляционный анализ величин, входящих в таблицу исходных данных, определены парные коэффициенты корреляции и построены диаграммы рассеяния (рис. 4). В ходе анализа было установлено, что на СКО контактного нажатия токоприемника в наибольшей степени влияет значение средней скорости ЭПС на каждом километре пути ($r = 0,72$). Меньшее воздействие оказывает СКО высотного положения контактного провода ($r = 0,41$). Остальные величины не коррелированы с исследуемой величиной. Поэтому, опираясь на результаты корреляционного анализа и априорные сведения о физической сущности исследуемого процесса, в уравнение регрессии вносим две предикторные переменные:

$$x_1 = \bar{v},$$

где \bar{v} — средняя скорость ЭПС на каждом километре пути, км/ч;

$$x_2 = \sigma H_{KAC},$$

где σH_{KAC} — среднее квадратическое отклонение высотного положения контактного провода, м.

Таким образом, уравнение регрессии в общем виде может быть представлено выражением

$$y = f(x_1, x_2, \Theta) + \varepsilon, \quad (1)$$

где y — среднее квадратическое отклонение контактного нажатия токоприемника, Н;

Θ — коэффициенты уравнения регрессии;

ε — случайная ошибка (остаток) регрессионного моделирования.

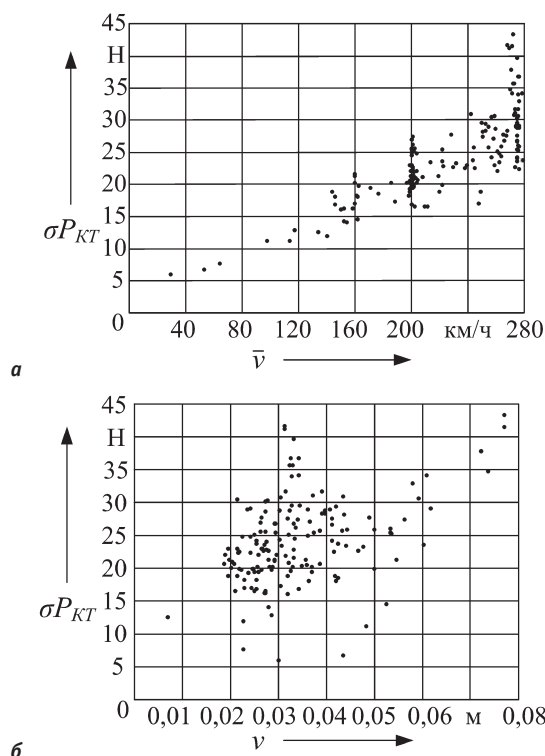


Рисунок 4 — Диаграммы рассеяния СКО контактного нажатия от средней скорости ЭПС (а) и СКО контактного нажатия от СКО высотного положения токоприемника (б)

Выбор параметрического семейства функций F , в рамках которого в дальнейшем производится поиск неизвестной функции регрессии $f(x_1, x_2, \Theta)$, является одновременно наиболее важным и наименее теоретически обоснованным этапом регрессионного анализа. Методики различных авторов [5 — 7] сводятся к экспертной оценке априорной информации о сущности исследуемого процесса и геометрической структуре данных для определения параметрического семейства базовых функций (рис. 5). Поверхность отклика получена для всего массива экспериментальных данных исследуемого участка путем аппроксимации методом наименьших квадратов. Функция сглаживания поверхности между точками — алгебраический полином второго порядка.

Исходя из геометрической структуры данных наблюдаемого процесса (см. рис. 5) поверхность отклика может быть описана алгебраическим полиномом размерности m вида

$$f(X; \Theta) = \Theta_0 + \sum_{k=1}^p \Theta_k \cdot x_k + \sum_{k_1=1}^p \sum_{k_2=1}^p \Theta_{k_1 k_2} x_{k_1} x_{k_2} + \dots + \sum_{k_1=1}^p \dots \sum_{k_m=1}^p \Theta_{k_1 k_2 \dots k_m} \cdot x_{k_1} x_{k_2} \dots x_{k_m} \quad (2)$$

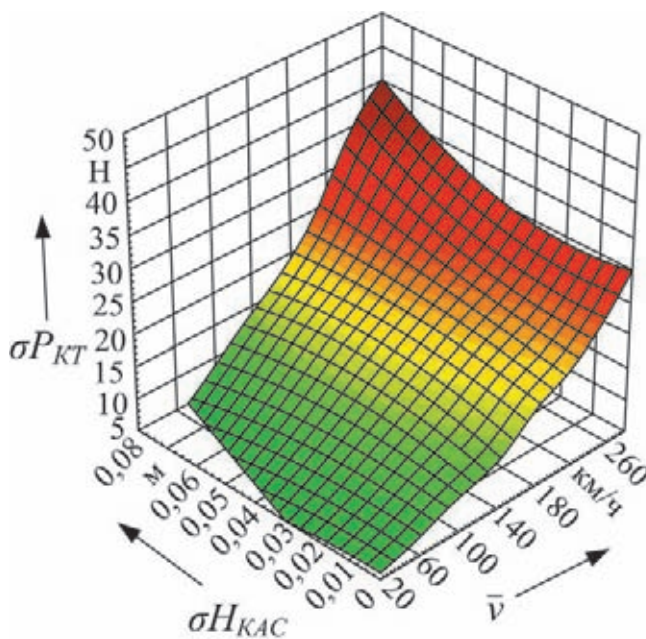


Рисунок 5 — Поверхность отклика модели $\sigma P_{KT} = f(\bar{v}, \sigma H_{KAC})$

Оценка коэффициентов уравнения регрессии производилась методом наименьших квадратов (МНК), решение которого может быть представлено выражением

$$\hat{\Theta} = (X^T \cdot X)^{-1} X^T \cdot Y, \quad (3)$$

где $\hat{\Theta}$ — МНК-оценка вектора коэффициентов базовых функций;

X — вектор базовых функций;

X^T — транспонированный вектор базовых функций;

Y — вектор откликов модели.

Следует отметить, что МНК-оценка вектора коэффициентов базовых функций — наилучшая несмещенная оценка для выбранного набора базовых функций и предикторных переменных [5].

Имея вектор оценок коэффициентов регрессии, можно построить оценку аналитической функции регрессии, подставив соответствующие значения из (3) в (2), и рассчитать отклик модели по обучающей и экзаменующей выборкам.

При анализе точности моделирования нецелесообразно строить доверительные интервалы для значений параметров модели и для функции регрессии, так как на практике неточный выбор общего вида функции регрессии, приводящий к нарушению базового допущения $f(x) \in F$, на которое существенно опираются все выводы по оцениванию точности регрессионной модели, может заключаться и в неполном, и в избыточном представлении набора предикторных переменных, а также в искажении самой структуры модели. Сле-

довательно, для оценки качества построения регрессионной модели рекомендуется производить расчет оценки среднеквадратической ошибки аппроксимации экзаменующей выборки по формуле [6]

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-m-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{f}(x_i, \hat{\Theta}_i))^2, \quad (4)$$

где $\hat{f}(x_i, \hat{\Theta}_i)$ — значение оценки функции регрессии i -го наблюдения;

y_i — измеренное значение исследуемой величины i -го наблюдения.

Кроме того, на основе рассчитанного значения оценки среднеквадратической ошибки аппроксимации определяется максимальная возможная погрешность аппроксимации неизвестной функции регрессии [6]

$$\Delta_f \approx \pm \frac{2\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}, \quad (5)$$

а также максимально возможная погрешность определения результирующего показателя [6]

$$\Delta_y \approx \pm 2\hat{\sigma}. \quad (6)$$

Подбор «наилучшей» с точки зрения минимизации показателей качества построения функции регрессии производили методом последовательных приближений. Последовательно увеличивается порядок алгебраического полинома (2) до тех пор, пока значения показателей качества для данной функции регрессии не достигнут установившихся значений (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что при размерности модели $m = 3$ происходит стабилизация и минимизация результатов аппроксимации, следовательно, для описания поведения функции СКО контактного нажатия целесообразно использовать степенной полином третьего порядка.

Таблица 2 — Показатели качества построения функции регрессии

Степень полинома m	δ, H	Δ_f, H	Δ_y, H
1	74,46	1,95	17,26
2	16,64	0,92	8,16
3	14,48	0,86	7,61
4	15,51	0,89	7,88
5	31,85	1,28	11,29
6	15,35	0,89	7,84
7	16,19	0,91	8,05

По описанной методике производилась оценка качества токосъема на участке скоростной линии Москва — Санкт-Петербург длиной 81 км. В качестве обучающей выборки для построения регрессионной модели использовались данные первой поездки по нечетному направлению, по результатам анализа которой была построена регрессионная модель. При следующей поездке по этому участку контактное нажатие токоприемника рассчитывалось по полученной модели.

Сравнение рассчитанных значений километрового СКО контактного нажатия токоприемника по предлагаемой методике и измеренных с помощью ВИКСа приведено на рис. 6. Средняя относительная погрешность построенной модели, рассчитанная по выражению

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{f}(x_i, \hat{\theta})|}{y_i} \cdot 100\%, \quad (7)$$

не превышает 10%.

Для сокращения объема обучающей выборки и объема измерений в реальных условиях эксплуатации предлагается использовать методику проведения полного факторного эксперимента [7]. Основная идея метода — определение рационального количества опытов для построения модели множественной регрессии при сохранении заданного уровня доверительной вероятности.

Анализ регрессионных зависимостей, полученных при моделировании, позволяет отказаться от излишнего усложнения планирования и сократить порядок функции регрессии до $m=2$. Следовательно, можно ограничиться измерением контактного нажатия токоприемника на девяти километрах исследуемого участка для адекватного построения регрессионной модели. Матрица центрального ортогонального планирования второго порядка для проведения эксперимента по построению регрессионной модели представлена в табл. 3.

Проведение эксперимента по матрице планирования позволит сократить количество измерений для составления обучающей выборки для данного участка контактной подвески, что положительно скажется на временных и материальных за-

Таблица 3 — Матрица центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов

Номер опыта	x_0	$(\bar{v})x_1$	$(\sigma H_{кас})x_2$	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	$(\sigma P_{кт})y$
1	+	+	+	+	+	+	y_1
2	+	—	+	—	+	+	y_2
3	+	+	—	—	+	+	y_3
4	+	—	—	+	+	+	y_4
5	+	$+\alpha$	0	0	α^2	0	y_5
6	+	$-\alpha$	0	0	α^2	0	y_6
7	+	0	$+\alpha$	0	0	α^2	y_7
8	+	0	$-\alpha$	0	0	α^2	y_8
9	+	0	0	0	0	0	y_9

Примечание. α — величина плеча дополнительных точек плана эксперимента (при условии ортогональности матрицы планирования принимают $\alpha = 1$).

тратах при проведении линейных измерений по определению показателей качества токосъема.

Предлагаемая методика оценки качества токосъема, основанная на статистической обработке значений высотного положения и контактного нажатия токоприемника, использует разделение исследуемого участка на интервалы для определения рациональных интегральных показателей качества токосъема. На основании рассчитанных интегральных показателей $\sigma H_{кас}$ и $\sigma P_{кт}$ можно сделать вывод о пригодности данного участка для высокоскоростного движения, а также

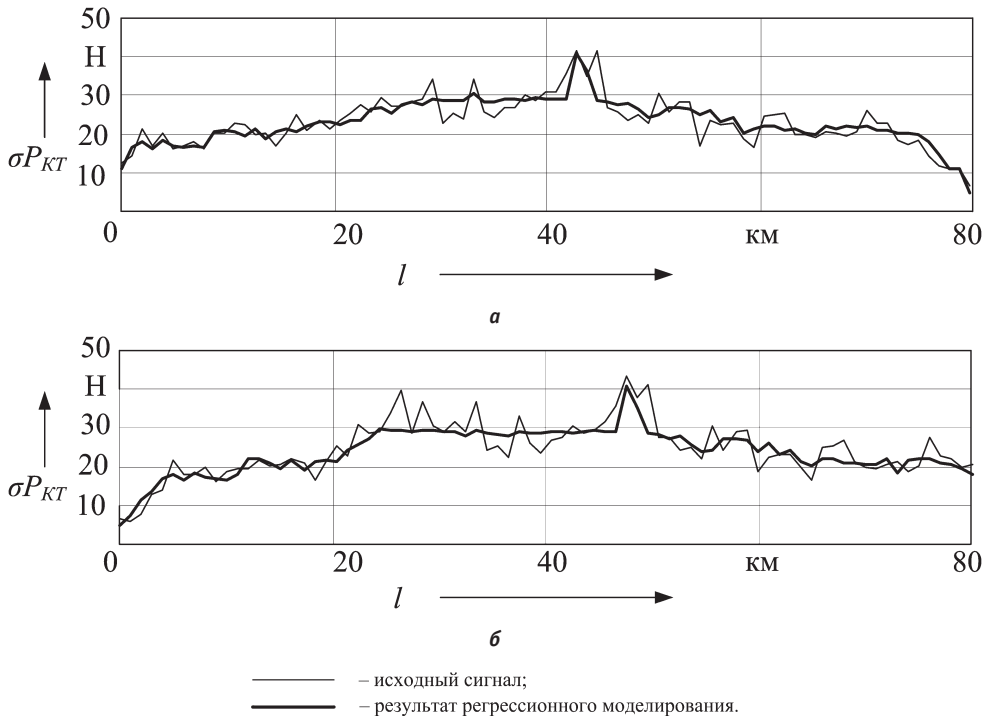


Рисунок 6 — Сравнение данных регрессионного моделирования определения СКО контактного нажатия и данных ВИКСа: а — обучающая выборка; б — экзаменующая выборка

дать рекомендации по настройке конкретных параметров для осуществления скоростного движения. Кроме того, необходимо проводить дополнительные исследования по определению влияния $\sigma H_{\text{кас}}$ и $\sigma P_{\text{кт}}$ на величину износа контактной пары с целью оценки граничных значений этих показателей для заданных условий скоростного движения.

Рекомендуемая методика прогнозирования отклонений контактного нажатия позволяет снизить количество измеряемых факторов при оценке качества токосъема, а также уменьшить объем измерительной аппаратуры, сократить время, необходимое эксперту для принятия решения о пригодности исследуемого участка для скоростного движения.

На основании проведенных измерений на исследуемом участке и обработки массива данных по разработанным методикам можно сделать следующие выводы:

1) результаты регрессионного моделирования совпадают с данными измерений со средней относительной погрешностью, не превышающей 10%;

2) полученные результаты обработки массива информации, поступающего от ВИКСа, могут позволить сделать выводы о допустимых скоростях движения на исследуемых участках при проведении дополнительных исследований по определению износных характеристик контактных проводов экспериментального участка;

3) применение предложенной методики даст возможность значительно сократить количество скоростных поездов, необходимых для оценки качества взаимодействия токоприемников и контактной подвески, при наличии дополнительной информации о величине износа контактной пары.

Литература

1. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. М.: ОАО «РЖД», 2007. 46 с.
2. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. ЦЭ-197. М.: ЗАО «Энергосервис», 2001. 83 с.
3. Смердин А.Н., Заренков С.В., Голубков А.С., Жданов В.А. Совершенствование методов оценки показателей скоростных контактных подвесок // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта: Сборник статей молодых ученых и аспирантов университета. Омск: ОмГУПС. 2009. Выпуск 10. 174 с.
4. Смердин А.Н., Голубков А.С., Жданов В.А. Методика оценки качества инфраструктуры системы токосъема с использованием регрессионного анализа // Электрификация железнодорожного транспорта: Материалы IV Международной научно-практической конференции «Трансэлектро-2010». Мисхор, 2010.
5. Кузнецов Т.Ф., Федорец В.А., Мартышевский М.И. Методические указания к применению многофакторного регрессионного анализа в задачах исследования сложных процессов эксплуатации и ремонта локомотивов. Днепропетровск: ДИИТ, 1989. 16 с.
6. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей: Справочное издание. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.
7. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

References

1. Strategicheskie napravleniya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya OAO «Rossijskie zheleznye dorogi» na period do 2015 g. M.: OAO «RZhD» 2007, 46 s.
2. Pravila ustrojstva i tekhnicheskoy ekspluatatsii kontakt-noj seti elektrifitsirovannyh zheleznyh dorog. CE - 197. M.: ZAO «Energoservis» 2001, 83 s.
3. Smerdin A.N., Zarenkov S.V., Golubkov A.S., Zhdanov V.A. Sovershenstvovanie metodov otsenki pokazatelej skorostnykh kontaktnykh podvesok // Povyshenie effektivnosti raboty zheleznodorozhnogo transporta : Sbornik statej molodykh uchenykh i aspirantov universiteta. Omsk: OmGUPS. 2009. Vypusk 10. 174 s.
4. Smerdin A.N., Golubkov A.S., Zhdanov V.A. Metodika otsenki kachestva infrastruktury sistemy tokosjema s ispolzovaniem regressionnogo analiza // Elektrifikatsiya zheleznodorozhnogo transporta: Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transelektro – 2010». Miskhor 2010.
5. Kuznetsov T.F., Fedorets V.A., Martyshevskij M.I. Metodicheskie ukazaniya k primeneniyu mnogofaktornogo regressionnogo analiza v zadachakh issledovaniya slozhnykh protsessov ekspluatatsii i remonta lokomotivov. Dnepropetrovsk: DIIT, 1989. 16 s.
6. Ajvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika: issledovanie zavisimostej: Spravochnoe izdanie. M.: Finansy i statistika, 1985. 487 s.
7. Spiridonov A.A. Planirovaniye eksperimenta pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov. M.: Mashinostroyeniye, 1981. 184 s.

УДК 621.316.9:621.316.13

Татьяна Анатольевна Несенюк, старший преподаватель кафедры электроснабжения транспорта, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

МЕТОДЫ ПОИСКА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6 — 35 КВ

Tatyana A. Nesenjuk, senior lecturer of 'Transport power supply' department of the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg)

Methods of search of one-phase line-to-ground faults in electrical networks of 6 — 35 kV

Аннотация

В статье проанализированы и классифицированы методы поиска однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях 6 — 35 кВ. Подробно рассмотрены дистанционные методы поиска (локационные, волновые, стоячих волн, петлевые, емкостные, по параметрам аварийного режима), устанавливаемые на подстанциях и указывающие поврежденный участок линии, а также детализированы топографические методы (индукционные, электромеханические, акустические), которые позволяют непосредственно при движении по трассе поисковой бригаде определять место ОЗЗ.

Приведены примеры использования различных устройств и микропроцессорной защиты для определения места замыкания на участке линии электропередачи.

Ключевые слова: однофазные замыкания в сети 6 — 35 кВ, классификация, методы поиска ОЗЗ, приборы, устройства для поиска места повреждения.

Annotation

The article analyses and classifies methods of search of one-phase line-to-ground faults in networks of 6-35 kV. Distance methods (location, wave, standing wave, loop, capacitive, by the values of emergency state) set and used on substation to disclose damaged sections of a line, are covered in depth. Topographic methods (inductive, electro-mechanical, acoustic), which allow to find out a place of one-phase line-to-ground faults during movement along the line, are also given in details. There are different examples of usage of different instruments and microprocessor-based protective devices to determine the place of line-to-ground fault.

Key words: one-phase line-to-ground faults in networks of 6-35 kV, classification, methods of search for one-phase line-to-ground faults, instruments, instruments for search of fault points.

Отыскание однофазных замыканий без специальных устройств поиска связано с большими затратами времени и длительным перерывом электроснабжения потребителей. Из-за различной структуры линий сетей определение места замыкания на землю в сети 6 — 35 кВ с помощью стационарных устройств — задача достаточно сложная [1], поэтому проблема создания устройств для автоматического определения расстояния до места повреждения и в настоящее время актуальна. Созданию устройств отыскания мест однофазного замыкания были посвящены работы Г.М. Шалыта, А.П. Кузнецова, Б.Е. Дынькина, В.Н. Пупынина, В.М. Арсентьева, В.А. Мочалова, В.А. Манухова, Д.Т. Комарова, Е.А. Аржанникова, А.А. Устинова, А.И. Шалина, Ю.В. Иодко, А.П. Никифорова, Э.И. Лукина, Р.А. Вайнштейн и других.

Автоматическое отыскание места повреждения (ОМП) на высоковольтных линиях электропередачи насчитывает множество предложений и изобретений — от индукционного способа, применимого для кабельных линий [2], до введения параметрических условий поиска однофазных замыканий на землю в терминалы современных микропроцессорных устройств релейной защиты. Цель настоящей работы — классификация методов обнаружения однофазных замыканий при выборе приборов и устройств для воздушных и кабельных линий в процессе поиска места повреждения.

Е.А. Аржанников предлагает разделить методы поиска ОЗЗ на дистанционные и топографические (рис. 1) [3]. Первые подразумевают использование приборов и устройств, устанавливаемых на подстанциях и указывающих поврежденный участок линии и в некоторых случаях расстояние до места повреждения, а вторые позволяют найти повреждение непосредственно при движении по трассе поисковой бригады со специальными приборами и устройствами. Кроме того, все методы предлагается разделить на высокочастотные (десятки кГц) и низкочастотные (от нуля до нескольких кГц).

Все топографические методы в большинстве случаев низкочастотные. Они могут быть индукционными, определяющими характер изменения магнитного и электрического поля в месте повреждения; акустическими, основанными на улав-

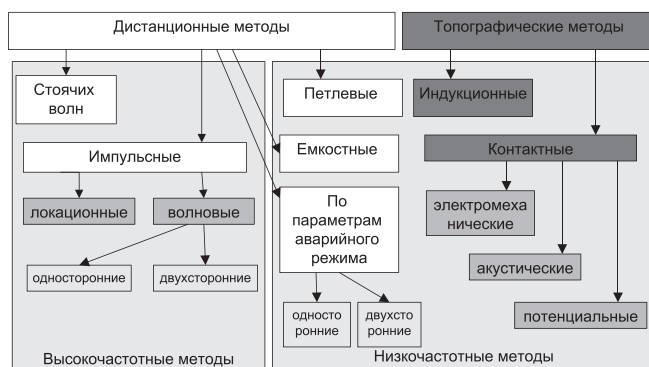


Рисунок 1 — Методы поиска однофазных замыканий

ливании акустических колебаний от протекания тока в месте повреждения (сущность акустического метода заключается в прослушивании над местом повреждения звуковых колебаний, вызванных искровым разрядом в канале повреждения); потенциальными, фиксирующими электрические потенциалы вдоль трассы линии; электромеханическими, основанными на механических усилиях, создаваемых током короткого замыкания. В последнее время применяется метод частичных разрядов.

Точность современных топографических методов для кабельной линии высока, $\pm 3\text{м}$, однако ограничиться использованием только топографических методов нельзя из-за их невысокой оперативности (нескольких часов). Кроме того, в этом случае необходимо перемещаться со специальной аппаратурой по всей трассе ЛЭП. Знание же дистанционной зоны повреждения позволяет ограничиться пределами этой зоны, т. е. резко сократить время поиска.

Дистанционные методы могут быть как низко-, так и высокочастотными.

Наиболее часто для поиска замыкания на землю используются низкочастотные методы. Так, петлевой метод основан на измерении сопротивления постоянному току жил кабеля, отключенного из-за пробоя фазы на землю. На одном конце кабеля замыкаются нормальная и поврежденная жилы (образуется петля). Измерения проводятся с другого конца кабеля (рис. 2). Для измерения сопротивлений R_2 и R_4 может использоваться мост постоянного тока.

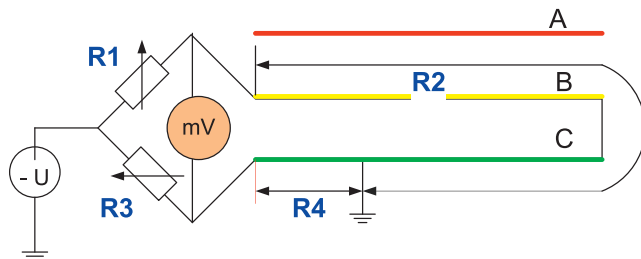


Рисунок 2 — Схема определения зоны повреждения петлевым методом

В одну диагональ моста включается источник постоянного напряжения $-U$, в другую — измерительный прибор (милливольтметр mV). Регулируемыми сопротивлениями R_1 и R_3 до-

стигается равновесие моста — нулевое показание милливольтметра. Равновесие моста будет достигаться при выполнении соотношения

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4},$$

где R_2 — сопротивление нормальной жилы и участка поврежденной жилы от конца кабеля до места повреждения; R_4 — сопротивление участка поврежденной жилы от начала кабеля до места повреждения.

Сопротивление жилы кабеля пропорционально его длине l , тогда зона повреждения после достижения равновесия моста определяется формулой

$$l_x = \frac{2l \cdot R_3}{R_1 + R_3}.$$

Схема измерения собирается таким образом, чтобы сопротивления жил оказались в плечах уравновешенного моста, измерительный прибор (для контроля условий равновесия) — в одной диагонали моста, источник питания и переходное сопротивление — в другой диагонали. По найденным сопротивлениям жил до места пробоя определяются расстояния. Недостатком данного метода является прожигание изоляции, что вызывает ее старение.

Емкостным методом можно определить емкость жилы от места измерения до места повреждения.

В основе индукционного и петлевого способов измерения лежит мостовая схема, и определение зоны поиска осуществляется дистанционно. Широкое распространение получили топографические устройства непосредственных измерений «Поиск», «Волна», «Волна-М», «Зона» и «Квант». Все эти приборы портативные, основанные на измерении составляющих высших гармоник при однофазном замыкании и предполагающие обход определенной зоны трассы.

Метод аварийного режима основан на параметрах исследуемого участка линии электропередачи. Предназначен для систем с изолированной нейтралью из-за разнообразия параметров сети и наличия емкостной составляющей (необходимо принять множество допущений при составлении схемы замещения) [3]. Параметры аварийного режима — фиксированные (измеренные) во время короткого замыкания токи и напряжения отдельных фаз или последовательностей. Методов определения места замыкания на землю по параметрам аварийного режима множество, однако все их можно разбить на методы двустороннего или одностороннего замера. Устройство «Пауза», находящееся в эксплуатации с 1985 г., зондирует ЛЭП по высокочастотному тракту с измерением интервала времени между зондирующим импульсом и отраженным. При использовании устройства «Пауза» на линиях 6 — 10 кВ необходимы отключения линий для посылки высокочастотного импульса. Наличие на линиях участков неоднородностей приводит к большой погрешности.

В основу современных локационных дискретно-автоматических искателей ЛИДА и некоторых микропроцессорных приборов и устройств ИМФ (индикатор микропроцессорный фиксирующий), МИР, МФИ, ФМП была положена работа фиксирующего индикатора ЛИФП, который определяет места корот-

кого замыкания на воздушных линиях электропередачи 110 кВ и выше. Прибор кратковременно запоминает входной сигнал (тока и напряжения) в аналоговой форме, а затем преобразует в число импульсов, прямо пропорциональное его значению.

Так, микропроцессорный прибор одностороннего замера, кроме основной информации (вида КЗ, времени, расстояния), выдает дополнительную (токи и напряжения всех последовательностей). В случае недостоверности информации о расстоянии (например, при наличии у линии сложной взаимоиנדукции) можно установить такие приборы на двух сторонах и считать расстояние по формулам двустороннего замера по составляющим обратной последовательности. Микропроцессорные приборы позволяют помимо приема информации, архивации и введения всех баз данных учитывать взаимоиנדукции для расчета расстояния до места повреждения.

Для определения поврежденного участка изоляции методом частичных разрядов с помощью сверхнизких частот требуется очень незначительное время, что является существенным преимуществом по сравнению с испытаниями на частоте сети. Десять циклов испытаний на частоте 0,1 Гц занимают 100 с, этого времени в основном достаточно для анализа и локализации дефектов оборудования, связанных с частичными разрядами. Амплитуда частичных разрядов зависит от типа дефекта изоляции и расстояния, вызывающего затухание. Одним из наиболее важных индикаторов оценки состояния изоляции кабеля является уровень напряжения начала частичного разряда. Для локализации таких дефектов в кабелях используется классический метод динамической рефлектометрии. Измерения на частоте 0,1 кГц являются эффективными благодаря очень высокой скорости роста электрической древовидной структуры в месте дефекта [4].

К высокочастотным дистанционным относятся метод стоячих волн, который предполагает измерение полного входного сопротивления поврежденной линии в широком диапазоне частот, и импульсный метод, основанный на измерении интервалов времени распространения электромагнитных волн (импульсов) по участкам линии. В поврежденную линию посылаются импульсы напряжения (зондирующие импульсы), которые, распространяясь по линии, частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления и возвращаются к месту, откуда они были посланы. Импульсные методы разделяют на локационные и волновые.

Автоматические локационные искатели определяют время пробега по линии специально генерируемого зондирующего импульса — время между посылкой в линию зондирующего импульса и приходом отраженного от места повреждения импульса. Одной из современных разработок является автоматический локационный искатель мест повреждений (АЛИМП), созданный А.А. Петрухиным и др. [5].

Метод одностороннего ОМП с использованием зондирования сложными сигналами и распределенной согласованной фильтрации. В качестве зондирующих здесь служит набор сложных дискретно-кодированных сигналов, а в качестве меток, расположенных на концах ответвлений, — набор фильтров. Метод позволяет повысить точность ОМП ЛЭП, используя результаты как параллельных, так и последовательных измерений. Расстояние

оценивается с учетом дисперсий ошибок измерения, полученных от разных технических средств D_0 и D_y (рис. 3),

$$L_p = \frac{D_y}{D_0 + D_y} \cdot L_0 + \frac{D_0}{D_0 + D_y} \cdot L_y.$$

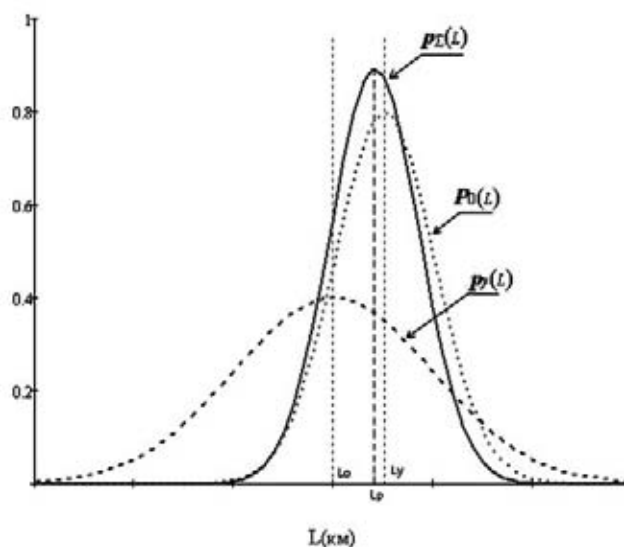


Рисунок 3 — Зависимость плотностей вероятностей возникновения ошибок измерения расстояния: $P_0(L)$ — для первого; $P_y(L)$ — для второго прибора; $P_z(L)$ — результирующая

Устройство ОМП последовательно во времени излучает в ЛЭП дискретно-кодированные сигналы. Идентификация поврежденного ответвления осуществляется при отсутствии отклика от фильтра, принадлежащего ответвлению и согласованного только лишь с одним из кодированных сигналов. Преимущество предложенного метода связано с обеспечением высокой помехозащищенности и отношения сигнал/шум, однако его реализация требует более сложных технических решений. Для устройств активного зондирования ЛЭП разработан алгоритм согласованной фильтрации, повышающий разрешение и точность ОМП.

Выделение поврежденного элемента во многих случаях осуществляется автоматически при срабатывании селективной релейной защиты. Если при срабатывании релейной защиты автоматически выделяется (отключается) группа элементов (например, последовательная цепочка линий), то выделение поврежденного элемента входит в систему ОМП [5].

Работа селективной защиты основана на использовании сигналов с измерительных трансформаторов нулевой последовательности. В трансформаторе напряжения (ТН) используется дополнительная обмотка, выполненная в виде разомкнутого треугольника, которую называют фильтром напряжения нулевой последовательности (ФННП). Принцип действия защиты заключается в создании цепи тока, протекающего по обмотке реле напряжения (ОРН) при однофазном замыкании в дополнительной обмотке измерительного ТН (рис. 4а). Таким образом, сигналы от дополнительной обмотки ТН выявляют однофазное замыкание.

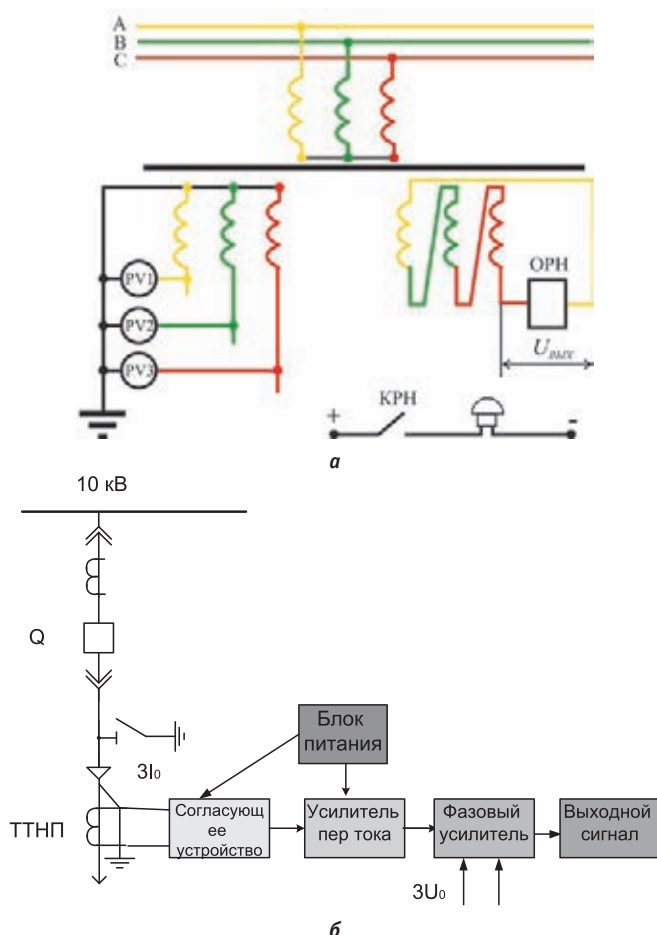


Рисунок 4 — Подключение измерительных трансформаторов нулевой последовательности:

а — трансформатор напряжения;

б — трансформатор тока

В то же время работа трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) (рис. 4б) позволяет определить параметры проходящего тока, и с помощью дополнительных устройств и усилителей выявляется поврежденная линия, что дает возможность установить и направление дальнейшего поиска. К измерительным трансформаторам нулевой последовательности можно подключить различные приборы (ЗЗП, ИЗС, УЗС) или микропроцессорные терминалы. Отыскание места однофазного замыкания на ВЛ 10 кВ производится с помощью переносных топографических приборов «Поиск», «Волна», «Зонд» и др.

А.И. Шалин [6] предложил классифицировать основные разновидности защиты от ОЗЗ следующим образом:

- защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности;
- ненаправленные защиты, регистрирующие составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности;
- направленные защиты, реагирующие на составляющие промышленной частоты тока и напряжения нулевой последовательности;

- защиты, фиксирующие «наложенный» ток с частотой, отличной от промышленной.
- защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности, возникающие естественным путем.
- защиты, реагирующие на составляющие тока и напряжения нулевой последовательности в переходном процессе ОЗЗ.

Рассмотрим достоинства и недостатки различных защит, а также аппаратуру, реализующую соответствующие принципы. Несколько алгоритмов, относящихся к различным принципам действия защиты, позволяют осуществить современные микропроцессорные терминалы.

Для простых линий, где от шин подстанций отходит только одно присоединение, применение защиты, измеряющей напряжение нулевой последовательности (ННП), наиболее эффективно, так как в ННП меньше высокочастотных составляющих. Данная защита используется в качестве неселективной сигнализации, и только поочередное отключение позволяет определить поврежденный участок.

Ненаправленные токовые защиты нулевой последовательности применяются в резистивно-заземленных сетях с малыми емкостными токами. Регистрация составляющих промышленной частоты тока нулевой последовательности может осуществляться различными реле и в терминалах защит.

Ненаправленные токовые защиты нулевой последовательности, основанные на «относительном замере» тока и напряжения нулевой последовательности, используются в микроконтроллерном устройстве МКЗЗП-6 фирмы «Эстра». При появлении напряжения нулевой последовательности сравниваются токи нулевой последовательности во всех присоединениях защищаемой системы, и где выше основная гармоника тока нулевой последовательности, тот участок считается поврежденным. Данная защита может применяться при большом количестве присоединений. Такую защиту нельзя применять при наличии в сети дугогасящего реактора или при малом количестве присоединений к сборным шинам. Также необходимо учитывать токи небаланса трехтрансформаторного фильтра [6].

Устройства направленной токовой защиты нулевой последовательности, которые могут быть использованы в сетях с резистивным заземлением нейтрали, реагируют на величину тока нулевой последовательности и направление мощности.

Дистанционные защиты и устройства реагируют на отдельные составляющие или полную проводимость цепей нулевой последовательности. Разрабатываются устройства, реагирующие на интеграл произведения мгновенных значений основных гармонических составляющих тока и напряжения нулевой последовательности и некоторые функции этих величин. Уставки таких защит первоначально выполняют с заглублением, постепенно настраивая их. Это существенно усложняет эксплуатацию защит и снижает их эффективность.

В основе способа направленной защиты от однофазных замыканий на землю в распределительной электрической сети переменного тока лежит анализ амплитуд высокочастотных сигналов тока и напряжения нулевой последовательности, определение угла сдвига фаз между ВЧ тока и напряжения нулевой последовательности в момент прохождения через нуль тока высокой частоты, контроль амплитуды низкочастот-



ной составляющей напряжения нулевой последовательности в самом начале однофазного замыкания на землю.

Наличие возможности контроля превышения амплитуды низкочастотной составляющей напряжения нулевой последовательности с применением двух эталонов значения амплитуды позволяет учесть все возможные режимы работы нейтрали, а также индивидуальность электрических параметров сети, что обеспечивает надежность способа, селективность к сигналам помехи и снижает вероятность ложных срабатываний, а также придает заявленному способу универсальность. Недостаток: не учитывается небаланс в трансформаторах тока и трансформаторах напряжения.

Для решения проблемы идентификации однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью компания «Таврида Электрик» предлагает применять метод кратковременного заземления нейтрали. В основе лежит принцип кратковременного (только на время, необходимое для срабатывания токовых защит нулевой последовательности) включения в сеть активно-индуктивного

сопротивления. При возникновении однофазного замыкания по факту появления напряжения нулевой последовательности кратковременно происходит включение ШЗН по схеме «фаза — земля» во всех трех фазах. После подключения ШЗН/TEL в электрической сети создается дополнительный контур для протекания тока нулевой последовательности. При включении ШЗН происходит увеличение тока однофазных замыканий на землю до значения, не превышающего 10 А на время не более 9 с. В зависимости от места повреждения селективно отключается соответствующий аппарат в сети.

Рассмотрим достоинства и недостатки некоторых защит и аппаратуру, реализующую соответствующие принципы и имеющуюся на отечественном рынке (табл. 1). Кроме того, необходимо учитывать, что современные микропроцессорные терминалы обычно позволяют реализовать сразу несколько алгоритмов, относящихся к различным принципам действия защит. В процессе проектирования и эксплуатации выбирают один или несколько наиболее подходящих к конкретным условиям эксплуатации алгоритмов и уточняют уставки.

Таблица 1 — Особенности применения защит при различных методах поиска однофазных замыканий

Особенности применения защит в ЛЭП	Достоинства	Недостатки	Используемые приборы, устройства
Импульсный метод			
Для любых ЛЭП при переходных сопротивлениях до 150 Ом	Определяется зона повреждения при устойчивом ОЗЗ; зондирует ЛЭП по высокочастотному тракту В нормальном режиме находятся в режиме ожидания. В момент повреждения на одной из линий, обслуживаемых искателем, соответствующие реле защиты выбирают поврежденную линию и автоматически подключают к ней искатель. Определяет виды замыканий и место, токи и напряжения всех последовательностей	При заплывающем пробое сложность определения зоны повреждения; необходимы отключения линий для послыски высокочастотного импульса	Неавтоматические искатели ИКЛ-4, ИКЛ-5, Р5-1А, Р5-10 в сочетании с генераторными приставками видео- и радиоимпульсов ГВИ, УОП, УЗР, «Пауза» Автоматические искатели Р5-11, УИЗ-1, УИЗ-2, ЛИДА МИР, МФИ, ФМП
Диагностика с подстанций, оценка технического состояния уровней изоляции	Определение расстояния до повреждений на включенных или отключенных ВЛ электропередачи, экспертная оценка технического состояния изоляции ЛЭП; не приводит к ложным срабатываниям устройств РЗА, контроль хищения проводов	Применение сложных модулированных сигналов	АЛИМП
Метод стоячих волн			
Поиск места ОЗЗ в ВЛ	Поиск места замыкания или обрывов ЛЭП в широком диапазоне частот	Затрата времени на поиск при обнаружении ОЗЗ; при заплывающем пробое сложность определения зоны повреждения	Генератор переменной частоты и вольтметр
Емкостный метод			
Для поиска повреждений и диагностики силовых КЛ, линий связи, электропередачи	Определение места пробоя через емкость жилы, в том числе при заплывающих пробоях	Можно измерять емкость при обрывах с сопротивлением изоляции в месте повреждения не менее 300 Ом. Затрата времени на поиск при обнаружении ОЗЗ	Рефлектометры (Digiflex Com, Teleflex MX) мостов переменного и постоянного тока «Рейс-105Р»
Петлевой метод			
Для КД при наличии одной здоровой жилы	Для преобразования развивающегося кабельного повреждения в повреждение, носящее устойчивый характер	Прожиг изоляции	Прожигательная установка (Т22/13В, ВТ5000, ММГ5, АПК-14) и установка постоянного тока
Защиты, измеряющие напряжения нулевой последовательности			
Одна линия при изолированной нейтрали или с дугогасящим реактором. Может применяться в качестве не селективной сигнализации при наличии нескольких присоединений	В напряжениях нулевой последовательности меньше высокочастотных составляющих, что обеспечивает надежное срабатывание защиты и при перемежающихся и прерывистых ОЗЗ	Может сработать неправильно при сгорании предохранителей в цепях ТН. Поиск повреждений осуществляется поочередным отключением присоединений	Максимальное реле напряжения РН-53/60Д с минимальной уставкой 15 В

Особенности применения защит в ЛЭП	Достоинства	Недостатки	Используемые приборы, устройства
Ненаправленные токовые защиты нулевой последовательности			
Для КЛ со значительным числом присоединений (внутризаводские), каждое присоединение должно быть с малым емкостным током (резистивное заземление нейтрали)	Увеличивает ступень селективности; улучшает отстройку от внешних дуговых замыканий фильтрами НП	При больших значениях переходного сопротивления в месте ОЗЗ на ВЛ может привести к отказу срабатывания защиты	МКЗЗП-6, РТЗ-51, SPAC-800, БМРЗ-КЛ-11 (36, 42, 51), SEPAM S20, SPAC-800, MiCOM P121, P-122
Направленные токовые защиты нулевой последовательности			
Для КЛ и ВЛ с изолированной нейтралью, с дугогасящим реактором, с резистивным заземлением нейтрали	Адаптированы ко всем видам заземления нейтрали. Чувствительная защита, т.к. отстраивается от тока небаланса, учитывает параметры фазных и линейных токов и напряжений, токи и напряжения нулевой последовательности, частоту, мощность, энергию и другие параметры системы	Позволяют определить лишь поврежденную линию и дать направление дальнейшему поиску	Реле ЗЗН, ЗЕРО, БМРЗ, УЗЛ-2, ЗЗП, УСЗ-3М, ИЗС, МКЗЗП-6 SEPAM S41, MiCOM P141, P-142, P-143, терминал SIPRO TEC 7S J62
Метод кратковременного заземления нейтрали			
В сети с изолированной нейтралью и небольшими значениями емкостного тока	ШЗН обеспечивает значительное увеличение тока нулевой последовательности в поврежденном фидере, что позволяет его идентифицировать и селективно отключить при устойчивом ОЗЗ	При достаточно больших значениях емкостного тока (более 15 А) неэффективен. При сильной степени недокомпенсации и больших значениях емкостного тока сети уменьшение ТНП не позволит идентифицировать поврежденный фидер	Шкаф заземления нейтрали (ШЗН/TEL)
Метод частичных разрядов			
Мониторинг КЛ длиной до 2 км и ВЛ до 100 км со сложной разветвленной структурой	Определения общего технического состояния изоляции кабельной линии; локализация места возникновения дефекта в линии с точностью до нескольких метров; определения типа дефекта	Критичным для регистрации импульсов частичных разрядов является синхронность запуска на регистрацию всех приборов ОВМ	Оптическая линия связи, модули ОВМ, установленные на двух концах кабельной линии в единую систему

Рассмотренные выше устройства позволяют определить поврежденную линию и дать направление дальнейшему поиску.

К защите линий и сетей, а также к методам и устройствам ОМП предъявляются различные требования, обусловленные и технико-экономическими факторами. Удовлетворить требования удастся только при совместном применении методов и средств ОМП как системы с единой структурой для всех типов линий и сетей при любом характере повреждений. Анализи-

руя заданные параметры, типы ЛЭП (кабельная, воздушная, ВОЛС), длины линии, разветвленности (простые, сложные), категории потребителей, нагрузки потребителей, способ заземления нейтрали, местонахождение, климатическую зону, можно создать математическую модель, с помощью которой предлагаются варианты поиска места замыкания с использованием методов защит и устройств поиска для конкретного участка линии.

Литература

1. Комаров Д.Т. Автоматизация электрических сетей 0,38 — 35 кВ в сельских районах : монография. М. : Энергоатомиздат, 1987. 111 с.
2. Захаров О.Г. Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах / Библиотека электротехника : приложение к журналу «Энергетик». М. : НТФ «Энергопрогресс». 2010. Вып. 4 (136). 96 с.
3. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях : учебное пособие. Иваново : Ивановский государственный энергетический университет, 1998. 74 с.
4. Баур М., Козлов Д. Е. Испытание изоляции высоковольтного оборудования в условиях эксплуатации // Энергетик. 2005. № 6.
5. Мистриханов М.Ш., Куликов А.Л., Петрухин А.А. Возможности и характеристики опытно-промышленного образца автоматического локационного искателя мест повреждения линий электропередачи [Электронный ресурс]. URL: http://www.sei.irk.ru/les/papers/2009/les_09_59.pdf
6. Шалин А.И. Основные типы защит от ОЗЗ // Новости электротехники. 2005. № 3 (33) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/13.php>

References

1. Komarov D.T. Avtomatizatsiya elektricheskikh setey 03835 kV v selskikh rajonakh monografiya. M.: Energoatomizdat, 1987. 111 s.
2. Zakharov O.G. Poisk defektov v relejno-kontaktornykh skhemakh / Bibliotekha elektrotekhnika: prilozhenie k zhurnalu «Energetik». M.: NTF «Energoprogress». 2010. Vyp. 4 (136). 96 s.
3. Arzhannikov E.A., Chukhin A.M. Metody i pribory opredeleniya mesta korotkogo zamykaniya na liniyakh: Uchebnoe posobie. Ivanovo : Ivanovskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet, 1998. 74 s.
4. Baur M., Kozlov D. E. Ispytanie izolyatsii vysokovoltного oborudovaniya v usloviyakh ekspluatatsii // Energetik . 2005. № 6.
5. Mistrikhanov M.Sh., Kulikov A.L., Petrukhin A.A. Vozmozhnosti i kharakteristiki opytно-promyshlennogo obraztsa avtomaticheskogo lokatsionnogo iskatelya mest povrezhdeniya linij elektroperedachi. www.sei.irk.ru/les/papers/2009/les_09_59.pdf
6. Shalin A.I. Osnovnye tipy zashchit ot OZZ // Novosti elektrotekhniki. 2005. №3 (33). www.news.elteh.ru/arh/2005/33/13.php

УДК 621.431.73 (07); 629.114.2

Борис Александрович Шароглазов, доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск),
Марат Фагитович Сафаров, аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск),
Евгений Анатольевич Горелый, ведущий инженер завода «ДСТ Урал» (Челябинск)

ТЯГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА КЛАССА 10 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ЯМЗ

Boris A. Sharoglazov, DSc, Professor of 'Internal combustion engines' department of Southern Ural State University, Chelyabinsk,
Marat F. Safarov, post-graduate student of 'Internal combustion engines' department of Southern Ural State University, Chelyabinsk,
Eugeny A. Gorely, principal engineer of a plant 'DST Ural', Chelyabinsk

Traction parameters of industrial tractor class 10 when using transport diesel engine YMZ as a source of energy

Аннотация

В статье приведена расчетная оценка возможности использования массово выпускаемых транспортных дизелей Ярославского моторного завода (ЯМЗ) на промышленных тракторах класса 10 т тяги наряду с применением на таких машинах четырехтактных наддувных двигателей типа 4ЧН15/20,5.

На примере анализа тяговых характеристик машин при условии их использования на режимах транспортировки грунтов показано, что предлагаемое решение не снижает тяговых показателей трактора, таких как крюковое усилие, крюковая мощность, тяговый коэффициент полезного действия.

Ключевые слова: транспортный дизель, промышленный трактор, трансмиссия, крутящий момент, тяговое усилие, мощность, коэффициент полезного действия.

Annotation

The article presents the estimate to assess the possibility of mass production of Yaroslavl Motor Plant (YMZ) diesels on industrial tractors of ten tons of traction, along with the application on such machines, supercharged four-stroke engines of 4CHN15/20,5.

By the analysis of traction characteristics of machines when using them for soil transportation it's shown that the proposed solution does not reduce the tractive characteristics of the tractor, such as hook effort, hook capacity, draft power, tractive efficiency factor.

Keywords: transport diesel, industrial tractor, transmission, torque, tractive effect, power, efficiency factor.

В практике решения различных хозяйственных задач промышленные тракторы с механической трансмиссией (в частности, тракторы класса 10) находят широкое применение. В качестве источника механической энергии на них в преобладающем большинстве случаев используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Это относится как к отечественным, так и к большинству зарубежных машин.

Стоимость ремонта и обслуживания таких машин в значительной степени определяется затратами на техническое обслуживание и ремонт устанавливаемых на них ДВС. Эту составляющую расходов применительно к условиям реального использования машин можно существенно изменить (и, в частности, снизить) за счет применения более дешевых и массово выпускаемых двигателей.

Такое решение рассматривается применительно к промышленному трактору Т-170 класса 10, на который в условиях серийного производства устанавливается двигатель 4ЧН15/20,5. Машина широко распространена: поставляется в различные районы страны. И конечно, требует технического обслуживания и ремонта. В том числе двигателя, который из-за незначительного объема производства запасных частей и узкопрофильного назначения широкой распространенностью не отличается. В условиях эксплуатации это обстоятельство порождает проблемы.

Однако практика использования данных тракторов показала, что при определенных условиях ремонтных воздействий экономически эффективным может оказаться установка на них двигателей 8Ч13/14 (ЯМЗ) вместо 4ЧН15/20,5: они (двигатели ЯМЗ) характеризуются широкой распространенностью, наличием на рынке достаточного количества запасных частей для ремонта и обслу-

живания и относительно недорого. Все это привлекает внимание эксплуатирующих и ремонтирующих технику предприятий.

Решение об использовании двигателей ЯМЗ может оказаться с технической точки зрения вполне обоснованным. В табл. 1 приведены основные энергетические параметры этих двигателей: мощность, крутящий момент, соответствующие частоты вращения.

Таблица 1 — Численные значения основных энергетических параметров дизелей ЯМЗ-238 (8Ч 13/14) и Д-180 (4ЧН 15/20,5)

Тип двигателя	Параметры				
	n_n , об/мин	N_{en} , кВт	M_n , Н·м	n_m , об/мин	M_{max} , Н·м
4ЧН15/20,5	1250	132	1010	950	1263
8Ч 13/14	2100	177	803	1450	882

Примечание. N_{en} , M_n , n_n — соответственно эффективная мощность, крутящий момент и частота вращения для номинального режима работы; M_{max} , n_m — крутящий момент и частота вращения для режима максимального крутящего момента.

По численным значениям параметров двигателя существенно разнятся. Так, номинальная мощность дизеля ЯМЗ на 34% превышает номинальную мощность двигателя 4ЧН15/20,5. Наоборот, двигатель 4ЧН15/20,5 обладает на 43% большим крутящим моментом. Это обстоятельство позволяет отметить, что трактор при установке на него дизеля ЯМЗ по тяговым показателям (например, по величине тягового усилия) заметно проиграет машине с дизелем 4ЧН15/20,5 (рис. 1).

На рис. 1 показаны функции частот вращения дизелей, работающих по внешним скоростным характеристикам (ВСХ), изменения крутящих моментов двигателей и удельных тяговых (окружных) усилий на ведущих колесах при работе тракторов на первой передаче. Графики удельных тяговых усилий приведены для условий использования машин на установившихся режимах работы и когда трансмиссии машин одинаковы (не отличаются значениями их передаточных чисел). Характер нагружения машин — вид работы, тип грунта, комплектация, масса агрегатов (расчеты проведены применительно к условиям бульдозирования, а безрегуляторные ветви характеристик рассчитывались по номинальным параметрам с использованием соответствующих соотношений [1]) — оставался идентичным.

Текущие значения удельных тяговых усилий определялись так же, как в [2], по выражению

$$f_d = \frac{P_k}{G_a},$$

где P_k — тяговое усилие (по двигателю) на ведущем колесе; G_a — вес агрегата.

В связи с тем что в литературных источниках описаны различные подходы к трактовке понятия «тяговое усилие» [3],

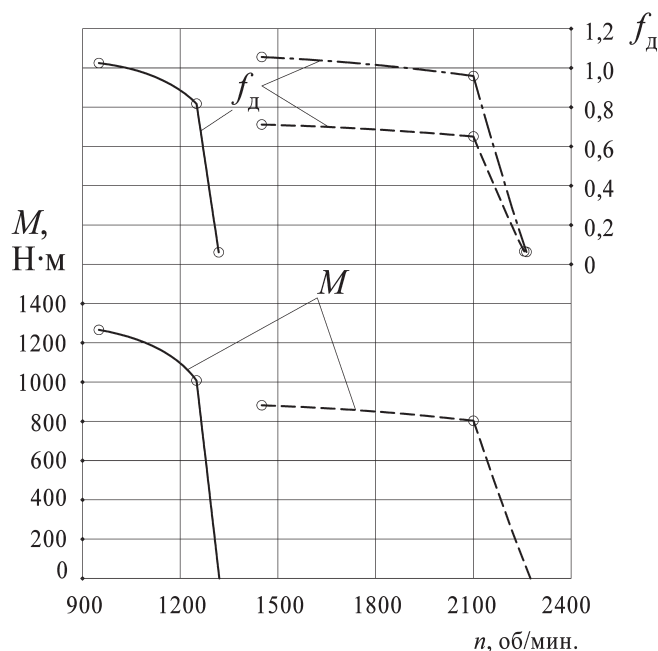


Рисунок 1 — Изменение крутящих моментов двигателей M и удельных тяговых усилий f_d на ведущем колесе тракторов класса 10 в зависимости от частоты вращения устанавливаемых двигателей при работе по ВСХ:

----- для трактора с дизелем ЯМЗ-238;
 ————— для трактора, выпускаемого серийно;
 - · - · - · для трактора с дизелем ЯМЗ-238 (передаточное число трансмиссии $i_{тр} = 117,41$)

запишем выражение, использованное авторами для расчета этого параметра

$$P_k = \frac{M \cdot \eta_{тр} \cdot i_{тр}}{r_{вк}},$$

где M — крутящий момент двигателя (в нашем случае при работе по ВСХ);

$\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии;

$i_{тр}$ — передаточное число трансмиссии;

$r_{вк}$ — радиус ведущего колеса.

Анализ рис. 1 позволяет отметить, что трактор с дизелем ЯМЗ по величине тягового усилия проигрывает трактору с двигателем 4ЧН15/20,5. Имеем максимальное удельное тяговое усилие равным 0,73 (для ЯМЗ) вместо 1,04 (для трактора, выпускаемого серийно).

Положение меняется, если при использовании двигателя ЯМЗ применить трансмиссию с повышенным передаточным отношением (применительно к трактору Т-170 технически это решение проработано и в ряде случаев реализуется [4]). На рис. 1 также представлен график удельного тягового усилия трактора Т-170, снабженного дизелем ЯМЗ, для случая использования трансмиссии с повышенным передаточным отношением (в рассматриваемом случае, как уже отмечалось, оно принималось равным 117,41). Характер протекания тягового усилия позволяет заключить, что

такая машина не проигрывает промышленно выпускаемому трактору.

На рис. 2 для I, III, VI передач приведены тяговые характеристики (в частности, зависимости крюковой мощности $N_{кр}$ тягового КПД η_t от крюкового усилия) трактора Т-170, снабженного рассматриваемыми в статье двигателями.

В связи с замечаниями по поводу усилия P_k приведем основные соотношения, использованные при расчете тяговых характеристик. Крюковые усилия определялись из соотношения

$$P_{кр} = P_k - P_f$$

где P_f — усилие, затрачиваемое на преодоление внешних и внутренних сопротивлений, на самопередвижение трактора (на численное значение усилия оказывают влияние многие факторы: конструктивные, регулировочные, эксплуатационные, в том числе характер грунта и такой фактор, как буксование. Обычно P_f оценивается на основании эмпирических соотношений, например, [5, 6] и др.).

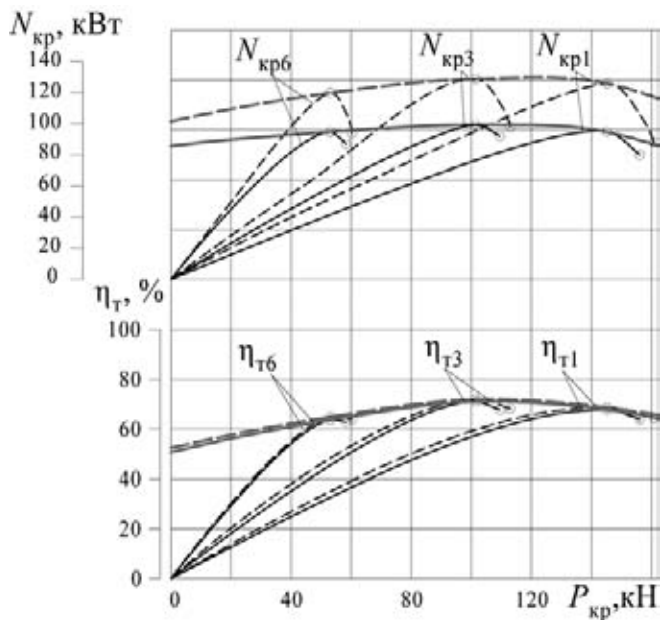


Рисунок 2 — Тяговая характеристика (I, III, VI передачи) тракторов:
 ————— — серийно выпускаемого (дизель 4ЧН 15/20,5);
 - - - - - — для трактора с дизелем ЯМЗ-238 (передаточное число трансмиссии $i_{тр} = 117,41$)

Для установившегося движения гусеничной машины баланс мощностей отображается записью

$$N_{кр} = N_k - N_f - N_{\delta}$$

где N_k — мощность на ведущем колесе;

N_f — мощность, затрачиваемая на самопередвижение трактора;

N_{δ} — мощность, затрачиваемая на буксование.

Вышеперечисленные мощности определялись соответствующими выражениями:

$$N_k = N_e \cdot \eta_{тр}; N_f = P_f \cdot v_t; N_{\delta} = P_k \cdot v_t \cdot \delta,$$

где N_e — эффективная мощность двигателя при работе на режимах ВСХ;

v_t, v_d — теоретическая и действительная скорости трактора соответственно.

Взаимосвязь между ними определяется соотношением $v_d = v_t \cdot (1 - \delta)$. В нем для оценки коэффициента буксования δ использовались приводимые в литературе соотношения, например, в [6]

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{f_{кр}}{f_{кр.макс.}} \right)^a,$$

где $f_{кр}, f_{кр.макс.}$ — соответственно текущее и максимальное значения удельной силы тяги на крюке; $f_{кр} = P_{кр}/G_a$; $f_{кр.макс.}$ (коэффициент сцепления) в связи с ранее сделанными замечаниями и условиями использования машин принимался равным единице;

a — показатель, характеризующий буксование трактора при стационарном нагружении (принимался с учетом рекомендаций [6] равным 0,05).

Усилие P_f , необходимое для расчета мощности, затрачиваемой на самопередвижение, определялось по соотношению

$$P_f = f_c \cdot G_a,$$

где f_c — коэффициент сопротивления самопередвижению, учитывающий внутренние сопротивления гусеничного движителя $f_{г.д.}$ и сопротивления грунта качению машины (внешние) $f_{гр}$.

Таким образом, полагалось $f_c = f_{г.д.} + f_{гр}$. В целом при определении f_c руководствовались рекомендациями, приведенными в [5, 6]. В частности, внутренние потери в гусеничном движителе рассчитывались по приводимому Л.В. Сергеевым в [5] выражению В.А. Петрова

$$f_{г.д.} = a + b \cdot f_{д.} + c \cdot v^2,$$

где v — скорость машины, км/ч (нами она принималась равной теоретической скорости движения);
 a, b, c — эмпирические коэффициенты ($a = 0,025$; $b = 0,05$; $c = 3 \cdot 10^{-6}$).

Оценка численных значений составляющих мощностного баланса дает возможность оценить значения тягового КПД как частного $\eta_t = N_{кр}/N_e$. Значения η_t приведены на рис. 2.

Анализ рассматриваемых тяговых характеристик тракторов позволяет отметить, что машина, снабженная дизелем ЯМЗ, по тяговым показателям (крюковой мощности, тяговому КПД, численному значению тягового усилия на ведущем ко-

лесе) не уступает трактору Т-170 с дизелем 4ЧН15/20,5. Численные значения максимального тягового КПД практически одинаковы: 0,71 и 0,72 соответственно.

Таким образом, при использовании трансмиссии с передаточным числом, равным 117,41 (примеры реализации этого

обстоятельства в практике использования машин известны, см. [4]), дизель ЯМЗ, установленный на трактор класса 10, обеспечивает реализацию тяговых усилий и тяговых КПД, соответствующих значениям тяговых параметров промышленно выпускаемых тракторов.

Литература

1. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / под ред. засл. деят. науки РФ Б.А. Шароглазова. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 382 с.
2. Шароглазов Б.А., Сафаров М.Ф. Оценка возможностей применения дизелей ЯМЗ на тракторах класса тяги 10 тонн // Двигатель-2010: сборник научных трудов международной конференции, посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана / под ред. Н.А. Иващенко, В.А. Вагнера, Л.В. Грехова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 424 с.
3. Позин Б.М. Вопросы методологии в теории тяговой характеристики трактора: монография. Челябинск: ЧГАУ, 2006.
4. <http://www.uralmachzavod.ru/articles.php>
5. Сергеев Л.В. Теория танка. М.: АБТВ, 1973.
6. Гинзбург Ю.В., Швед А.И., Парфенов А.П. Промышленные тракторы. М.: Машиностроение, 1986. 296 с.

References

1. Sharoglazov B.A., Farafonov M.F., Klementev V.V. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya modelirovaniye i raschjet protsessov: Uchebnik po kursu «Teoriya rabochikh protsessov i modelirovaniye processov v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya» / Pod red. zasl. deyat. nauki RF B.A. Sharoglazova. Chelyabinsk: YuUrGU, 2006. 382 s.
2. Sharoglazov B.A., Safarov M.F. Otsenka vozmozhnostej primeneniya dizelej YaMZ na traktorakh klassa tyagi 10 tonn // Dvigatel – 2010: Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoj konferentsii, posvyachshonnoj 180 – letiyu MG TU im. N.E. Baumana pod. red. N.A. Ivashchenko, V.A. Vagnera, L.V. Grekhova. M.: MG TU im. N.E. Baumana, 2010. 424 s.
3. Pozin B.M. Voprosy metodologii v teorii tyagovoy kharakteristiki traktora: Monografiya. Chelyabinsk: ChGAU, 2006.
4. <http://www.uralmachzavod.ru/articles.php>
5. Sergeev L.V. Teoriya tanka. M.: Izdanie ABTV, 1973.
6. Ginzburg Yu.V., Shved A.I., Parfenov A.P. Promyshlennyye traktory. M.: Mashinostroyeniye, 1986. 296 s.

Стоимость одного номера с 2009 года – 180 рублей. Периодичность 4 номера в год.

Министерство связи Российской Федерации												Ф СП - 1	
АБОНЕМЕНТ на _____												46463 (индекс издания)	
Транспорт Урала												Количество комплектов _____	
На 20 _____ год по месяцам													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Куда _____													
(почтовый индекс)												(адрес)	
Кому _____													
Линия отреза _____													
ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА												46463 (индекс издания)	
Транспорт Урала													
На _____													
Стои- мость	подписки переад- рессовки		руб.		коп.		Количество комплектов						
На 20 _____ год по месяцам													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
город _____													
село _____													
область _____													
район _____													
улица _____													
дом _____ корпус _____ квартира _____													
Фамилия И. О. _____													

Научно-технический журнал «Транспорт Урала».

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 27 мая 2004 г.
Свидетельство ПИ №77-18098.

Адрес редакции:

Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел.: (343) 245-31-88, 245-01-34
e-mail: transporturala@usurt.ru, lneverova@nis.usurt.ru
http://www.transporturala.usurt.ru

Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

Над выпуском работали:

Переводчики: Ершова Елена Владимировна, Бочкарева Анна Викторовна (Департамент Международных Связей (ДМС) УрГУПС, тел.: (343) 370-02-85).
Корректор Пупова Елена Семеновна.
Верстка и дизайн: Курносов Антон Леонидович.

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

С 1 января 2007 года журнал включен ВАКом в перечень периодических, научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Отпечатано в типографии Фонда развития предпринимательства АМБ
620026, г. Екатеринбург, ул. Розы Люксембург, д. 59