№ 3 (30) / 2011 июль — сентябрь

ISSN 1815-9400

ТРАНСПОРТ УРАЛА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



TRANSPORT OF THE URAL
SCIENTIFIC JOURNAL

55 лет минуло с тех пор, как в июне 1956 года по представлению МПС Совет Министров СССР принял постановление об организации Уральского электромеханического института инженеров железнодорожного транспорта. Институт был основан на базе Свердловского железнодорожного техникума 17 ноября 1956 г.

На торжественном заседании, посвященном этому событию, было сказано: «УрЭМИИТ только что родился, но у него богатое будущее. Он будет готовить высококвалифицированные кадры для дорог Урала и Сибири… Мы рассчитываем на то, что производственники Свердловской дороги из числа тех, кто по разным причинам не смог получить высшего образования, сейчас такое образование получат».

Сказанное сбылось. Маленький, занимавший крыло здания на ул. Свердлова и обучавший поначалу только двум специальностям, УЭМИИТ в настоящее время превратился в большой образовательный центр – Уральский государственный университет путей сообщения, ведущий вуз транспортной науки на Урале.

В 2004 году УрГУПС учредил научно-технический журнал «Транспорт Урала», с 1 января 2007 года включенный ВАКом в перечень изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора или кандидата технических наук. В сентябре 2011 года журнал удостоен диплома I степени международного конкурса изданий для вузов железнодорожного транспорта «Книга-2011» в номинации «Лучшее периодическое издание».

Мы надеемся на дальнейшее сотрудничество на страницах нашего журнала и поздравляем весь коллектив университета с торжественной датой – 55-летием со дня основания.



Главный редактор,
президент университета, профессор,
выпускник УЭМИИТа 1963 года
А.В. Ефимов

Заместитель главного редактора,
доктор технических наук, профессор,
выпускник УЭМИИТа 1975 года
В.М. Сай

Научный редактор,
доктор технических наук, профессор,
выпускник УЭМИИТа 1970 года
В.Р. Асадченко

Выпускающий редактор,
выпускница УЭМИИТа 1971 года
Л.В. Неверова

#3 (30) / 2011 July — September

TRANSPORT OF THE URAL

SCIENTIFIC JOURNAL

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

EDITORIAL BOARD

1. Asadchenko Vitaly Romanovich, DSc, professor, scientific editor, Ekaterinburg
2. Aleksandr Mikhailovich 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. Ledyaev 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 Khabibulla Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
15. Umnyashkin Vladimir Alekseevich, DSc, professor, Izhevsk
16. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Галкин А.Г., Нестеров В.Л. / **УрГУПС — транспортный университет Урала** 3

Козлов П.А., Четвериков В.А., Тушин Н.А. / **Интерактивная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры предприятий** 11

Литовский В.В. / **Проблемы пространственного формирования опорного транспортного каркаса урала: мегапроект «БЕЛКОМУР»** 15

Завалищин Д.С., Обухов Т.В. / **Размещение объектов дорожной инфраструктуры** 21

Кажаев А.А., Ларин О.Н., Томилов С.В. / **Вопросы моделирования движения общественного транспорта в муниципальных образованиях** 24

Игнатов В.Е. / **Автоматизированный процессный анализ поездообразования внеклассной сортировочной станции Челябинск-Главный на основе метода IDEF0** 28

Пономарев В.М. / **Система оперативного поддержания темпов восстановительных работ при ликвидации последствий ЧС на железнодорожном транспорте** 32

Румянцев С.А., Азаров Е.Б., Алексеева О.Н. / **Математическая модель электромеханической системы «двухмассная вибротранспортирующая машина — асинхронные электродвигатели»** 36

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

Galkin A.G., Nesterov V.L. / **USURT — the transport university of the Urals** 3

Kozlov P.A., Chetverikov V.A., Tushin N.A. / **Interactive appraisal of development projects of enterprises' transport infrastructure** 11

Litovsky V.V. / **Problems of spatial formation of the ural supporting transport network: megaproject 'BELKOMUR'** 15

Zavalishchin D.S., Obukhov T.V. / **Placement of road infrastructure objects** 21

Kazhayev A.A., Larin O.N., Tomilov S.V. / **Aspects of modelling of public transport traffic in municipalities** 24

Ignatov V.E. / **Automated process analysis of trains' planning and makeup at the shunting depot Chelyabinsk-Glavniy on the basis of IDEF0 method** 28

Ponomaryov V.M. / **System of prompt support of recovery work pace when eliminating emergencies consequence on railway transport** 32

Rumyantsev S.A., Azarov E.B., Alekseeva O.N. / **Mathematical model of electromechanical model 'two-mass vibrotransporting machine — asynchronous motors'** 36

АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА НА ТРАНСПОРТЕ

Сисин В.А. / **Оптимизация устройств автоматической переездной сигнализации** 40

Ефанов Д.В., Плеханов П.А. / **Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики** 44

TRANSPORT AUTOMATICS AND TELEMECHANICS

Sisin V.A. / **Optimization of automated grade crossing signaling devices** 40

Efanov D.V., Plekhanov P.A. / **Increase of railway traffic reliability and safety at the expense of technical diagnosing systems and monitoring of railway signalling and interlocking devices** 44

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Емельянов И.Г., Миронов В.И., Якушев А.В. / **Контактная задача в расчетах усталостной прочности элементов вагона-цистерны** 49

RAILWAY CARS AND FACILITIES

Emelyanov I.G., Mironov V.I., Yakushev A.V. / **Contact problem in the fatigue strength calculation of tank wagon elements** 49

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Белан Д.Ю., Аверков К.В. / **Совершенствование технологии ремонта коллекторно-щеточного узла электрических машин** 56

Буйносов А.П., Тихонов В.А. / **Повышение износостойкости колесных пар электроподвижного состава за счет обработки гребней триботехническим составом** 59

ROLLING STOCK AND TRACTION

Belan D.Yu., Averkov K.V. / **Improved repair technology of electrical machines' commutator-brush assembly** 56

Buinosov A.P., Tikhonov V.A. / **Increase of wear resistance of the electric rolling stock wheelsets by treating flanges with tribotechnical composition** 59

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Дюкарев Л.А. / **Определение нормативной продолжительности строительства однопутной железной дороги на стадии обоснования инвестиций** 65

CONSTRUCTION AND OPERATION OF RAILWAYS

Dyukarev L.A. / **Detection of standard construction duration of single-track railway at investments justification stage** 65

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТРАНСПОРТА

Несенюк Т.А. / **Диагностирование изолирующих конструкций** 69

ELECTRIC SUPPLY OF TRANSPORT

Nesenyuk T.A. / **Diagnostis of insulating constructions** 69

АВТОМОБИЛИ И ТРАКТОРЫ

Савин М.А. / **Результаты экспериментального исследования динамики охлаждения двигателя специального автомобиля в условиях гаража** 72

Жилкин Б.П., Плотников Л.В. / **Скоростные характеристики потока в процессе выпуска автомобильного ПДВС** 77

Шароглазов Б.А., Попов А.Е. / **Уравнения для расчета отношения теплоемкостей рабочего тела в транспортных дизелях** 81

AUTOMOBILES AND TRACTORS

Savin M.A. / **The results of experimental study of a special car's engine cooling dynamics at garage conditions** 72

Zhilkin B.P., Plotnikov L.V. / **Velocity properties of flow in exhaust process of automobile piston internal combustion engine** 77

Sharoglazov B.A., Popov A.E. / **The calculation equations of working medium thermal capacity in transport diesel engines** 81

УДК 378.22.4

Александр Геннадьевич Галкин, доктор технических наук, профессор, ректор Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Валерий Леонидович Нестеров, доктор технических наук, директор Центра стратегического развития, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

УРГУПС — ТРАНСПОРТНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УРАЛА

Alexander G. Galkin, DSc, professor, rector of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia,
Valery L. Nesterov, DSc, Director of Strategic development Center, professor of 'Automation and telemechanics at railway transport' department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

USURT — The Transport University Of The Urals

Аннотация

Рассмотрены основные общесистемные проблемы, стоящие перед отраслью, состояние, цели и задачи развития транспортного комплекса Уральского федерального округа. Определены приоритеты инновационного развития всех видов транспорта в регионе. Предложены пути решения поставленных задач за счет кадрового обеспечения и выполнения заданий транспортной отрасли в научных исследованиях. Определены прогнозные потребности в специалистах предприятий транспортного комплекса региона и в подготовке кадров. Выявлены основные направления, по которым необходимо обеспечить подготовку специалистов и трудовых ресурсов для реализации целей развития транспортной системы.. Решение задач, поставленных перед учреждениями профессионального образования, возможно в условиях деятельности крупных инновационных университетов, в которых наиболее эффективно используются ресурсы и обеспечивается реализация образовательных программ всех уровней подготовки. Показано состояние всех направлений деятельности и организационная структура университета, позволяющие образовать транспортный университет на базе УрГУПС. Университет на протяжении своего существования эффективно взаимодействует с предприятиями транспорта и разработал новые пути взаимодействия с работодателями. Предложены первоначальная структура регионального инновационного университетского комплекса и показатели оценки эффективности деятельности. Рассмотрены основные социально-экономические результаты, которые будут обеспечены в результате реализации программы преобразования университета.

Ключевые слова: инновационное развитие, кадровое обеспечение, подготовка специалистов, транспортный комплекс, непрерывное современное образование, транспортный университет, транспортная система, научно-образовательный центр, стандарты образования.

Annotation

The article considers the major system-wide problems, facing the branch, the state, aims and objectives of transport complex development in the Ural Federal district. The priorities of innovation development of all transport means in the region are determined. The methods of solving the set problems with the help of staffing and realizing the tasks of transport branch in researches are offered. The predictable needs in specialists of transport complex in the region and staff training are defined. In the result of examination the main directions, which should be used for specialists and manpower resources' training to realize the aims of transport system development are identified. To solve the tasks which professional education institutions are facing is possible under conditions of activities of large innovation universities, where the resources are used in the most effective way and the realization of educational programs of all training levels is provided. It is shown the state of all directions of activities and organizational structure of the university, which allow to establish the transport university on the basis of USURT. The University has been efficiently cooperating with transport enterprises for many years and developed the new methods of interaction with employers. The authors suggest the primary structure of regional innovation university complex and evaluation indexes (results, which will be reached as a result of realization of University reorganization program).

Key words: innovation development; staffing; specialists' training; transport complex; life-long learning; transport university; transport system; scientific-educational center; educational standards.

В соответствии с транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 г. в стране в ближайшие годы должен быть сформирован единый транспортный комплекс, обеспечивающий весь спектр транспортных услуг, необходимых государству. Углубление международного сотрудничества в виде создания Таможенного союза России, Белоруссии и Казахстана является предпосылкой для формирования единого экономического и единого научно-образовательного пространства [1].

Основные общесистемные проблемы развития транспортной отрасли состоят:

- в наличии территориальных и структурных диспропорций в развитии транспортной инфраструктуры;
- недостаточном уровне доступности транспортных услуг для населения, подвижности и мобильности трудовых ресурсов;
- низком качестве транспортных услуг;
- недостаточном использовании транзитного потенциала;
- недостаточном уровне транспортной безопасности;
- усилении негативного влияния транспорта на экологию.

e-mail: AGalkin@usurt.ru, VNesterov@usuret.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 19.09.11

Целью развития транспортного комплекса является создание условий для обеспечения экономического роста, повышения конкурентоспособности региона и улучшения качества жизни населения за счет предоставления транспортно-логистических услуг, удовлетворяющих требуемым показателям спроса, надежности, безопасности, экономичности, ценовой доступности для потребителей.

В соответствии с заявленной целью необходимо решить следующие основные задачи:
- обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения;
- развитие транспортно-логистической системы;
- создание устойчиво функционирующей, экономически эффективной и доступной для всех слоев населения системы городского пассажирского транспорта.

Это вызывает необходимость построения единой транспортной системы Уральского региона, организации взаимодействия разных видов транспорта, увеличения числа услуг, повышения транспортной доступности, снижения себестоимости и повышения доходов. УрФО — один из системообразующих транспортных узлов России. В Уральском регионе перевозки осуществляются железнодорожным, автомобильным, воздушным, речным и городским транспортом. Развиваются транспортно-логистическая система, дорожное строительство и транспортное машиностроение. Разработаны прогнозные оценки объектов перевозок грузов и пассажиров. Грузо- и пассажирооборот к 2030 г. увеличатся почти в 2 раза. Среднегодовая численность работников транспорта составляет 276 700 человек, в том числе на железнодорожном — 111 300, автомобильном — 148 200, водном — 4 000, воздушном — 13 200 человек. Объем отправления грузов за период 2000 — 2008 гг. железнодорожным транспортом вырос более чем на 20%, водным — в 2,7 раза, грузооборот по всем видам экономической деятельности увеличился на 44%. Отправление пассажиров воздушным транспортом выросло более чем в 1,4 раза, водным — в 1,8 раз [2, 3].

Средний Урал — это крупнейший промышленный центр. Он больше остальных субъектов ориентирован на сотрудничество с регионами России, а также с зарубежными странами. Взаимовыгодное сотрудничество налажено с республиками Татарстан, Башкортостан, Пермским краем, Мурманской областью и другими регионами.

Утвержденный правительством РФ проект «Урал промышленный — Урал Полярный» предполагает строительство новых железнодорожных линий и автомобильных дорог с целью транспортировки грузов из северных районов, что вызовет увеличение размеров движения на существующих путях сообщения. УрГУПС участвует в обеспечении инновационной направленности реализации проекта. Потребуется усиление инфраструктуры существующих магистральных линий в зоне тяготения нового строительства. Реализацию проекта необходимо обеспечить кадрами и внедрением новой техники и технологий.

Все виды транспорта жизненно важны для развития округа, но основной объем грузооборота и его рост в будущем возлагается на железнодорожный транспорт. Строительство железнодорожных линий и освоение новых месторождений вызовет увеличение размеров движения на существующих железнодорожных магистралях. Для железнодорожного транспорта важнейшими приоритетами инновационного развития являются [4]:
- внедрение современного подвижного состава;
- совершенствование системы управления и обеспечения безопасности движения поездов;
- развитие скоростного и высокоскоростного движения;
- внедрение инноваций в сфере энергосбережения, снижения экологической нагрузки и обеспечения безопасности транспортных средств.

В последнее время все более увеличиваются доли других видов транспорта, прежде всего автомобильного. К основным направлениям, обеспечивающим инновационное развитие автомобильного транспорта, относятся:
- разработка и внедрение систем и технических средств;
- обеспечение сельских населенных пунктов регулярными перевозками общественного пассажирского транспорта;
- повышение качества предоставляемых транспортных услуг.

Формирование перспективной дорожной сети предусматривает включение в нее дорог федерального значения, новых направлений автомобильных дорог, входящих в состав маршрутов федерального значения, не только обеспечивающих межрегиональные связи, но и позволяющих интегрировать разобщенную дорожную сеть отдельных областей в единую транспортную систему России. Реализация мероприятий стратегии развития автодорожного хозяйства имеет основной целью развитие густоты автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием.

Нарушение транспортной связанности отдельных субъектов РФ как с европейской частью страны, так и с другими субъектами обусловливает необходимость разработки механизма государственной поддержки авиационных перевозок на отдельных магистральных социально значимых направлениях. В Уральском федеральном округе следует развивать наиболее крупные аэропорты. Особое место в модернизации и развитии наземной инфраструктуры воздушного транспорта должна занимать национальная опорная сеть, состоящая из аэродромов международных и внутрироссийских узловых и неузловых аэропортов, обеспечивающих связность сети, стратегическое единство и безопасность авиационных связей.

Главной целью развития внутренних водных путей и гидротехнических сооружений является формирование опорной воднотранспортной сети и реализация приоритетных инфраструктурных проектов для обеспечения надежного и устойчивого функционирования существующей сети внутренних водных путей и гидротехнических сооружений, направленных на создание условий освоения перспективных объемов перевозок грузов и пассажиров, преодоление сложившихся диспропорций в развитии воднотранспортной системы, а также решение оборонных, природоохранных и других социально-экономических задач [5].

Решение поставленных задач невозможно без кадровой поддержки и без выполнения заданий транспортной отрасли в научных исследованиях, инженерных разработках, широком внедрении инноваций в инфраструктуру, подвижной состав, организацию движения. Для достижения целей необходимо техническое и организационное обновление транспортно-

го комплекса округа, интенсивное развитие его рыночной и деловой инфраструктуры; формирование на базе научных и учебных институтов, административно-территориальных образований, промышленных и транспортных предприятий, технопарков, бизнес-инкубаторов, инновационно-технологических центров; кадровое обеспечение современных транспортных технологий [6].

При формировании транспортного кластера региона, который будет представлен различными видами транспорта, инновационный транспортный университет будет выполнять кадровое и научное сопровождение производственных процессов на предприятиях транспортного комплекса по высшему, среднему и начальному профессиональному образованию.

Проведенные исследования показывают, что ежегодная потребность в специалистах транспортного комплекса региона составляет около 40 тыс. человек.

В настоящее время потребность предприятий в работниках по транспортным специальностям превышает возможности подготовки выпускников на 30 — 50%, а по ряду специальностей — на 90 — 100%.

Формирование транспортно-логистической системы УрФО сдерживается отсутствием на рынке труда высококвалифицированных логистических менеджеров и отсутствием системы подготовки квалифицированных научных и педагогических кадров в области логистики.

Для реализации стратегических целей развития транспортной системы до 2030 г. необходимо обеспечить подготовку специалистов и трудовых ресурсов для транспортного комплекса по таким направлениям, как:

- обеспечение трудовыми ресурсами в области проектирования и реализации проектов развития транспортных систем;
- обеспечение трудовыми ресурсами в области эксплуатации транспортной инфраструктуры и транспортных средств, создаваемых в процессе реализации стратегии;
- развитие технических, технологических и других видов знаний трудовых ресурсов до уровня, обеспечивающего реализацию целей транспортной стратегии;
- развитие сети дорог и дорожного хозяйства с внедрением инновационных технологий и материалов при строительстве, реконструкции и эксплуатации.

Для эксплуатации транспорта нужны профессионалы. Поэтому уделяется большое внимание вопросам развития образования, в том числе обучения будущих работников транспорта [7].

Изменения хозяйственно-экономической деятельности требуют совершенствования процесса кадрового обеспечения транспортного производства. Все более актуальным становится решение задачи по интегрированию процесса подготовки кадров всех уровней квалификации, специалистов, умеющих работать в условиях единого транспортного комплекса. Во исполнение указаний президента РФ Д.А. Медведева по переносу подготовки специалистов среднего звена и рабочих в стены университетских комплексов проведена лицензионная экспертиза на право осуществления образовательной деятельности по программам среднего профессионального образования, решены вопросы интегрированной многоуровневой подготовки кадров начального, среднего и высшего профессионального образования. При этом учебные планы и программы разных уровней подготовки увязаны между собой [8].

В этих условиях деятельность технического университета должна быть направлена на подготовку высококвалифицированных и конкурентоспособных специалистов в необходимом количестве и качестве, в заданные сроки, с рациональным территориальным их распределением. Решение задач, поставленных перед учреждениями профессионального образования, возможно в условиях деятельности крупных инновационных университетов, в которых наиболее эффективно используются ресурсы и обеспечивается реализация образовательных программ всех уровней подготовки. Следуя Болонскому процессу и выполняя требования Министерства образования и науки РФ, университет приступил к двухуровневой подготовке бакалавров и магистров.

В УрГУПС начаты подготовка, повышение квалификации и переподготовка кадров по специальности «Логистика и управление цепями поставок» и по специализации «Транспортная логистика». Совершенствуются программы обучения. Ведется обучение по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль «Автомобильное хозяйство»). В университете рассматриваются проблемы перевозок, возникающие при реформировании транспорта. В частности, проблемы связанные с дефицитом подвижного состава, прогнозом потребности в специалистах и кадровым обеспечением компаний, осуществляющих грузоперевозки и пассажироперевозки.

Анализ результатов обследования транспортного комплекса региона показал, что необходимы:

1) подготовка специалистов в дополнение к уже осуществляемой вузами, техникумами, колледжами, училищами по основным транспортным специальностям;

2) подготовка работников по специальностям, не открытым в учебных заведениях региона, таким как сервис на транспорте; электрооборудование автомобилей и тракторов; электрооборудование и автоматика судов; техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования; средства аэродромно-технического обеспечения полетов авиации; эксплуатация перегрузочного оборудования портов и транспортных терминалов; техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования и др.;

3) подготовка по специальностям строительства, содержания и эксплуатации дорожного хозяйства;

4) повышение квалификации, переподготовка и послевузовская подготовка по всем востребованным в регионе транспортным специальностям.

Важной составной частью единой скоростной системы транспорта должны стать транспортно-пересадочные узлы, которые будут размещаться в местах пересечения линий различных видов скоростного внеуличного транспорта, в непосредственной близости к остановкам наземного пассажирского транспорта. Для транспортно-пересадочных узлов предусматривается ряд инновационных решений. Следует обеспечить потребности транспортного комплекса в специалистах с уровнем профессиональной подготовки, отвечающим требованиям безопасности и устойчивости транспортной системы.

Решение задачи обеспечения экологической безопасности предполагает создание на инновационной основе условий для снижения уровня техногенного воздействия транспорта на окружающую среду и здоровье человека и достижения международных экологических стандартов работы.

Транспортный университет станет центром инноваций УрФО, способным удовлетворить потребности транспортной отрасли в научных исследованиях и инженерных разработках. Таким образом, создание в УрФО транспортного университета на базе Уральского государственного университета путей сообщения является назревшей задачей. Для этого сложились необходимые условия [9].

В университете реализована система непрерывного повышения квалификации профессорско-преподавательского состава. В настоящее время университет увеличил объем реализуемых магистерских программ. Ежегодно в магистратуру поступают около 40, в аспирантуру — 80 человек. В университете ежегодно стажируются до 80 аспирантов, молодых ученых и преподавателей из других вузов. Более 10% аспирантов университета проходят стажировку в ведущих мировых научных и университетских центрах.

В университете действует сертифицированная система менеджмента качества подготовки специалистов. Университет является дипломантом и лауреатом российского конкурса систем качества подготовки выпускников образовательных учреждений профессионального образования. В 2010 г. университет получил сертификат ISO 9001:2008 [10].

Новые образовательные технологии базируются на внедрении в учебный процесс мультимедийных средств, использовании современной техники. Повышение требований к качеству подготовки специалистов, введение новых образовательных стандартов определяют необходимость развития практической составляющей образовательных программ. Одним из путей решения задачи является строительство полигона. Это позволит в условиях вуза с меньшими затратами организовывать производственную практику для студентов. Предусматривается создание комплекса полигонов и тренажеров для авиационного и автомобильного транспорта [11].

Университет имеет хорошую учебную базу спортивной подготовки студентов и активно ее использует. Возрождается организация и работа студенческих строительных отрядов. В текущем году было сформировано семь отрядов, в которых работали 320 человек на объектах в городе Сочи, «Урал промышленный — Урал Полярный», «Уральские локомотивы», в штате ОАО «РЖД» и др.

Библиотека Уральского государственного университета путей сообщения это:
- фонд, насчитывающий 868 481 документ;
- ежегодные поступления более 30 000 документов;
- подписка на 250 наименований газет и журналов;
- около 20 000 читателей;
- книговыдача 90 0000 экземпляров документов в год.

Создана вертикальная структура управления профессиональным образованием. В составе университета действуют Челябинский институт путей сообщения, Пермский и Курганский институты железнодорожного транспорта, осуществляющие подготовку кадров транспортных профессий всех уровней. В университете отработана модель реализации образовательной программы «Колледж»; на ассоциативной основе с университетом сотрудничают железнодорожный лицей, Екатеринбургский колледж транспортного строительства и другие учебные заведения, ориентированные на подготовку по профессиям транспортного производства.

Общее количество обучающихся в территориальных подразделениях университета составляет 8 873 человека, из них:
- по очной форме обучения — 4 887 человек;
- по заочной (очно-заочной) — 3 986 человек.

Образовательную деятельность филиалов УрГУПС обеспечивают 1 356 работников, в том числе 362 — научно-педагогических.

В системе дополнительного профессионального образования (ДПО) территориальных подразделений за 2010 г. прошли профессиональную подготовку, переподготовку и повышение квалификации 7 611 слушателей В университетском комплексе реализуются следующие направления дополнительного профессионального образования:
- повышение квалификации и переподготовка руководителей и специалистов, имеющих высшее профессиональное образование (по 97 направлениям);
- повышение квалификации и переподготовка руководителей и специалистов, имеющих среднее профессиональное образование (по 26 направлениям);
- профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации рабочих массовых профессий (по 36 направлениям).

Основными заказчиками услуг ДПО являются предприятия ОАО «РЖД», организации строительной отрасли, предприятия и компании, имеющие железнодорожные пути необщего пользования. В последнее время развиваются направления ДПО в области здравоохранения и подготовка рабочих массовых профессий.

Академия корпоративного образования, созданная в 2007 г., проводит работу по повышению квалификации и профессиональной переподготовке руководителей и специалистов практически всех видов транспорта и других предприятий Уральского региона. Общая численность слушателей по программам дополнительного образования и повышения квалификации составила 15 740 человек. За 5 лет общее число слушателей увеличилось в 2,5 раза, а для предприятий промышленного транспорта — в 6 раз. В настоящее время в составе Академии корпоративного образования работают учебные центры подготовки и повышения квалификации мастеров и руководителей среднего состава; охраны труда и безопасности; академия резерва руководящих кадров и др.

В университете эффективно работает система трудоустройства выпускников. В 2011 г. из 733 выпускников одновременно с выдачей диплома трудоустроено 628 человек, в том числе на железнодорожный транспорт — 471 человек, 254 человека, обучавшихся с полной оплатой, 266 целевиков.

Хорошая организация приемной кампании позволила увеличить объем поступивших внебюджетных средств вуза за счет образовательных услуг на 30%. Таким образом, удалось переломить влияние тенденции демографического спада.

С преобразованием Министерства путей сообщения прекратилось плановое финансирование научных исследований в отраслевых вузах транспорта. Динамика внебюджетных по-

ступлений по научно-инновационной деятельности УрГУПС меняется по годам. Для ликвидации последствий сокращения заказов в университете развернута деятельность по диверсификации видов работ и расширению круга потенциальных заказчиков. Модернизация существующей и создание новой учебно-лабораторной и научно-исследовательской базы по приоритетным направлениям образовательной и научной деятельности является неотъемлемым условием успешного выполнения инновационной программы.

Предполагается организация высокоскоростного движения поездов между Москвой и Екатеринбургом. Учеными УрГУПС в рамках инициативного исследования проведен предварительный анализ размещения транспортного высокоскоростного испытательного полигона в районе между Екатеринбургом и Нижним Тагилом. Рассмотрены два варианта: Верх-Нейвинский и Невьянский. В результате анализа форм партнерства предлагается для сооружения Уральского транспортного испытательного полигона использовать такую организационно-экономическую форму, как государственно-частное предприятие [12].

Реализация проектов высокоскоростной магистрали и сооружения полигона потребует кадрового обсечения. Часть принятых в этом году в университет студентов специализируются в области строительства и эксплуатации высокоскоростной магистрали.

На базе университета создан и проходит аккредитацию испытательный центр технических средств железнодорожного транспорта. Одно из направлений деятельности центра заключается в проведении сертификационных испытаний компонентов и узлов новых локомотивов. В перспективе — проведение климатических и вибрационных испытаний земляного полотна автомобильных дорог с использованием инновационных материалов и технологий и испытаний высокоскоростного подвижного состава. Подписаны соглашения о сотрудничестве с ООО «Уральские локомотивы» и Siemens AG. На основании анализа разработанной модели взаимодействия токоприемника локомотива с контактным проводом подготовлены рекомендации и технические решения для конструкции токоприемника.

20 мая 2008 г. председатель правительства РФ В.В. Путин утвердил Федеральную целевую программу (ФЦП) «Развитие транспортной системы России (2010 — 2015 гг.)». В ней на развитие материальной базы УрГУПС предусмотрено 3 353,2 млн руб. УрГУПС начиная с 2009 г. успешно реализует ФЦП. К началу 2011 г. на развитие материальной базы освоено 477,8 млн руб. из федерального бюджета и 46,2 млн руб. собственных внебюджетных средств вуза. На оборудование нового учебного корпуса направлено 63 млн руб. из средств ФЦП. На эти деньги закуплена сложная современная аппаратура (спектрофотометры, машины для испытания материалов и др.), оборудование для 25 лабораторий и кабинетов. Во вновь построенном здании размещены 12 научно-образовательных центров [13].

Средний возраст используемого в вузе оборудования составляет 9 лет. После введения в действие (в конце 2010 г.) 4-й очереди учебного корпуса существенно повысилась эффективность и качество аудиторного обеспечения. Нуждающиеся студенты обеспечены общежитием. В общежитии также проживают нуждающиеся работники и приглашенные преподаватели и исследователи. Строительство общежития для семейных преподавателей позволит улучшить условия проживания. В вузе эффективно работают центры коллективного пользования по 17 научным направлениям, оказываются услуги сторонним организациям, 1 200 компьютеров подключены к сети Internet, обеспечен беспроводной доступ в Сеть и во всех аудиториях главного учебного корпуса (по технологии Wi-Fi); 120 студентам и 45 преподавателям выданы ноутбуки как электронные учебные пособия для использования безбумажных технологий в курсовом проектировании, лабораторных и практических занятиях и внедрения элементов дистанционного обучения. Для преподавателей это еще и ведение учебно-методической и научной работы. Это обеспечивает использование мировых информационных ресурсов студентами и преподавателями. Университет имеет доступ к крупнейшей в мире единой реферативной базе данных Scopus и к ресурсам Elibrary. В вузе действует автоматизированная информационная библиотечная система «Ирбис». Автоматизированная система управления университетом содержит 3 основных подсистемы.

В ближайшее время будут созданы 4 учебных центра совместно с зарубежными и отечественными организациями и фирмами по отдельным направлениям развития транспортных систем, 6 новых лекционных аудиторий с мультимедийными средствами для потоковых видеосистем и 4 терминальных класса для технологий САПР, а также 5 межкафедральных учебных лабораторий.

Для практической реализации результатов научной и инновационной деятельности университета совместно со Свердловской железной дорогой — филиалом ОАО «Российские железные дороги» создается технопарк. Цель создания технопарка состоит во внедрении на полигоне Свердловской железной дороги результатов законченных НИОКР учеными университета. В рамках Федеральной целевой программы на текущий момент в УрГУПС созданы 3 малых инновационных предприятия. Университет успешно участвует в выполнении международных проектов по программам TEMPUS, SIEMENS, INNORAIL и др. Организовано обучение в зарубежных университетах студентов по программам магистров (в т. ч. по программам получения двойных дипломов и включенному образованию). С 2002 г. по настоящее время за рубежом обучались и стажировались 300 человек.

Сложились направления эффективного взаимодействия предприятий транспорта с университетом в части:

- развития организации, содержания и механизма целевой подготовки студентов;
- укрепления сложившихся традиций в подготовке по железнодорожным специальностям (для формирования компетенций и личностных качеств специалистов);
- развития подготовки по нежелезнодорожным (непрофильным) специальностям с освоением технологий транспорта;
- трудоустройства выпускников на предприятиях транспорта и логистики;
- обеспечения единства обучения и науки, создания технопарков и научно-образовательных центров;

- развития совместных исследований в области кадрового обеспечения предприятий железнодорожного транспорта;
- разработки механизмов реализации стратегии развития кадрового потенциала;
- обеспечения безопасности движения, качества транспортных услуг, эффективности работы транспорта, внедрения новой техники и высоких технологий;
- обеспечения управляемости отраслевого образования.

По отзывам работодателей 90% выпускников соответствуют требованиям рабочего места, возрастает уровень компетенций выпускников и удовлетворенность качеством подготовки специалистов.

Это достигается решением задач по построению системы партнерских отношений с образовательными учреждениями, научными центрами, промышленными и транспортными корпорациями (в том числе государственными), органами власти для реализации непрерывного многоуровневого профессионального образования всех категорий работников транспорта.

Формирование инфраструктуры активной генерации и распространения новых знаний, высокоэффективных технологий предполагает развитие профессионально-образовательных программ и научно-инновационной деятельности в территориальных подразделениях университета; строительство новых научно-учебных корпусов, модернизацию существующих учебных и учебно-вспомогательных площадей и развитие материально-технической базы реструктуризации системы образовательных учреждений; координацию деятельности образовательных учреждений по методическому обеспечению научной и учебной работы; создание условий для реализации системы непрерывного многоуровневого профессионального образования и повышения квалификации всех категорий работников транспорта; внедрение новых информационно-образовательных технологий; повышение эффективности финансовых затрат на профессиональную подготовку персонала предприятий отрасли; расширение спектра образовательных услуг в регионе [14].

Разрабатываются и внедряются новые механизмы взаимодействия университета и работодателей, предусматривающие организацию совместных учебно-научных лабораторий, введение в практику заказа на выпускников (бакалавры, магистры и специалисты), совместный учебно-исследовательский и учебно-производственный процесс с целью быстрейшей адаптации выпускников к условиям работы.

Предназначение транспортного инновационного университета состоит в содействии динамичному развитию транспортного комплекса, в обеспечении его необходимыми людскими ресурсами, сбалансированными по численности и по направлениям подготовки.

Для реализации принципов инновационного университета в УрГУПС необходимо: углубление фундаментальной подготовки за счет отказа от узкой специализации в пользу широкого всестороннего образования; осуществление образования на мощной научной базе, позволяющей преодолевать «границы раздела» различных отраслей знаний, техники и технологий; введение в учебные планы дисциплин, направленных на развитие навыков творческой работы, работы в команде, способности ставить и решать научные и технические задачи инновационного развития транспортной системы страны; развитие навыков применения фундаментальных знаний на практике в продвижении на рынок научно-технической продукции; развитие разработанной концепции изучения иностранных языков для ориентации в мировых достижениях науки и техники.

В Уральском федеральном округе и Пермском крае действуют 10 учреждений высшего профессионального образования, которые реализуют отдельные программы транспортного образования (с филиалами — 20), 13 колледжей, техникумов и профессиональных училищ различной ведомственной принадлежности, реализующих образовательные программы транспортной направленности. При этом для многих из них данная деятельность является непрофильной. Отсутствует действенный контроль бизнес-структур за качеством подготовки кадров. Спектр имеющихся в регионе специальностей подготовки в вузах и техникумах не соответствует уровню кадрового обеспечения предприятий транспортного комплекса. Так, из 38 основных транспортных специальностей в высших учебных заведениях УрФО и Пермского края присутствуют только 13. Имеет место разрозненность и нескоординированность в деятельности образовательных учреждений разной ведомственной принадлежности и уровнях подготовки. Планы бизнес-структур на участие в транспортном обеспечении экономики страны, развитии авиастроения на Урале, малой авиации и соответствующей инфраструктуры обостряют кадровую проблему в регионе.

В 2009 г. на базе и по инициативе УрГУПС образована Ассоциация транспортных учебных заведений УрФО и Пермского края, в которую входят 70 образовательных заведений разного уровня, 3 000 преподавателей и более 50 000 обучающихся. Утвержден разработанный организационным комитетом план деятельности ассоциации. В соответствии с планом обобщены результаты анализа деятельности участников ассоциации в ходе приемной кампании; подготовлен и представлен на юридическую экспертизу проект договора о совместной деятельности участников ассоциации; подготовлены предложения по составу руководящих органов ассоциации.

Карта расположения образовательных учреждений УрФО, входящих в ассоциацию, представлена на рис. 1.

В целях координации работы по кадровому обеспечению производственной деятельности региональных предприятий всех видов транспорта и формирования интегрированного многоуровневого транспортного университетского комплекса стратегия развития Уральского государственного университета путей сообщения предусматривает вовлечение в совместную образовательную и научную деятельность всех региональных образовательных учреждений транспортного направления. По инициативе транспортных профессиональных училищ в Златоусте, Челябинске и Алапаевского индустриального техникума уже поступили предложения о присоединении к УрГУПС.

Таким образом, предлагается осуществить преобразование университета и построение вуза новой формации — единственного в регионе транспортного университетского комплекса инновационного типа, в котором будет проводиться подготовка специалистов для железнодорожного, автомобильного, авиационного и водного транспорта, направленная на укрепление их взаимодействия. В университетский комплекс объединяются все транспортные образовательные



Рисунок 1 — Карта расположения образовательных учреждений, входящих в Ассоциацию транспортных учебных заведений УрФО и Пермского края

учреждения региона. Они интегрируются в состав головного вуза и филиалов по месту расположения. При этом в университетском комплексе ведется подготовка по всем уровням профессионального образования — начального, среднего, высшего, дополнительного и послевузовского, что позволяет обеспечить преемственность на всех стадиях обучения. Задача создания транспортного университетского комплекса впервые была поставлена в январе 2005 г. министром транспорта И.Е. Левитиным. А.С. Мишарин конкретизировал ее, предложив расширить направления подготовки.

Предполагаемая первоначальная структура регионального инновационного транспортного университетского комплекса включает в себя УрГУПС, филиалы университета, колледжи транспортного строительства, автодорожные, автотранспортные, железнодорожные техникумы, профессиональные училища и лицеи.

Структурное реформирование транспортных образовательных учреждений в УрФО и Пермском крае требует материальной и финансовой поддержки федеральных органов управления образованием и транспортным комплексом страны.

Для оценки эффективности деятельности транспортного университета разработаны показатели и индикаторы, позволяющие контролировать ход решения задач по годам [15].

В целях совершенствования управления университетом предполагается:

- приведение организационной структуры управления в соответствие с новой структурой инновационного университетского комплекса;
- развитие объемов подготовки специалистов для транспортного комплекса региона в инновационном транспортном университете;
- развитие научных исследований;
- развитие повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов транспорта;
- развитие учебно-производственной базы и социально-бытовой инфраструктуры;
- совершенствование и развитие системы менеджмента качества подготовки специалистов;
- доведение количества научно-педагогических работников, имеющих ученую степень, до 75%;
- обеспечение необходимых условий для непрерывного образовательного процесса в сфере транспортного производства;
- развитие международной деятельности.

Финансирование деятельности вуза устойчиво станет многоканальным. Доли поступлений от федерального бюджета, платных образовательных услуг, научной и иной приносящей доход деятельности будут одинаковыми.

По прогнозным оценкам, к концу 2020 г. реализация мероприятий программы преобразования университета обеспечит достижение положительных результатов, определяющих ее социально-экономическую эффективность. В результате:

- производственный процесс транспортного комплекса будет надежно обеспечен высококвалифицированными специалистами в необходимом количестве и требуемого качества, в заданные сроки и с рациональным территориальным их трудоустройством;
- будет создана система опережающей непрерывной подготовки и переподготовки кадров для нужд транспортного комплекса;
- увеличится число научных разработок для нужд транспорта;
- повысится уровень внедрения научных и инновационных разработок в практику работы транспортного комплекса на основе создания новых объектов инфраструктуры;
- усилится интеграция науки, образования и бизнеса на основе развития новых организационных форм их взаимодействия;
- университет завоюет лидирующие позиции в российском научном образовательном пространстве и укрепит свои позиции в мировом научно-образовательном пространстве, что позволит создать конкуренцию на мировом рынке научно-образовательных услуг в области транспортных технологий, естественнонаучного и междисциплинарного образования среди ведущих институтов и научно-образовательных центров;
- конкурентоспособность на мировом рынке образовательных услуг будет обусловлена интеграцией университета с мировой системой образования и созданными конкурентными преимуществами, важнейшими из которых являются эффективные образовательная (полный спектр многоуровневых образовательных программ) и научная деятельность на основе принципов интеграции науки и образования в рамках единого научно-образовательного пространства;
- сформируется кадровый и научный потенциал комплексного инновационного социально-экономического развития региона.

Таким образом, на основе реализации инновационных подходов в области управления научно-исследовательской и образовательной деятельностью университет займет достойное место среди ведущих транспортных университетских комплексов, станет лидером региональной системы образовательных и научных организаций транспортной отрасли [16].

Литература

1. Целевая программа развития учебно-производственной базы и социально-бытовой инфраструктуры УрГУПС. Екатеринбург, 2008.

2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. / утверждена распоряжением Правительства РФ 17.07.08 № 877р.

3. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. / утверждена распоряжением Правительства РФ 22.11.08 № 1734-р.

4. Нестеров В.Л. Кадровое обеспечение отрасли в условиях реформирования // Успехи современного естествознания. 2007. № 11. С. 94 — 96.

5. Транспорт в России 2009 : статистический сборник. М., 2009.

6. Нестеров В.Л., Радченко В.И. О принципах управления социально-экономическими системами // Транспорт: наука, техника, управление. 2009. № 6. С. 23 — 25.

7. Создание Транспортного университета Уральского федерального округа на базе УрГУПС : аналитическая записка. Екатеринбург, 2011.

8. Проект стратегии развития Уральского федерального округа — 2011.

9. Нестеров В.Л., Радченко В.И., Русакова Е.А. Методика оценки рисков чрезвычайных происшествий на транспорте // Вестник УрГУПС. 2009. № 3 — 4. С. 23 — 32.

10. Нестеров В.Л., Радченко В.И., Лузина Е.С. Показатели качества организации образовательного процесса в учебном заведении // Вестник УрГУПС. 2010. № 2. С. 66 — 73.

11. Нестеров В.Л. Система кадрового обеспечения транспорта // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 10. С. 183 — 186.

12. Транспортная стратегия УрФО / А.И Татаркин, И.Э. Гимади и др.; Ин-т экономики УрО РАН. Екатеринбург, 2004.

13. Нестеров В.Л. Методологические вопросы организации кадрового обеспечения транспорта // Фундаментальные исследования. 2008. № 8. С. 57 — 58.

14. Нестеров В.Л. Устойчивость системы профессиональной подготовки кадров транспорта // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 3. С. 129 — 131.

15. Нестеров В.Л. Инновационное развитие кадрового обеспечения предприятий транспортного комплекса // Вестник УрГУПС. 2011. № 3. С. 78 — 85.

16. Нестеров В.Л., Радченко В.И. Квалификация персонала и ее влияние на результаты работы отрасли // Транспорт: наука, техника, управление. 2007. № 6. С. 16 — 18.

References

1. Goal development program of educational-industrial base and social infrastructure USURT, 2008 g

2. Strategy of railway transport development in the Russian Federation till 2030 (utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva RF 17.07.2008 g. № 877r)

3. Transport strategy of the Russian Federation for the period till 2030 (utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva 22.11.2008 № 1734-r);

4. Nesterov V.L. Staffing of the branch under conditions of reformation // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya . M: RAE, 2007. № 11. S. 94-96.

5. Transport in Russia 2009 (statisticheskij sbornik). M., 2009.

6. Nesterov V.L., Radchenko V.I. About principles of social-economic systems management // Transport nauka, tekhnika, upravlenie. M.: VINITI. 2009. № 6. S. 23-25.

7. Establishment of transport university of the Ural Federal district on the basis of USURT (analytical note). Ekaterinburg, 2011.

8. Project of development of the Ural Federal district — 2011 g.

9. Nesterov V.L., Radchenko V.I., Rusakova E.A. Methods of risks evaluation of emergencies at transport // Vestnik UrGUPS : Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Ekaterinburg: UrGUPS, 2009. № 3 - 4. S. 23 - 32.

10. Nesterov V.L., Radchenko V.I., Luzina E.S. Quality indexes of educational process organization in an educational institution // Vestnik UrGUPS: Nauchno-tehnichesky zhurnal. Ekaterinburg: UrGUPS, 2010. № 2. S. 66-73.

11. Nesterov V.L. System of transport staffing // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. M: RAE, 2009. № 10. S. 183-186.

12. Transport strategy of the Ural Federal district / Tatarkin A.I., Gimadi I.E. i dr. UO RAN. In-t ekonomiki, 2004 g.

13. Nesterov V.L. Methodological issues of transport staffing organization // Fundamentalnye issledovaniya. M: RAE. 2008. № 8. S. 57-58.

14. Nesterov V.L. Stability of a system of transport staff' professional training // Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovanij. M : RAE. 2011. № 3. S. 129-131.

15. Nesterov V.L. Innovation development of transport complex enterprises' staffing // Vestnik UrGUPS: Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Ekaterinburg. 2011. № 3. S. 78 - 85.

16. Nesterov V.L., Radchenko V.I. Personnel qualification and its influence on branch work results // Transport nauka, tekhnika, upravlenie. M.: VINITI. 2007. № 6. S. 16-18.

УДК 681.3:656.4.078.1

Петр Алексеевич Козлов, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии (НП «Стратег», Москва),
Владимир Александрович Четвериков, начальник транспортного управления Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК, Липецк)
Николай Андреевич Тушин, кандидат технических наук, доцент Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ИНТЕРАКТИВНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Petr A. Kozlov, laureate of the State Prize of the Russian Federation, DSc, professor (Moscow),
Vladimir A. Chetverikov, head of transport management of Novolipetsk Steel (NLMK)
Nikolay A. Tushin, PhD, associate professor (USURT, Ekaterinburg)

Interactive Appraisal Of Development Projects Of Enterprises' Transport Infrastructure

Аннотация

Предложена методика интерактивной экспертизы для определения максимальных возможностей и технологического запаса прочности объектов транспортной инфраструктуры предприятий. Для этого используется имитационная модель. Применение имитационной экспертизы позволяет определить средние возможности объекта. Однако важно знать и максимальные — для выбора наилучшей технологии в затрудненных условиях. На автоматической имитационной модели сделать это практически нельзя. Показана методика сочетания эффективности модели и интеллекта человека для расчета предельных возможностей транспортной системы, что позволит снизить проектные риски.

Ключевые слова: интерактивная имитация, инфраструктура, технологические режимы, экспертиза, проект.

Annotation

The method for interactive appraisal for maximal possibilities detection and technologic safety margin of transport infrastructure objects of enterprises is offered. Simulation model is used for that purpose. Application of imitation appraisal let to detect object's average possibilities. However it is important to know maximum for choosing the best technology in difficult conditions. It is practically impossible to do it by automated simulation model. There is shown the combination method of model possibilities and a person's mind for calculation of transport system limiting possibilities that will help to reduce project risks.

Key words: interactive imitation, infrastructure, operating practice, appraisal, project

При увеличении мощности промышленных предприятий важно, чтобы производственная и транспортная инфраструктуры развивались согласованно. Оценка проектов представляет собой непростую задачу вследствие структурной и функциональной сложности объектов. Поэтому здесь необходима имитационная экспертиза.

Имитационная экспертиза — системное исследование с помощью экспериментов на модели, позволяющих получить полную характеристику объекта как системы (пропускную способность, время нахождения транспортных средств в системе с расчленением по операциям, узкие места структуры и технологии), а также характеристику элементов и их взаимодействия (полную и полезную загрузку устройств терминалов, локомотивов, железнодорожных путей, грузовых и сортировочных устройств, взлетных полос, автомобильных трасс); задержки из-за занятости устройств, межоперационные простои, возникающие при выполнении операций [1] . Структура в модели должна быть отображена максимально подробно, так как укрупнение элементов может приводить к искажению реальной картины. Технология описывается на уровне элементарных операций. Технологический процесс представляет собой разветвленную последовательность операций и набор условий, когда после выполнения одних начинаются другие [2].

Период моделирования функционирования объекта должен включать несколько суток для получения устойчивых результатов при наличии случайных колебаний. Модель должна давать исчерпывающую характеристику объекта, его пропускной способности и других системных свойств, количественные и качественные параметры структуры и технологии.

Имитационная экспертиза включает в себя ряд этапов. Вначале необходимо адаптировать технологию станции к ее структуре (рис. 1). Задачей является устранение задержек, вызванных несовершенством технологического процесса, несоответствием технологии конкретной структуре. Образно говоря, необходимо выяснить, что может структура, если тех-

e-mail: Laureat_k@mail.ru, NTushin@zde.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 14.09.11

нология не будет ей мешать. Естественно, этот этап потребует целой серии экспериментов [3].

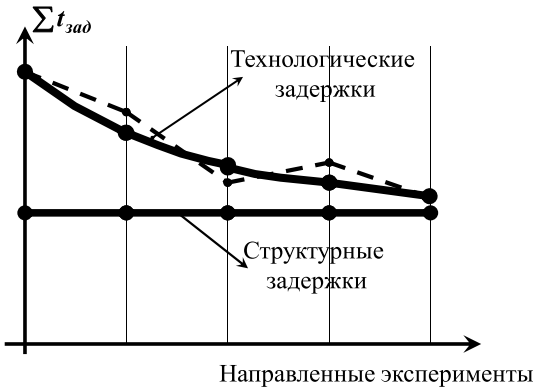


Рисунок 1 — Согласование технологии и структуры в модели

Имитационная экспертиза позволяет определить средние возможности транспортного объекта. Однако важно знать и максимальные, чтобы установить запас прочности. Опыт показывает, что в автоматической модели это практически невыполнимо, ибо весьма сложно предвидеть на десятки суток вперед конкретные трудные ситуации и заранее выбрать для них наилучшие решения. Например, выбрать маршруты движения снегоуборочной машины при вполне определенном состоянии станции. В этом случае предлагается применять интерактивную экспертизу. Отличие в том, что здесь в трудной ситуации модель останавливается, управление передается опытному технологу. Он имеет всю необходимую информацию и полный набор управленческих действий. Технолог, выбирая наилучшую в этих условиях последовательность операций, вводит систему в нормальное состояние и передает управление назад модели. И так при каждой ее остановке.

«Трудную» ситуацию можно задавать по-разному. Например, по вектору N, γ (рис. 2).

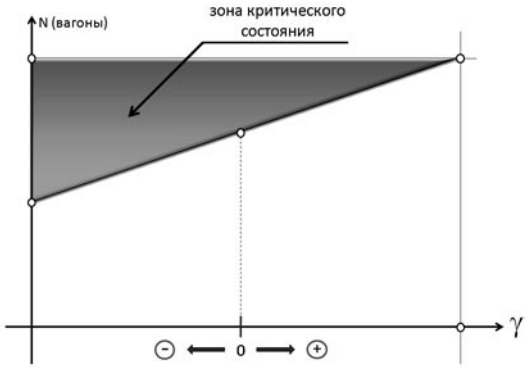


Рисунок 2 — Зона критических состояний:
N — число вагонов на станции;
γ — степень продвижения потока по технологической цепочке

Дело в том, что каждый вагонопоток определенного назначения должен пройти через соответствующую последовательность операций (рис. 3, 4). Если $\gamma = 0$, значит, вагонопоток прошел половину пути, если $\gamma > 0$ — больше половины, если $\gamma < 0$ — меньше половины. Чем меньше γ, тем труднее положение.

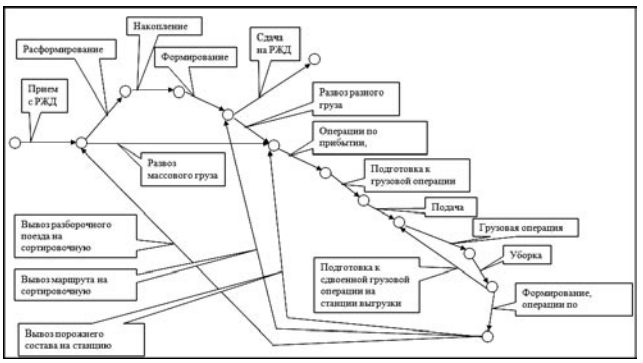


Рисунок 3 — Последовательность операций обработки вагонопотока

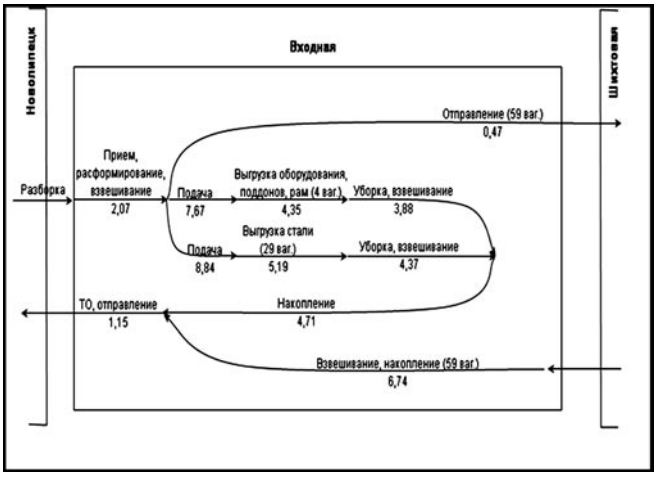


Рисунок 4 — Последовательность операций обработки вагонопотоков на станции Входная

Реализацию экспертизы будем рассматривать на примере имитационной системы ИСТРА [4, 5]. Ситуацию для технолога описывают:

а) состояние путей с указанием числа и назначения вагонов (рис. 5);

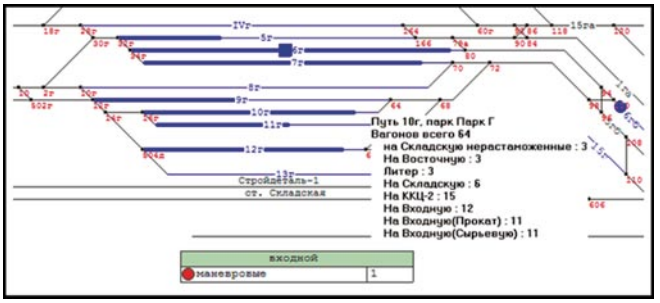


Рисунок 5 — Наличие вагонов и маневровых локомотивов на путях станции

б) расположение поездных и маневровых локомотивов в районе станции, их занятость или свободность (рис. 6);

в) очередь операций, ожидающих выполнения (рис. 7);

г) прогноз прибытия поездов с разложением составов (рис. 8).

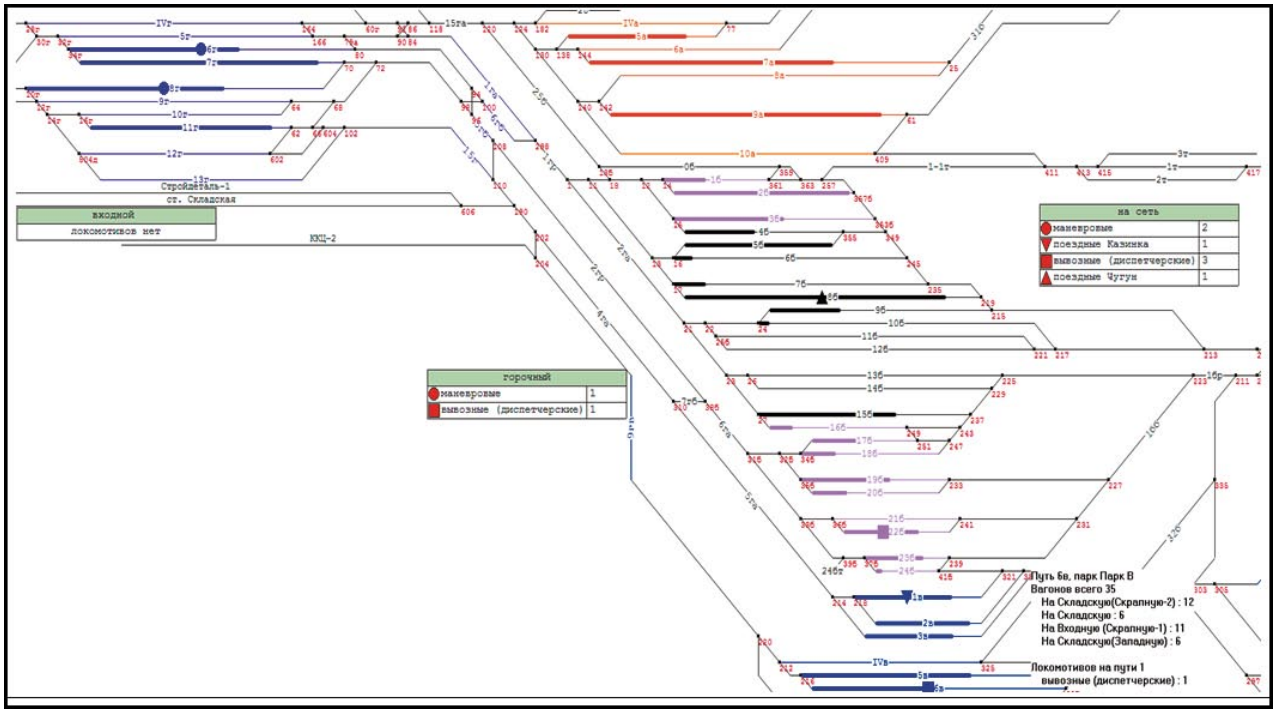


Рисунок 6 — Районы станции и наличие локомотивов

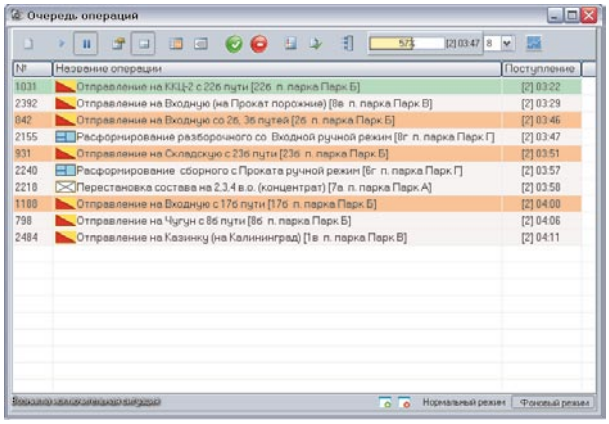


Рисунок 7 — Очередь операций, ожидающих выполнения

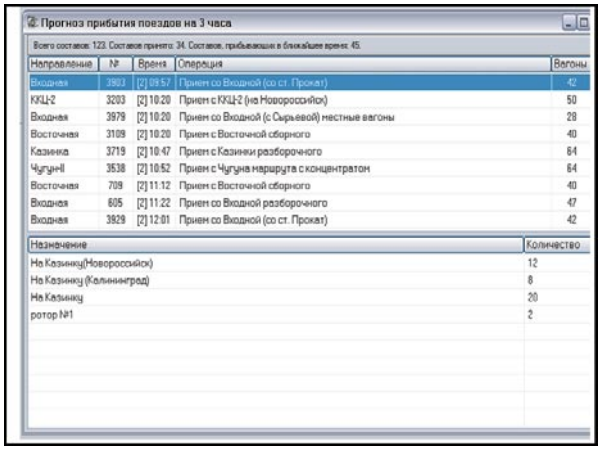


Рисунок 8 — Прогноз прибытия поездов с разложением составов

Технолог может посмотреть график исполненной работы и протокол, чтобы увидеть последовательность предыдущих операций (рис. 9, 10). Имеется дополнительная информация для более глубокого анализа.

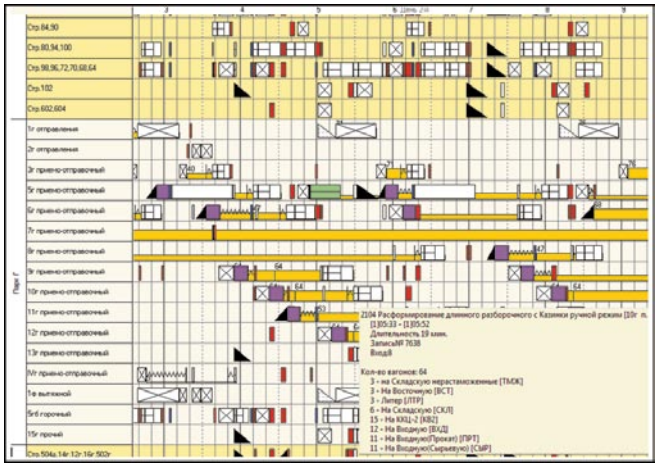


Рисунок 9 — График исполненной работы

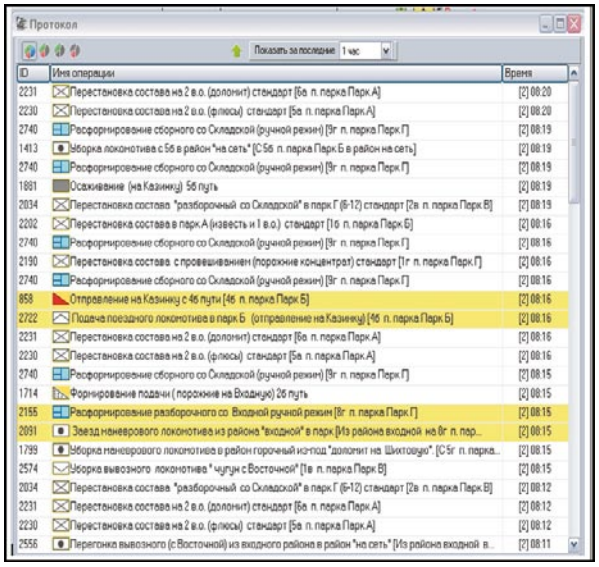


Рисунок 10 — Протокол работы модели до остановки

Технолог может выполнить любую операцию из очереди. У него есть возможность перегнать любой локомотив в любую точку, отправить поезд, переставить состав и т. п. Сервис в модели очень удобный. Технолог может вставить в очередь любую операцию из технологического процесса (рис. 11) и выполнить ее (если возможно) вне очереди. После расчета система ИСТРА выдает исчерпывающие результаты для анализа.

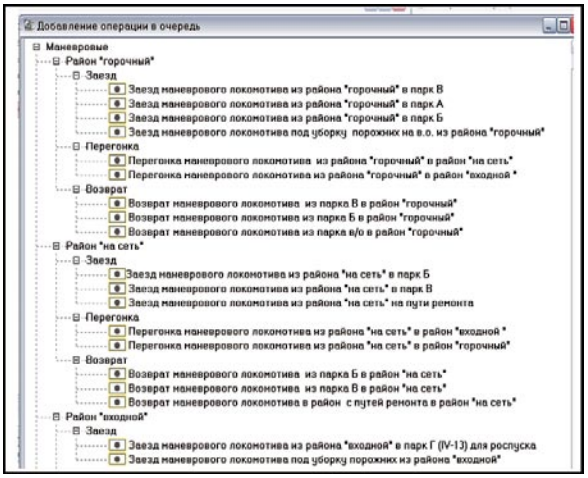


Рисунок 11 — Таблица добавляемых в очередь операций

Сочетание эффективности модели и интеллекта человека позволяет рассчитать предельные возможности проектируемой транспортной системы и определить ее запас прочности. Это позволит снизить проектные риски.

Литература

1. Козлов П.А., Козлова В.П. Инвестиционные риски при создании логистических центров // Транспорт Урала. 2007. № 1. С. 48 — 52.

2. Козлов П.А., Четвериков В.А. Автоматизация расчета контактного графика транспортного обслуживания производства // Промышленный транспорт, XXI век. 2010. № 3. С. 32 — 34.

3. Козлов П.А., Четвериков В.А. Углубленный анализ проектов развития промышленных железнодорожных станций // Транспорт Урала. 2011. № 2. С. 10 — 12.

4. Козлов П.А., Козлова В.П. Расчет параметров проектируемых транспортных узлов // Железнодорожный транспорт. 2008. № 7. С. 36 — 38.

5. Козлов П.А., Александров А.Э. Автоматизированный программный комплекс расчета, регистрации и отображения работы сортировочной станции // Железнодорожный транспорт. 2003. № 9. С. 65 — 67.

References

1. Kozlov P.A., Kozlova V.P. Investment risks of logistics centers creation // Transport Urala. 2007. №1. S.48 – 52.

2. Kozlov P.A., Chetverikov V.A. Automation of contact graph calculation of transport production maintenance // Promyshlenny transport, XXI vek. 2010. №3. S. 32 – 34.

3. Kozlov P.A., Chetverikov V.A. In-depth analysis of development projects of industrial railway stations // Transport Urala. 2011. №.2. S. 10 – 12.

4. Kozlov P.A., Kozlova V.P. Calculation of designed traffic centers // Zheleznodorozhny transport. 2008. № 7. S. 36 – 38.

5. Kozlov P.A., Aleksandrov A.E. Automated program complex of calculation, registration and marshalling yard operation // Zheleznodorozhny transport. 2003. № 9. S. 65 –67.

УДК 338.2:629

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

ПРОБЛЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОПОРНОГО ТРАНСПОРТНОГО КАРКАСА УРАЛА: МЕГАПРОЕКТ «БЕЛКОМУР»

Vladimir V. Litovsky, DSc, Head of productive forces development and placement centre, the Institute of Economics, the Ural Branch of RAS (Russian Academy of Sciences)

Problems Of Spatial Formation Of The Ural Supporting Transport Network: Megaproject 'BELKOMUR'

Аннотация

В статье развиваются фундаментальные географические подходы к формированию и корректировке опорного регионального транспортного каркаса и организации грузопотоков на Урале. Предложена идея транспорта регионального вещества с учетом биосферных процессов, включая изостазийные эффекты. Предполагается, что для обеспечения геосферной и инфраструктурной устойчивости целесообразен такой антропогенный транспорт вещества, который содействует сглаживанию локальных аномалий гравитационного поля. Территории с избыточным веществом, определяемым по величине аномалий силы тяжести, рассматривались как потенциальные источники, а территории с дефицитом вещества как потенциальные стоки. Линии, соединяющие наиболее значимые источники и стоки вещества, в таком подходе определяют конфигурацию сети опорного транспортного каркаса, а характеристики естественных стоков во многом определяют параметры внутри- или межрегиональных транспортных балансов. С данных позиций проанализирован проект «Белкомур».

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, Урал, пространственный анализ, региональные грузопотоки, природные ресурсы, проект «Белкомур».

Annotation

The article considers fundamental geographical approaches to the formation and correction of the supporting regional transport network and organization of freight flows in the Urals. The author offers the idea of regional substance transport taking into account biospheric processes, including isostasic effects. It is supposed that to provide geospheric and infrastructural stability such anthropogenic transport of substance, which contributes to smooth over local anomalies of gravitational field, is reasonable. Areas with redundant substance, determined by the quantity of gravity force anomaly, were considered as potential sources and the areas with substance deficit as potential sinks. The lines connecting the most important substance sources and sinks, by such approach define the configuration of a supporting transport network and the characteristics of natural sinks define the parameters of intra- and interregional transport balances. 'Belkomur' project was analyzed from this side.

Key words: transport infrastructure, the Urals, spatial analysis, regional freight flows, natural resources, 'Belkomur' project.

В целях проверки гипотезы о размещении инфраструктуры и перспективных городов («полюсов роста») на территориях, находящихся в гравитационно или изостатически уравновешенных зонах вблизи от районов с избыточным запасом регионального вещества (подробнее см. предыдущий номер журнала [1][1]) и высокими градиентами, обеспечивающими его значительные потоки, в первой части данного исследования рассмотрены города, лежащие на оси Белое море — Республика Коми — Урал (зона проекта железной дороги «Белкомур»), которые в разное время имели статус главных региональных центров или претендуют на это (рис. 1). Вторая часть посвящена проблемам размещения инфраструктуры и способу их решения. Именно в ней рассматривается соответствие изостатическим условиям планируемой трассы «Белкомур».



Рисунок 1 — Схема проекта «Белкомур» с планируемыми железнодорожными линиями (выделены красным цветом) и вариантами южного участка [2]

1 В частности, в ней исходно считалось, что для обеспечения геосферной устойчивости, а следовательно, и инфраструктурной устойчивости целесообразен такой антропогенный перенос, который в итоге содействует сглаживанию локальных аномалий гравитационного поля. При этом территории с избыточным веществом, определяемым по величине аномалий силы тяжести, рассматривались как потенциальные источники, а территории с дефицитом вещества — как потенциальные стоки. Линии, соединяющие наиболее крупные и экономически значимые источники и стоки вещества, в таком подходе определяют конфигурацию сети опорного транспортного каркаса, а характеристики естественных стоков во многом определяют параметры внутри- или межрегиональных транспортных балансов.

e-mail: VLitovskiy@rambler.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 10.02.11

В первой части в соответствии с историей освоения территорий, относящихся к зоне «Белкомура», на основе карт гравитационных аномалий были изучены и представлены аномальные распределения регионального вещества в районе Соликамска, Архангельска, Перми, Сыктывкара и Кунгура.

1. Соликамск известен как центр частной солеваренной промышленности с 1430 г. В последующем он был резиденцией Строгановых. Статус города последовательно ослаблялся. Сначала в связи с освоением Сибири и Урала, где более активно стали развиваться города комплексной горнодобывающей и металлургической специализации, а затем в связи с появлением других конкурирующих региональных соледобывающих центров: Соль-Илецкого месторождения (XVIII в.) и Березниковского центра калийной промышленности в соседнем городе-конкуренте Березниках (1930-х гг.).

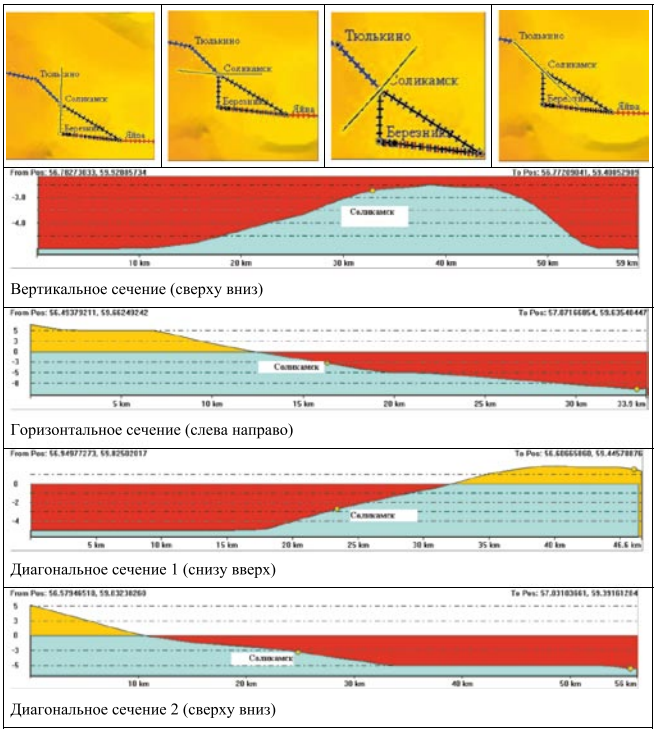


Рисунок 2 — Изостатическая характеристика района Соликамска и прилегающих территорий*

* Здесь и далее по вертикали показаны значения аномалий гравитационного поля в редукции Буге, мГл.

Анализ гравитационной картины в районе расположения Соликамска позволяет заключить, что он находится в зоне отрицательной аномалии поля силы тяжести, т. е. в изостатическом отношении территория характеризуется дефицитом вещества (рис. 2). Таким образом, в гравитационном смысле это типичный город-сток. Он должен получать, а не отдавать вещество или извне получать больше, чем отдавать. Соответственно этому во избежание изостатических эксцессов следует планировать транспортный баланс. В историческом аспекте Соликамск — город, переживший период славы. Ныне он может претендовать на статус духовного (культурного) центра края. В плане ориентации на освоение соляных ресурсов его ожидают такие же проблемы, как у Березников: просадки территорий, обвалы и подтопления соляных шахт, разрушения инфраструктуры и переустройство транспортно-коммуникационных связей. «Белкомур» лишь усилит эту угрозу для Соликамска.

2. Архангельск как город известен с 1584 г. С конца XVI в. был северным центром внешнеторговых морских связей и коммуникаций. В последующем в той или иной степени сохранял эти функции.

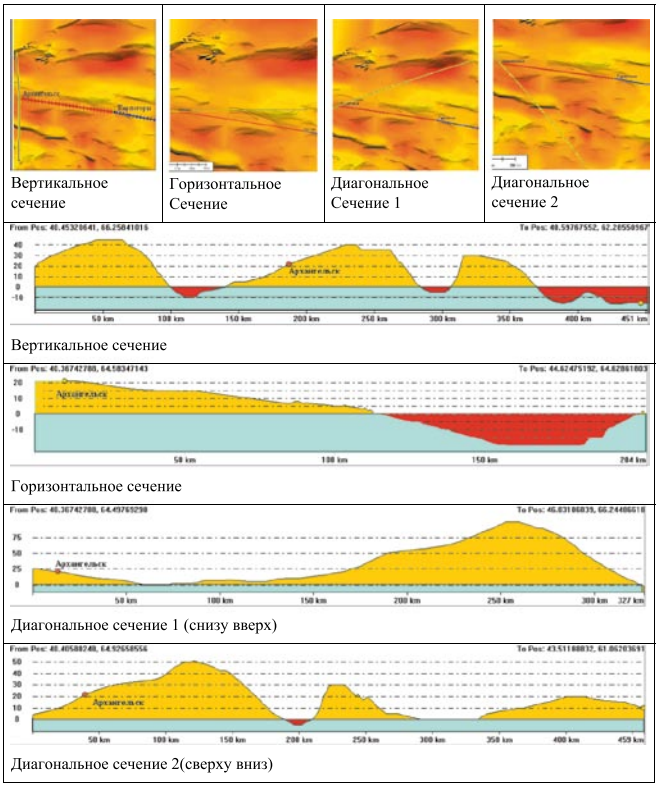


Рисунок 3 — Изостатическая характеристика Архангельска и прилегающих территорий

Из приведенной на рис. 3 гравитационной картины окрестностей следует, что Архангельск характеризуется большим разнообразием распределения регионального вещества, находится в зоне положительной аномалии, поблизости с зонами регионального стока вещества, что характеризует его как город — потенциально долговременный источник вещества. В историческом аспекте Архангельск не утратил регионального лидерства.

3. Пермь основана в 1723 г. как горнозаводский центр. С 1780 г. приобрела статус губернского центра, который сохраняла до середины 1919 г. С 1922 по 1934 г. Пермь входила в состав Уральской области. Позже имела статус областного

центра, а с декабря 2005 г. повысила статус, став краевым центром.

Из рис. 4 видно, что в гравитационном отношении Пермь расположена в зоне положительной аномалии, обладает избытком вещества, т. е. является региональным источником. Особенно значительным избытком вещества характеризуется территория к северу от города, что следует учитывать при формировании производственных мощностей по переработке сырьевых ресурсов. Город обладает должными вещественными ресурсами для сохранения своего статуса как краевого центра.

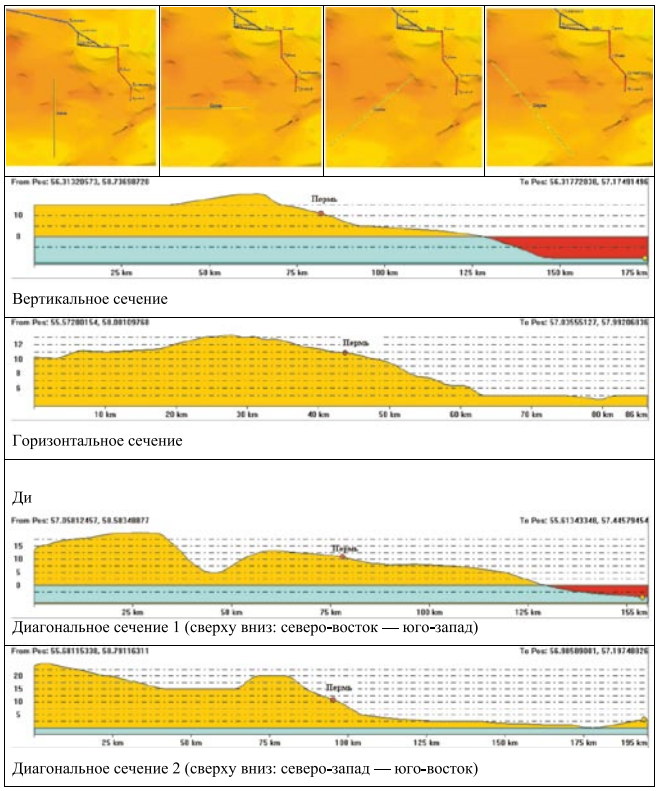


Рисунок 4 — Изостатическая характеристика Перми и прилегающих территорий

4. Сыктывкар (прежнее название Усть-Сысольск) статус города получил в 1780 г. Предшествующее городу поселение относилось к Яренскому уезду Великоустюжской области Вологодского наместничества. Фактически сразу Усть-Сысольск получил статус уездного города, а несколько позже, с преобразованием наместничеств в губернии, оказался в составе Вологодской губернии. В течение XIX в. развивался как региональный торговый узел и речной порт. До 1917 г. развитие было медленным, а численность населения не превышала 10 тыс. чел. В 1918 г. Усть-Сысольский уезд был введен в состав так называемой Северо-Двинской губернии с центром в Великом Устюге. В 1921 г. город становится административным центром автономной области Коми, а в 1937 г. — Коми Автономной Советской Социалистической Республики (будучи уже переименованным в 1930 г.). Осенью 1990 г., когда Коми АССР была преобразована в Коми ССР, а затем в 1992 г. — в Республику Коми, Сыктывкар сохранил столичный республиканский статус.

Как следует из картины аномального гравитационного поля в районе Сыктывкара (рис. 5), город располагает значительными количествами избыточного вещества, особенно в северо-западном направлении. В целом наблюдается преобладание значимых положительных аномалий в западном секторе. На востоке и северо-востоке существенны отрицательные аномалии, что позволяет судить о вероятном стоке вещества в эти зоны. Исходя из вещественного критерия город имеет большие шансы в долгосрочной перспективе сохранить функции крупного административного и промышленного центра.

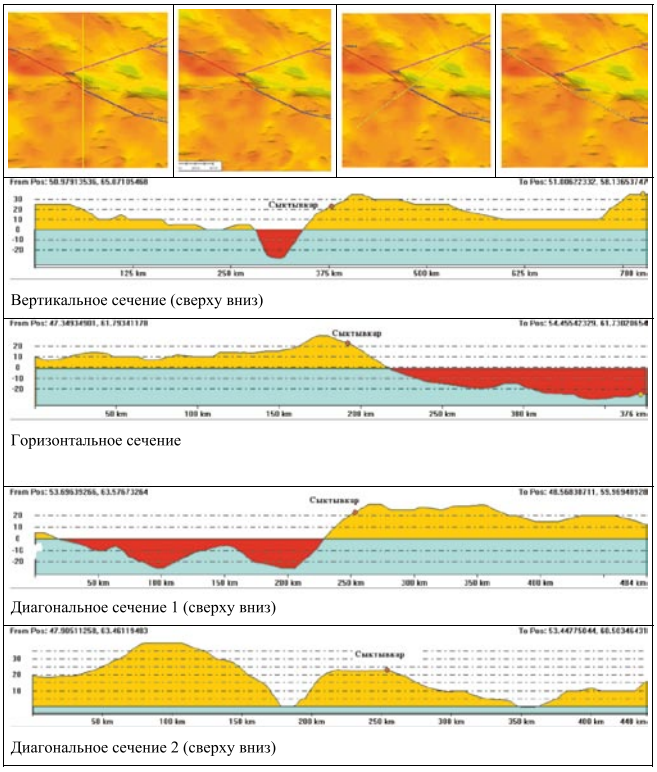


Рисунок 5 — Изостатическая характеристика Сыктывкара и прилегающих территорий

5. Кунгур на нынешнем месте возник как крепость в 1663 г. В начале XVIII в. развивался в качестве центра кожевенно-обувного производства. С 1720-х гг. становился центром управления уральскими заводами. К середине XVIII в. как транспортный и торговый узел превратился в один из крупнейших населенных пунктов Урала. С 1759 г. в Кунгуре размещалось Пермское управление горными заводами. В административном отношении с 1708 г. город был приписан к Сибирской губернии, а с 1719 г. — к Вятской провинции. С 1727 г. в составе Вятской провинции приписывается к Казанской губернии. С 1737 г. город становится центром Кунгурской

провинции, а с 1760-х гг. — центром Пермской провинции Казанской губернии. С 1781 г. Кунгур получает статус уездного города Пермской области Пермского наместничества, а с 1796 г. числится в Пермской губернии. К этому времени он становится крупным ярмарочным центром и пунктом транзитной торговли хлебом, кожей, пенькой и льняным маслом на Сибирском тракте, а с 1859 г. — и центром речного судостроения. С развитием железных дорог значение города как ярмарочного центра ослабло, и позже в качестве районного центра Кунгур развивался в составе Пермской губернии, области, края. Изостатическая характеристика города и прилегающих территорий представлена на рис. 6.

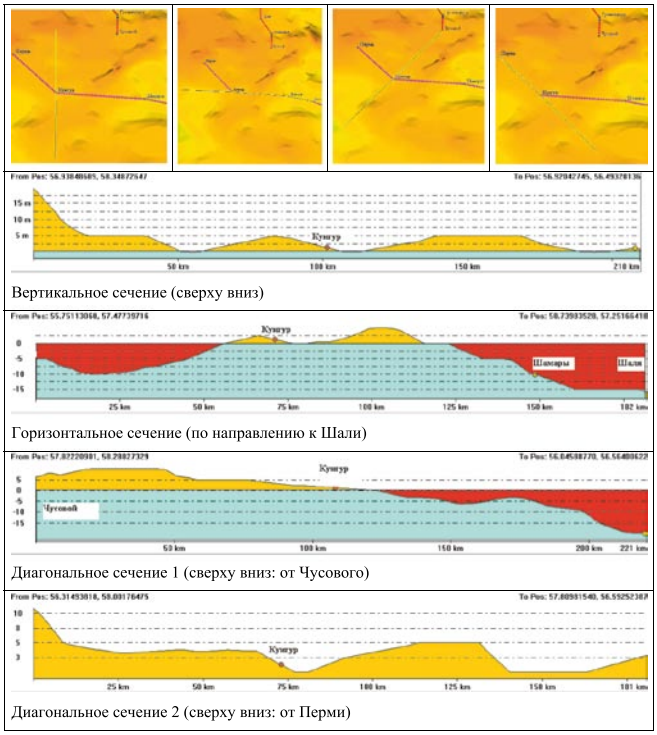


Рисунок 6 — Изостатическая характеристика Кунгура и прилегающих территорий

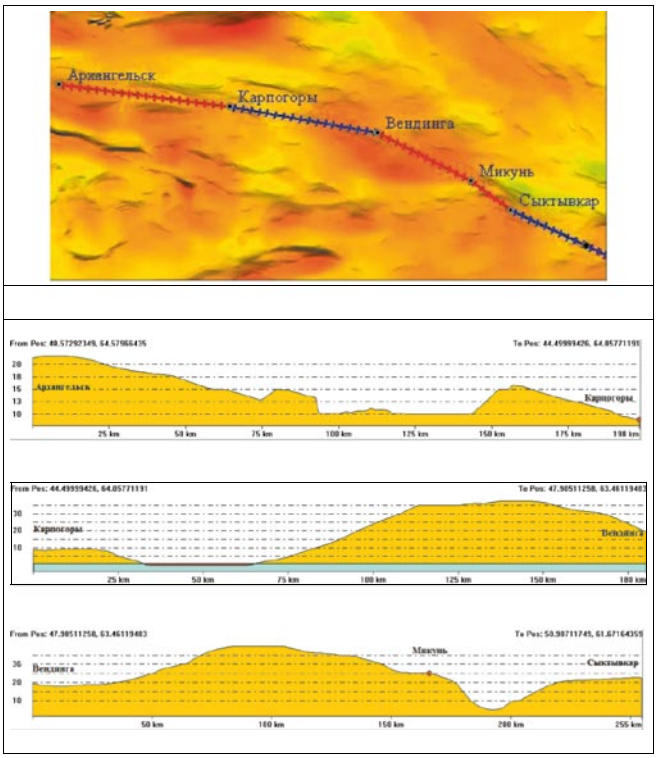


Рисунок 7 — Карта поля силы тяжести северного участка «Белкомура» с профилями гравитационного поля вдоль вышеуказанной железнодорожной линии*: на участке Архангельск — Карпогоры (верхний график), на участке Карпогоры — Вендинга (средний график) и на участке Вендинга — Микунь — Сыктывкар (нижний график)

* Здесь и далее оранжевым и насыщенно-желтым цветом выделены положительные аномалии поля силы тяжести, бледно-желтым и зеленым — отрицательные аномалии.

Кунгур находится в месте практически уравновешенной изостатической поверхности с небольшим положительным отклонением. Значительных количеств избыточного вещества в районе города не наблюдается. Соответственно он не может претендовать на статус центрального регионального места.

Гравитационная картина северного участка «Белкомура» представлена на рис. 7.

Из предложенных трех вариантов построения южного участка «Белкомура» в настоящее время предпочтительным считается Сыктывкар — Гайны — Соликамск с рядом возможных вариаций, представленных на рис. 1. В связи с этим в данной работе рассматривался прежде всего этот вариант. Соответствующие карты поля силы тяжести южного участка мегапроекта «Белкомур» с различными вариантами трассировки в районе Соликамска и Березников приведены на рис. 8.

В целях нахождения вариантов преодоления наиболее проблемных участков Верхнекамского месторождения калийных солей было рассмотрено несколько направлений северного обхода участка Соликамск — Березники, а именно базовый (Тюлькино — Соликамск — Яйва — Чусовой) и дополнительные: Соликамск — Сим — Кизел; Тюлькино — Сим — Кизел; Тюлькино — Красновишерск — Мутиха — Кизел; Тюлькино — Красновишерск — Мутиха — Велс — Гремячинск, а также вариант обхода вдоль Камского водохранилища от Березников к Губахе, которые не дали желаемого результата. Приемлемым с позиций гравиметрического анализа оказался лишь южный вариант, представленный на рис. 9.

Как видно из рис. 9, лишь Г-образный путь от Губахи к Березникам в отвечает требованию гравитационной устойчиво-

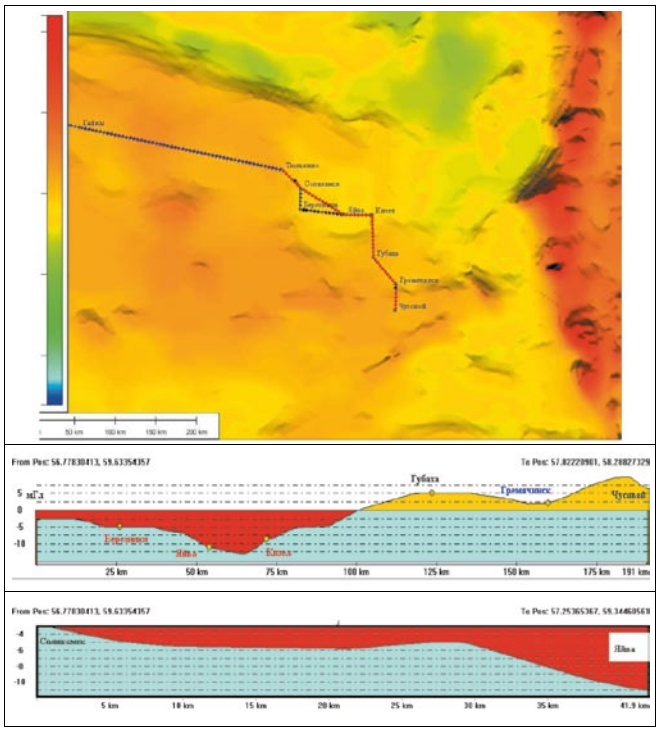


Рисунок 8 — Карта поля силы тяжести участка Соликамск — Березники — Чусовой с гравитационными профилями исходного березниковского участка, поврежденного в результате провала полотна в зоне первого рудоуправления «Уралкалия» в 2006 г., и спрямленного участка предполагаемого элемента железнодорожной линии будущего «Белкомура»

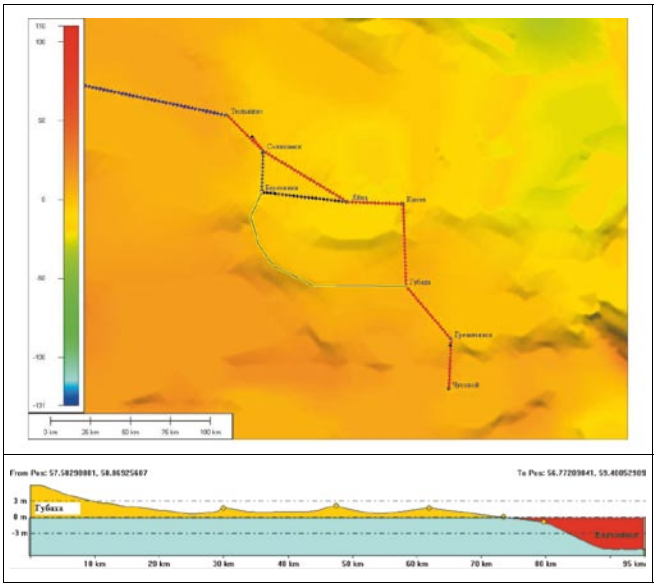


Рисунок 9 — Карта поля силы тяжести участка Тюлькино — Соликамск — Чусовой с приемлемым гравитационным профилем обхода опасных зон Верхнекамского месторождения солей (черно-желтая линия)

сти полуденной поверхности, предназначенной для размещения транспортной инфраструктуры.

Таким образом, на основе принятой гипотезы для проекта «Белкомур» показано, что наиболее критичными являются участки, проходящие в зоне Верхнекамского месторождения калийных солей, включая недавно введенный (в декабре 2009 г.) участок в обход Березников: Соликамск — Яйва.

Общий анализ инфраструктуры северных районов Урала, Приуралья и территорий Западной Сибири, включая исследуемые, выполнен автором в работе [3]. Там раскрываются достоинства создания внутрирегиональных меридиональных железнодорожных линий, а не транзитных, т. е. широтных и диагональных железнодорожных линий, к которым относится и «Белкомур». При этом помимо экономических выгод указывается, что еще одним ныне недооцениваемым сравнительным преимуществом меридиональных, а не диагональных или широтных магистралей является больший ресурс гео- и биоразнообразия территорий. В частности, это позволяет более эффективно и выгодно использовать и предлагать УрФО свои ресурсы южным соседям. Отмечается, что в мировой транспортной практике оптимальными для дорожной эксплуатации также оказываются наиболее гравитационно уравновешенные поверхности[1], к числу которых относятся прежде всего морские акватории, что, собственно, и делает их выгодными (не требующими ремонта). Поэтому и сухопутные ключевые дороги должны соответствовать условию их расположения на территориях с наилучшей изостатической уравновешенностью поверхности земной коры. Тому же условию должны соответствовать и проектируемые новые транспортные коммуникации. К сожалению, как видно из вышеприведенного материала, этого нельзя сказать об от-

1 То есть изостатические поверхности.

дельных участках «Белкомура», находящихся на территории Пермского края (Верхнекамское месторождение калийных солей) и об участках «Урала промышленного — Урала Полярного», расположенных на Ямале и в Западной Сибири, где реанимируются трассы строек ГУЛАГа [4], факторы и масштабы разрушения которых стали явными. Как показано в работе [5], в настоящее время Печорская и Западно-Сибирская низменности опускаются не только по причине инерционного восстановления изостатического равновесия, но, судя по всему, и по причине извлечения запасов недр. С учетом этого приоритетными для разработки полезных ископаемых на вновь осваиваемых землях должны стать территории с положительными гравиметрическими девиациями (западный и восточный склоны Уральских гор), а для транспортных коммуникаций — наиболее изостатически уравновешенные меридиональные направления (северные и южные продолжения Западно-Уральской и восточно-уральских дорог). Причем важным аспектом является не только использование территорий, отвечающих этим требованиям, но и продвижение разработок более экологичных принципиально новых видов транспорта и транспортных сетей, например струнно-рельсовых [6, 7].

Таким образом, предложенный подход открывает перспективу формирования устойчивых коммуникаций и их узловых центров на фундаментальных географических принципах, создает возможность заблаговременно выявлять потенциальные полюса регионального экономического роста, минимизировать издержки, связанные с дорожным землеотводом и ремонтом, на принципиально новой основе строить транспортный каркас, развивать конкурентоспособные инновационные транспортные системы, предназначенные для сложных климатических и географических зон.

Литература

1. Литовский В.В. Проблемы пространственного формирования опорного транспортного формирования опорного транспортного каркаса Урала: мегапроект «Урал промышленный — Урал Полярный» // Транспорт Урала. 2011. № 2 (29). С. 3 — 9.

2. [Электронный ресурс]. URL: http://mgsm-perm.narod.ru/belkomur.html

3. Литовский В.В. Анализ развития инфраструктуры северных территорий Урала, Приуралья и территорий Западной Сибири // Вестник УрГУПС. 2010. № 1 (5) С. 84 — 93.

4. Крафт Я.С. Развитие железных дорог Ямала — важнейшее условие роста экономики УрФО // Государство и транспорт. 2006. № 6. С. 6 — 8.

5. Никонов А.А. Современные движения земной коры. М. : КомКнига, 2006. С. 42 — 43.

6. Строчевус В.К., Юницкий А.Э. Транспортная система «второго уровня» // Мир транспорта. 2003. № 1. С. 57 — 61.

7. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю. Инновационные технологии в создании опорной транспортной сети и совершенствовании функционирования транспорта в регионе // Вестник НИЦ корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского гос. ун-та. 2007. № 1. [Электронный ресурс]. URL: www.syktsu.ru/vestnik/2007/2007-1/10.htm

References

1.

2. [Electronic source] URL: http://mperm.narod.ru/belkomur.html

3. Litovsky V.V. Analysis of infrastructure development of northern territories of the Urals, Transurals and territories of Western Siberia // Vestnik UrGUPS. 2010. №3(7). S.85 – 94. (не 2010 №1 (5)) ???

4. Kraft Ya.S. Development of Yamal railways as one of the most important conditions of economic growth // Gosudarstvo i transport. 2006. №6. S. 6–8.

5. Nikonov A.A. Modern moves of Earth's crust M.: KomKniga, 2006. S .42 – 43.

6. Strochevus V.K., Yunitskij A.E. Transport system of the second level // Mir transporta. 2003. №1. S. 57 – 61.

7. Kiselenko A.N., Sundukov E.Yu. Innovation technologies in formation of supporting transport network and improvement of transport functioning in a region // Vestnik NITs korporativnogo prava upravleniya i venchurnogo investirovaniya Syktyvkarskogo gos. un-ta. 2007. №1. [Electronic source] URL: www.syktsu.ru/vestnik/2007/2007-1/10.htm

УДК 518.857

Дмитрий Станиславович Завалищин, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Тимур Васильевич Обухов, аспирант, ассистент кафедры «Высшая математика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Dmitry S. Zavalishchin, PhD, associate professor of 'Higher mathematics' department of the Ural State University of Railway transport (USURT),
Timur V. Obukhov, post-graduate student, assistant of 'Higher mathematics' department of the Ural State University of Railway transport (USURT)

Placement Of Road Infrastructure Objects

Аннотация

Рассматривается задача размещения конечного количества экономических объектов дорожной инфраструктуры в заданной области. Каждый объект может приносить доход, который зависит от пары его координат и от расстояний до остальных объектов, поскольку они являются его конкурентами. Целью является получение такого плана размещения, при котором суммарный доход будет максимальным.

Предложена математическая модель в форме задачи динамического программирования. Формализован и построен многошаговый процесс принятия решений. Приведен пример организации вычислительной процедуры в случае размещения трех объектов.

Ключевые слова: дорожная инфраструктура, исследование операций, динамическое программирование, оптимизация, размещение объектов

Annotation

In the article it is considered the placement task of final quantiy of road infrastructure economic objects in specified area. Each object can return interest which depends on its two coordinates and on the distance to other objects as they are its competitors. The objective is t get such a placement plan, by which consolidated income will be maximum.

The mathematical model in a form of dynamic programming task is offered. The multi-step decision-making process is formalized and constructed. The example of calculation procedure organization in case in three objects are placed is given.

Key words: road infrastructure; operations research; dynamic programming; optimization; objects placement.

Введение

Оптимизация географического расположения объектов обслуживания в заданном регионе — фундаментальная задача логистики. Исходными данными для решения этой задачи могут быть:

- месторасположение объектов, например их координаты;
- плотность объектов;
- маршруты перемещения и затраты;
- качественные и количественные характеристики объектов.

Среди множества критериев оптимальности расположения чаще всего используют кратчайшее расстояние $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ между поставщиком и потребителем.

Что касается рассматриваемой проблемы выбора месторасположения объектов дорожной инфраструктуры в Свердловской области, то возникает ряд вопросов об их количестве, мощности каждого, удаленности от дорожной сети и от областных городов. Эта задача является комплексной и должна решаться в несколько этапов.

Первый этап. Сбор и обработка исходных данных. Снятие информационной проекции на карту данных Свердловской области. Включает в себя:

- автотранспортную и железнодорожную сеть;
- дискретное двумерное распределение (рис. 1) плотностей объектов области (здесь необходимы данные по регистрации предприятий юридическими лицами);
- кадровую информацию по потенциальной рабочей силе для размещаемых объектов;
- дополнительные данные демографического, экологического и социального характера, например численность населения (рис. 2).

Второй этап. Выбор экономических критериев. Помимо распространенных показателей «расстояние», «стоимость» и «время» можно рассматривать и другие логистические затраты, в том числе приведенные по совокупным издержкам с учетом спроса и предложения, уточненные весовыми коэффициентами [1].

Третий этап. Может выполняться двумя способами. Это либо частный экономический анализ и расчет для различных

e-mail: Zavalishin@math.usurt.ru, Obuhov@math.usurt.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 12.05.11

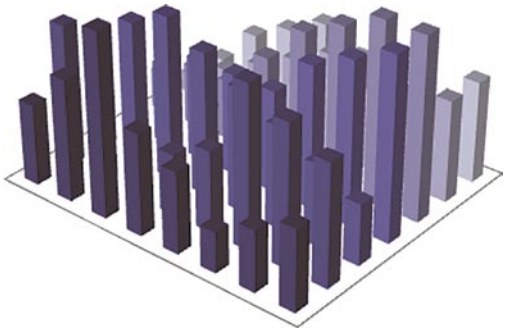


Рисунок 1 — Информационная проекция по количеству объектов

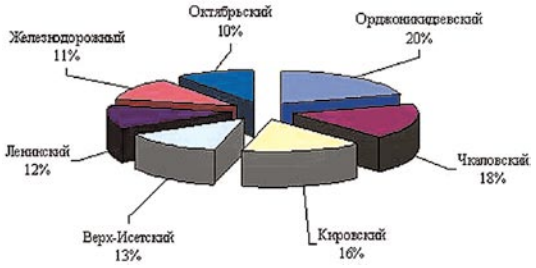


Рисунок 2 — Информация по численности населения

вариантов, либо выбор и использование известных операционных моделей [2], например линейного программирования систем массового обслуживания и т. п. Возможна и интеграция указанных способов.

Построение модели

Синтез математической модели — довольно трудоемкий творческий процесс. Можно исходить из желаемого результата, т. е. из того, что конкретно операционист хочет получить. Например, расположить на карте Свердловской области (рис. 3) сеть некоторых объектов (логистических центров, АЗС, СТО, предприятий торговли, общепита и т. п.). Кроме данных геопривязки, которые допустимо задавать координатами, будет полезна информация об их мощности P_i, которая, в свою очередь, также является функцией координат объекта.

Далее рассматривается задача размещения конечного количества n экономических объектов дорожной инфраструктуры в заданной области [3]. Каждый i-й объект, $i = 1,\ldots, n$, может приносить доход Q_i, который зависит от пары его координат (x_p, y_q) и от расстояний $R_{n\text{-}1}$ до остальных n-1 объектов, поскольку они являются его конкурентами. Расстояние между двумя объектами вычисляется по формуле

$$r_{pq} = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}.$$

В совокупности получается симметрическая матрица расстояний R_n размерности n с элементами r_{pq}

$$R_n = \begin{pmatrix} 0 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{12} & 0 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} & r_{2n} & \cdots & 0 \end{pmatrix}.$$

Исходные данные зависимости $Q_i(x_i\ y_i)$ могут быть заданы таблично (с использованием предварительного экономического



Рисунок 3 — Свердловская область

анализа) или функционально — после проведенной интерполяции.

Таким образом, может быть поставлена следующая задача динамической оптимизации.

Задача. Найти такое расположение объектов, при котором суммарный доход будет максимальным,

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i(x_i, y_i, R) \to \max.$$

На практике экономические задачи такого типа решаются, как правило, с помощью эвристических алгоритмов. В данной работе предлагается использовать динамическое программирование [2, 4].

В соответствии с процедурой применения метода динамического программирования необходимо построить многошаговый процесс принятия решений (МППР). За состояние системы S_i можно взять размещение i-го объекта. Схема МППР изображена на рис. 4.

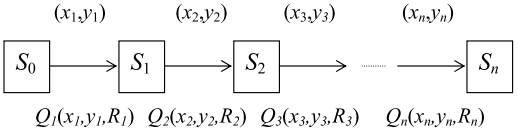


Рисунок 4 — МППР

Пусть начальное состояние системы S_0 соответствует отсутствию объектов. В результате принятия решения (x_1, y_1) разместить первый объект система переходит в следующее состояние S_1. При этом цена решения составит $Q_1(x_1, y_1, R_1)$.

Далее в результате принятия решения (x_2, y_2) разместить второй объект система переходит в следующее состояние S_2. При этом цена решения составит $Q_2(x_2, y_2, R_2)$. И так далее. Следует отметить, что на каждом шаге размерность матрицы R будет увеличиваться на единицу.

Наконец, в результате принятия решения (x_n, y_n) разместить последний объект система переходит в заключительное состояние S_n. При этом цена решения будет равна $Q_n(x_n, y_n, R_n)$.

Оптимизация многошагового процесса принятия решений

Оптимизировать построенный выше многошаговый процесс можно начиная с конца. Рассматривая возможную при-

был, полученную на последнем шаге (см. рис. 4), необходимо выполнить функцию Беллмана, которая будет иметь вид

$$f_1(S_{n-1}) = \max_{x_n, y_n, R_n} \{Q_n(x_n, y_n, R_n)\}.$$

Прибыль за два последних шага составит величину

$$f_2(S_{n-2}) = \max_{x_{n-1}, y_{n-1}, R_{n-1}} \{Q_{n-1}(x_{n-1}, y_{n-1}, R_{n-1}) + f_1(S_{n-1})\}.$$

И так далее.

Наконец, прибыль все n шагов из начального состояния S_0 будет равна

$$f_n(S_0) = \max_{x_1, y_1, R_1} \{Q_1(x_1, y_1, R_1) + f_{n-1}(S_1)\}.$$

В результате проведения условной оптимизации получаются последовательности $f_1(S_{n-1})$, $f_2(S_{n-2})$,..., $f_n(S_0)$ и (x_1,y_1), (x_2,y_2),..., (x_n,y_n), из которых можно восстановить оптимальное решение (x_1^0,y_1^0), (x_2^0,y_2^0),..., (x_n^0,y_n^0) и его стоимость f_n^0.

Расчетный пример

Для примера можно рассмотреть следующую ситуацию. Пусть на некотором дорожном участке необходимо разместить три объекта инфраструктуры. Критерий выбора координат объектов — получение максимальной суммарной прибыли. Зависимость доходов объектов можно предположить обратно пропорциональной. Например, для двух объектов

$$Q_1 = Q_1 - \frac{Q_2}{2 + r_{12}}.$$

В случае трех объектов

$$Q_1 = Q_1 - \frac{Q_2}{3 + r_{12}} - \frac{Q_3}{3 + r_{13}}.$$

Многошаговый процесс принятия решений включает в себя состояния S_0 — отсутствие объектов, S_1 — расположение первого объекта, S_2 — расположение второго объекта и S_3 — расположение третьего. Вверху схемы МППР на рис. 6 указаны координаты (решения или управления) на каждом шаге, внизу — соответствующие прибыли.

Процесс оптимизации МППР состоит из трех шагов.

Первый шаг. Система находится в предпоследнем состоянии S_2. Два объекта уже позиционированы, и известны их координаты (x_1, y_1), (x_2, y_2). Вычисляется матрица расстояний до располагаемого третьего объекта

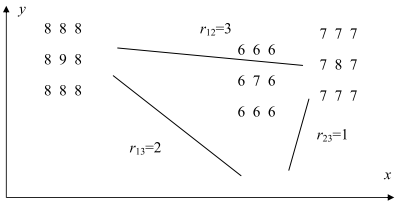


Рисунок 5

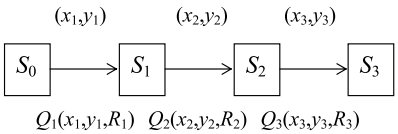


Рисунок 6 — МППР

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0 & r_{12} & r_{13} \\ r_{12} & 0 & r_{23} \\ r_{13} & r_{23} & 0 \end{pmatrix}.$$

Подсчитывается стоимость принимаемого решения

$$f_1(S_2) = \max_{x_3, y_3, R_3} \{Q_3(x_3, y_3, R_3)\}.$$

Второй шаг. Система находится в состоянии S_1. Известны координаты первого объекта (x_1, y_1). Вычисляется матрица расстояний до располагаемого второго объекта

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & r_{12} \\ r_{12} & 0 \end{pmatrix}.$$

Стоимость принимаемого решения о расположении второго объекта

$$f_2(S_1) = \max_{x_2, y_2, R_2} \{Q_2(x_2, y_2, R_2) + f_1(S_2)\}.$$

Третий шаг. Система находится в начальном нулевом состоянии S_0. Принимается решение расположить первый объект в точке с координатами (x_1, y_1), обеспечивающими его максимальную прибыль,

$$f_3(S_0) = \max_{x_1, y_1, R_1} \{Q_1(x_1, y_1, R_1) + f_2(S_1)\}.$$

Таким образом, получена максимальная прибыль от расположения всех трех объектов $f_3(S_0)$.

Литература

1. Сай В.М., Шутюк С.В. Методика формирования коэффициентов и способ оценки априорной состоятельности региона // Транспорт Урала. 2008. № 3 (18). С. 2 — 12.

2. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 2 / пер. с англ. М. : Мир, 1973.

3. Завалищин Д.С., Обухов Т.В. Задача размещения объектов дорожной инфраструктуры // Математическое программирование и приложения : тез. докл. XIV Всерос. конф. : Информационный бюллетень Ассоциации математического программирования. 2011. № 12. С. 89 — 90.

4. Беллман Р. Динамическое программирование / пер. с англ. М. : Иностранная литература, 1960.

References

1. Say V.M., Shutyuk S.V. Methods of coefficients formation and the way of regional antecedent wealth assessment // Transport Urala. 2008. № 3. S. 2–12.

2. Vagner G. Fundamentals of operations research. T. 2. M.: Mir, 1973.

3. Zavalishch D.S., Obukhov T.V. The task of road infrastructure objects placement / Matematicheskoe programmirovanie i prilozheniya. Tezisy dokladov XIV Vserossijskoj konferencii // Informacionnyj byulleten Assotsiatsii Matematicheskogo programmirovaniya. 2011. №12. S. 89 – 90.

4. Bellman R. Dynamic programming / Per. s angl. M.: IL, 1960.

УДК 656.13

Андрей Александрович Кажаев, аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск),
Олег Николаевич Ларин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск),
Станислав Владимирович Томилов, аспирант кафедры «Информационные системы» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск).

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ*

Andrey A. Kazhayev, post-graduate student of 'Motor-transport exploitation' department of the Southern Urals State University (SUSU),
Oleg N. Larin, DSc, professor, Head of 'Motor transport exploitation' department of the Southern Urals State University (SUSU),
Stanislaw V. Tomilov, post-graduate student of 'Information Systems' department of the Southern Urals State University (SUSU).

Aspects Of Modelling Of Public Transport Traffic In Municipalities

Аннотация

Статья посвящена моделированию конфликтных ситуаций, обусловленных эффектами синхронного движения маршрутного общественного транспорта по участкам маршрутной сети муниципальных образований и синхронного прибытия маршрутного транспорта на остановочные пункты. Проанализировано влияние организационных факторов на образование конфликтных ситуаций, рассмотрены теоретические вопросы образования двух типов конфликтных ситуаций на дублирующих и смежных маршрутах.

По результатам аналитических исследований авторами разработаны математические модели движения транспортных средств по дублирующим и смежным маршрутам в детерминированном виде с усреднением характеристик движения.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, общественный транспорт, дублирующие и смежные маршруты, модели движения транспорта, оценка загрузки остановочных пунктов.

Annotation

The article is devoted to the modeling of conflict situations arising from the effects of simultaneous movement of route public transport in parts of municipalities route network and simultaneous arrival of route transport to the stopping places.

The article examines the impact of organizational factors on the formation of conflict situations, considers theoretical issues of education of two-type conflict situations on backup and adjacent routes.

According to the results of analytical studies, the authors developed mathematical models of vehicles traffic by backup and adjacent routes in a deterministic form with averaging of motion characteristics.

Key words: passenger transportation; public transport; backup and adjacent routes; traffic models; evaluation of stopping points load.

Введение

В настоящее время задача оптимизации параметров остановочных пунктов — одно из наименее изученных направлений по совершенствованию работы городского пассажирского транспорта [1, 2]. В последние годы отмечается рост количества ситуаций, когда остановочные пункты перегружены подъехавшим транспортом, что доставляет неудобство не только пассажирам и водителям маршрутного транспорта, но и другим участникам дорожного движения. Это может быть вызвано различными причинами: бесконтрольным увеличением количества маршрутов и единиц транспорта на них, работающих на смежных участках маршрутной сети, созданием дублирующих маршрутов, недостаточной протяженностью остановочной площадки, некорректными интервалами движения транспорта и т. д.

В работе [3] приведены сведения о наиболее распространенных отечественных и зарубежных моделях расчета пропускной способности остановочных пунктов городского общественного транспорта. Анализ показывает, что вопросы оценки загрузки остановочных пунктов являются, во-первых, актуальными не только для российских городов, но и для крупных населенных пунктов других развитых стран, во-вторых, существующие решения задачи оценки загрузки остановочных пунктов не ориентированы на реорганизацию маршрутной сети в части дублирующих и смежных маршрутов.

Предлагается рассматривать два типа конфликтных ситуаций на смежных или дублирующих маршрутах. Первый тип: конфликты при движении. Для конфликтов данного типа характерно совершение одним (быстрым) маршрутным транспортным средством вынужденных обгонов или опережений другого (медленного) маршрутного транспортного средства.

Второй тип: конфликты на остановочных пунктах. Для таких конфликтов характерно образование очередей из ожидающих места, чтобы посадить-высадить пассажиров, марш-

* Научная статья подготовлена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» (№ 16.740.11.0520).

e-mail: trans@susu.ac.ru, larin_on@mail.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 18.04.11

рутных транспортных средств в количестве, превышающем возможности остановочных пунктов.

Математическая модель движения маршрутного транспорта на дублирующих маршрутах

Для определения момента наступления конфликтной ситуации на дублирующих маршрутах будем использовать следующие параметры.

На каждом из дублирующих маршрутов M_1 и M_2 работает определенное количество транспортных средств A_{1i} ($i = 1, \ldots, N$) и A_{2j} ($j = 1, \ldots, N$), движущихся со средними скоростями V_1 и V_2 и с заданными интервалами движения I_1 и I_2. Время начала движения t_{01} и t_{02} отдельных транспортных средств a_1 и a_2 соответственно по маршрутам M_1 и M_2 является фиксированной величиной (устанавливается расписанием).

Протяженность совмещенного участка $l_{св}$, который используется транспортными средствами A_1 и A_2, определяется согласно схеме маршрутной сети и не может превышать протяженности любого маршрута ($l_{св} < l_{м1}$, $l_{св} < l_{м2}$).

Совмещенный интервал движения по дублирующим маршрутам равен разности между началом движения второго t_{02} и первого t_{01} транспортных средств

$$I_{св} = t_{02} - t_{01}. \quad (1)$$

За начало дублирующих маршрутов принимается место на маршрутной сети в точке начала маршрутов $S_{01} = S_{02} = \ldots = S_0$. На определенном расстоянии $S_к$ от начала маршрута находится место вероятного конфликта, в которое одновременно прибывают транспортные средства A_1 и A_2 через время движения по маршрутам $t_{к1}$ и $t_{к2}$ соответственно. В аналитическом виде это расстояние может быть записано следующим образом:

$$S_к = \begin{cases} V_1 \cdot t_{к1} \\ V_2 \cdot t_{к2} \end{cases}. \quad (2)$$

Возможные варианты совмещенного движения транспортных средств на дублирующих маршрутах показаны на рис. 1 — 4.

Вариант движения маршрутного транспорта по двум дублирующим маршрутам при $V_1 = V_2$, $t_{02} = t_{01}$ является частным случаем варианта, изображенного на рис. 2, поэтому отдельно не приводится. Кроме того, дублирующие маршруты с сочетанием таких параметров на практике, как правило, не встречаются.

Исследуем множество $E(S_к)$ значений функции $S_к(V, t)$ для различных значений переменных:

$E(S_к) < 0$ при $V_2 < V_1$, $t_{02} > t_{01}$;
$E(S_к) = \varnothing$ при $V_2 = V_1$, $t_{02} \neq t_{01}$;
$E(S_к) = \{S_к \mid S_к \geq 0\}$ при $V_2 = V_1$, $t_{02} = t_{01}$;
$E(S_к) > 0$ при $V_2 > V_1$, $t_{02} > t_{01}$.

Первое и второе условия отражают ситуацию, когда между дублирующими маршрутами отсутствуют конфликты. Третье условие относится к частному случаю, когда теоретически на всем протяжении дублирующих маршрутов оба транспортных средства должны идти друг за другом без возможности обгона или опережения и изменения интервала движения. Только четвертое условие отражает ситуацию возможного наступления конфликта между маршрутами.

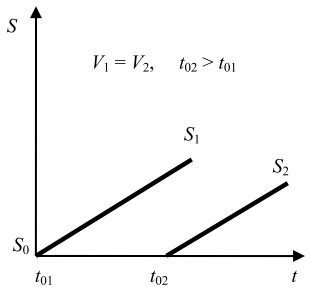


Рисунок 1 — Конфликтная ситуация не образуется

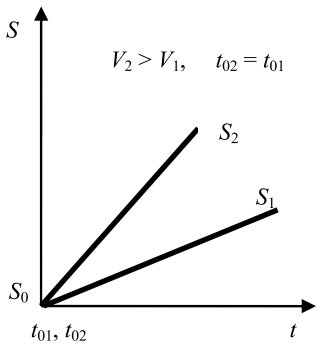


Рисунок 2 — Конфликтная ситуация не образуется

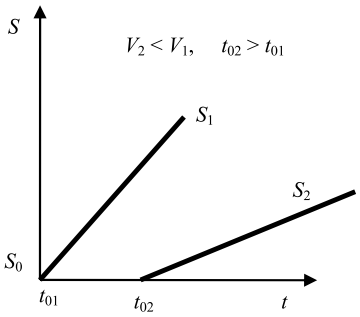


Рисунок 3 — Конфликтная ситуация не образуется

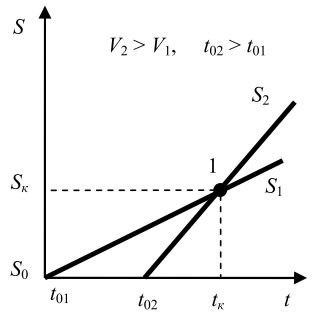


Рисунок 4 — В точке 1 образуется конфликтная ситуация

Пример конфликтной ситуации приведен на рис. 2. Из условия равенства пройденных путей обоими транспортными средствам до места наступления конфликта $S_1 = S_2 = S_к$ может быть найдено время движения, через которое второе («быстрое») транспортное средство догонит первое («медленное») транспортное средство ($V_2 > V_1$).

Время движения второго транспортного средства до наступления конфликта может быть представлено через $t_{к1}$ следующим образом:

$$t_{к2} = t_{к1} — t_{02}. \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в выражение (2) и решая систему относительно $t_{к1}$, найдем величину времени движения каждого транспортного средства до момента наступления конфликтной ситуации:

$$\begin{gathered} V_1 \cdot t_{к1} = V_2(t_{к1} - t_{02}); \\ V_2 \cdot t_{к1} - V_1 \cdot t_{к1} = V_2 \cdot t_{02}; \\ t_{к1}\,(V_2 - V_1 \cdot) = V_2 \cdot t_{02}; \\ t_{к1} = V_2 \cdot t_{02} / (V_2 - V_1). \end{gathered} \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) позволяют определить продолжительность времени движения второго и первого транспортного средства соответственно до момента наступления конфликтной ситуации.

Однако конфликтная ситуация может не наступить, если расстояние пути до конфликта будет превышать протяженность совмещенного участка: $S_{к1} > l_{св}$. Протяженность $S_к$ определяется из выражения (2). Это утверждение также следует из условия, что если время движения $t_{к1}$ первого транспортного средства до конфликта будет превышать время его движения $t_{св1}$ по совмещенному участку ($t_{к1} > t_{св1}$), то конфликтная ситуация на маршрутах не образуется. Время движения $t_{св1}$ по совмещенному участку определяется через отношение протяженности последнего $l_{св}$ к скорости транспортного средства V_1.

При этом следует учитывать, что в интервале I_1 между двумя следующими друг за другом транспортными средствами a_{1i} первого маршрута может находиться в движении несколько транспортных средств a_{2i} со второго маршрута. Соответствующее количество a_{2i} определяется по формуле

$$n_I = (I_1 — I_{св}) / I_2. \quad (5)$$

Полученное значение n_I следует округлять в меньшую сторону. Значение $n_I > 1$ свидетельствует о том, что в интервале I_1 между транспортными средствами первого маршрута a_{1i} будет находиться n_I транспортных средств второго маршрута a_{2i}. Однако это еще не означает, что все a_{2i} в количестве n_I могут конфликтовать с a_1. Конфликтная ситуация между ними возможна при условии

$$(t_к + n_I \cdot I_2) \le t_{св1}. \quad (6)$$

Если выполняется условие (6), то число конфликтных ситуаций транспортных средств a_{2i} с каждым транспортным средством a_{1i} в интервале I_1 равно n_I. Рассмотренная ситуация проиллюстрирована на рис. 5, где движение транспортных средств a_{1i} первого маршрута показано двойной линией, а движение транспортных средств a_{2i} второго маршрута — одинарной.

Если условие (6) не выполняется, то число n_I конфликтов a_{2i} с a_1 в интервале I_1 составит n_I и рассчитывается по формуле

$$n_I = (t_{св1} — t_{к1}) / I_2. \quad (7)$$

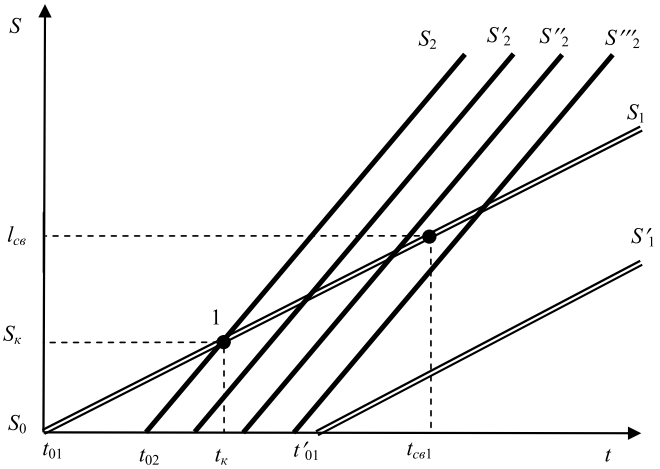


Рисунок 5 — Варианты конфликтных ситуаций для N_I

В окончательном виде число n_I конфликтов определяется следующим образом:

$$n_I = \begin{cases} (I_1 - I_{св}) / I_2, & при\ (t_к + n_I \cdot I_2) \le t_{св1} \\ (t_{св1} - t_{к1}) / I_2, & при\ (t_к + n_I \cdot I_2) > t_{св1} \end{cases}. \quad (8)$$

Теперь необходимо определить общее количество конфликтных ситуаций N_I за общее время движения транспортных средств обоих маршрутов. В данном случае возможность наступления конфликта ограничивается продолжительностью движения транспортных средств по первому маршруту. Общее время движения по первому маршруту рассчитывается по формуле

$$T_{1n} = t_{01n} + t_{св1} = a_{n—1}\, I_1 + t_{св1}, \quad (9)$$

где t_{01n} — время начала движения последнего транспортного средства a_{1n} по смежному участку.

За это время число конфликтных ситуаций не должно превышать количество рейсов n_{p2}, выполненных транспортными средствами a_{2i} по второму маршруту, за период T_{1n} движения транспортных средств a_{1n} по смежному участку ($N_I \le n_{p2}$). За указанный период возможное число конфликтных ситуаций может быть определено из выражения

$$N_I = (T_{1n} — t_{к1}) / I_2. \quad (10)$$

Полученное значение N_I следует округлять в меньшую сторону. В итоге получим

$$N_I = \begin{cases} (T_{1n} - t_{r1}) / I_2, & при\ N_I \le n_{p2} \\ n_{p2}, & при\ N_I = n_{p2} \end{cases}. \quad (11)$$

Математическая модель движения маршрутного транспорта на смежных маршрутах

Время начала движения t_{01} и t_{02} по смежным маршрутам устанавливается расписанием движения. За начало движения транспортных средств по смежным маршрутам принимаются раздельные места на маршрутной сети S_{01} и S_{02} для «сходящихся» маршрутов либо общий начальный пункт для обоих маршрутов $S_0 = S_{01} = S_{02}$ для «расходящихся» маршрутов. В последнем случае транспортные средства через определенное

расстояние после начала движения по маршруту переходят на различные участки маршрутной сети. В этом случае конфликтные ситуации возможны только на участке совмещенного движения. Модель движения транспорта на «расходящихся» маршрутах аналогична модели для дублирующих маршрутов.

Для «сходящихся» смежных маршрутов полученные выражения для дублирующих маршрутов могут быть модифицированы. Для смежных маршрутов началом совмещенного движения транспортных средств по сети является место соединения (как правило, пересечение дорог) их маршрутов $S_{(см)0} = S_{(см)01} = S_{(см)02}$. Протяженность участков маршрутов от начала движения S_{01} и S_{02} до места совмещенного движения $S_{(см)0}$ определяется конфигурацией маршрутной сети и может быть рассчитана по формулам:

$$S_{(см)1} = S_{(см)01} — S_{01}; \quad (12)$$

$$S_{(см)2} = S_{(см)01} — S_{02}. \quad (13)$$

Время начала движения транспортных средств по смежному участку определяется выражениями:

$$t_{(см)01} = S_{(см)1} / V_1, \quad (14)$$

$$t_{(см)02} = S_{(см)2} / V_2. \quad (15)$$

Совмещенный интервал сдвижения по смежным маршрутам составит

$$I_{св} = t_{(см)02} — t_{(см)01}. \quad (16)$$

В момент наступления конфликтной ситуации продолжительность времени движения первого транспортного средства по совмещенному участку маршрута составит $t_{(см)к1}$, а общая продолжительность времени движения транспортного средства по маршруту в целом может быть рассчитана как

$$t_{к1} = t_{(см)01} + t_{(см)к1}.$$

Аналогичным образом определяется общая продолжительность времени движения второго транспортного средства по маршруту $t_{к2}$ до наступления конфликтной ситуации. Время движения второго транспортного средства по совмещенному участку маршрута до наступления конфликтной ситуации $t_{(см)к2}$ может быть представлено через $t_{(см)к1}$ следующим образом:

$$t_{(см)к2} = t_{(см)к1} — t_{(см)02}. \quad (17)$$

После прохождения конфликтной точки движение транспорта обоих маршрутов по совмещенному участку моделируется аналогичным образом, как для дублирующих маршрутов, по выражениям (2 — 9).

Для дублирующих маршрутов, на которых движение транспортных средств начинается не на совмещенном остановочном пункте, вычисления производятся аналогично — как для смежных маршрутов.

Заключение

Разработанные модели и алгоритмы рекомендуются к использованию для оценки условий движения маршрутного транспорта на дублирующих и смежных маршрутах, а также для оценки соответствия пропускной способности остановочных пунктов количеству одновременно прибывающего пассажирского транспорта, что необходимо при принятии решений по реорганизации маршрутных сетей муниципальных образований и реконструкции инфраструктурных объектов.

Литература

1. Ларин О.Н., Смолин В.Н. Особенности управления пассажирскими перевозками в муниципальных образованиях // Транспорт Урала. 2009. № 2 (21). С. 9 — 10.

2. Ларин О.Н., Смолин В.Н. Совершенствование принципов формирования тарифов на муниципальные пассажирские перевозки общественным транспортом // Транспорт Урала. 2010. № 2 (25). С. 96 — 98.

3. Задгенизов А.В., Куприянов А.Б. Обзор наиболее распространенных моделей расчета пропускной способности остановочных пунктов городского общественного транспорта: отечественный и зарубежный опыт // Матер. XVI Междунар. (девятнадцатой Екатеринбургской) науч.-практ. конф. (16 — 17 июня 2010 г.). Екатеринбург : УрГЭУ, 2010. С. 289 — 295.

References

1. Larin O.N., Smolin V.N. Piculiarities of passenger transport management in municipalities // Transport Urala.. 2009. №2 (21). S. 9–10.

2. Larin O.N., Smolin V.N. Improvement of principles of tariffs formation on municipal passenger transportation by public transport // Transport Urala. 2010. №2 (25). S. 96–98.

3. Zadgenizov A.V., Kupriyanov A.B. Review of general calculation models of stopping points traffic capacity of intercity public transport // Materialy XVI Mezhdunar. (devyatnadtsatoj Ekaterinburgskoj nauchn. prakt. konf. (16–17 iyunya 2010 g..) Ekaterinburg: Izd-vo Ural. gos. ekon. un-ta 2010. S. 289–295.

УДК 656.225

Вячеслав Евгеньевич Игнатов, аспирант Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОЦЕССНЫЙ АНАЛИЗ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ ВНЕКЛАССНОЙ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ ЧЕЛЯБИНСК-ГЛАВНЫЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА IDEF0

Vyacheslav E. Ignatov, postgraduate student of the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg)

Automated Process Analysis Of Trains' Planning And Makeup At The Shunting Depot Chelyabinsk-Glavniy On The Basis Of IDEF0 Method

Аннотация

В работе решается актуальная научная задача по эффективному экономическому планированию и формированию поездов на сортировочной станции Челябинск-Главный. При этом требуется: своевременно формировать поезда; уменьшить издержки за счет сокращения непроизводительных потерь; снизить себестоимость перевозок в результате укрепления роли графика и плана формирования поездов, применения экономических критериев в управлении грузовой работой.

При решении поставленной задачи интегрированно используется процессный подход, методология IDEF0, функционально-стоимостный анализ АВС. Применение автоматизированной системы процессного планирования обеспечивает эффективность и производительность процессов поездообразования, своевременность формирования поездов, уменьшает непроизводительные потери, относительно низкую себестоимость перевозок, информативность при поездообразовании.

Ключевые слова: процесс, поездообразование, технология, станция, анализ, грузы, доставка, доходы.

Annotation

In the work the topical scientific problem on efficient economic trains' planning and makeup at the shunting depot Chelyabinsk - Glavniy is solved. It is also required to timely make up trains; reduce costs at the expense of cutting overheads; reduce traffic handling costs at the expense of strengthening the role of trains' schedule and makeup, application of economic criteria in freight work management.

When solving the set problem the process approach, IDEF0 methods and ABC value analysis are used. The application of automated system of process trains' planning and makeup provides the efficiency and productivity of trains' planning and makeup processes, timeliness of trains makeup, reduces overheads, quite low traffic handling costs, self-descriptiveness by trains planning and makeup.

Key words: process, trains' planning and makeup, technology, station, analysis, freight, delivery, gaining.

В ходе реформирования ОАО «РЖД» будут разделены основные и вспомогательные виды бизнеса, участвующие в перевозочном процессе [1]. В результате анализа простоев грузовых вагонов от отправления до пункта назначения было выявлено, что 60 — 70% времени, отведенного на доставку груза, вагон простаивает на сортировочных станциях [2]. Срок доставки для порожнего собственного вагона стал нормой, что усложняет задачу минимум в 2 раза. Экономическая составляющая непроизводительных потерь в виде простоя отрицательно влияет на доходы компании [2]. Вместе с тем оперативно-диспетчерскому аппарату с учетом повышающихся требований к выполнению плановых показателей необходимо осуществлять прогноз на 6 — 12 ч, обеспечивая решение поставленных задач в осуществлении перевозочного процесса. В результате человеческий фактор играет важную роль в данном процессе [3]. Отсюда становится актуальным создание автоматизированной технологии планирования поездообразования с применением функционально-стоимостного анализа с глубиной прогноза в 12 ч для решения таких задач, как:

— обеспечение своевременности формирования поездов и доставки грузов — в интересах потребителя;

— снижение издержек путем сокращения непроизводительных потерь и увеличение доходов за счет максимального использования пропускной и перерабатывающей способностей сортировочных станций;

— снижение себестоимости перевозок на основе укрепления роли графика и плана формирования поездов, применения экономических критериев в управлении поездной и грузовой работой. Повышение полноты, своевременности и достоверности информации о ходе перевозочного процесса, реализация системы экономических взаимоотношений внутри хозяйства с подразделениями, обеспечивающими перевозочный процесс, оптимизация используемого подвижного состава.

Учитывая сложность объекта исследований, для повышения эффективности поездообразования целесообразно применить процессный подход на основе методологии IDEF0 путем построения карты процессов с использованием инструмента All Fusion Process Modeler со встроенным модулем

e-mail: Ignatov-ve@mail.ru

Дата поступления рукописи в издательство: 18.05.11

функционально-стоимостного анализа АВС поездообразования на станции Челябинск-Главная [4] (табл. 1).

Таблица 1 — Последовательная схема выполнения операций с составами поездов на сортировочной станции Челябинск-Главный

Парк прибытия (ПП)
Ожидание обработки
1. Сигналист закрепляет поезд
2. Машинист отцепляет поездной локомотив
Обработка состава
1. Технический и коммерческий осмотры состава бригадами ПТО1 и ПКО2
Ожидание расформирования состава
1. Оператор СТЦ выдает сортировочный листок (СЛ)
2. Машинист прицепляет маневровый локомотив
3. Сигналист раскрепляет состав
4. Ожидание надвига состава на сортировочную горку
5. Надвиг состава
6. Ожидание расформирования состава
Сортировочный парк (СП)
Расформирование состава
Накопление групп вагонов на путях сортировочного парка
Формирование состава
1. Ожидание захода локомотива под состав
2. Составитель производит окончание формирования состава
Ожидание перестановки в парк отправления (ПО)
1. Ожидание перестановки в ПО
2. Машинист маневрового локомотива производит перестановку в парк отправления
Парк отправления (ПО)
Ожидание обработки
1. Сигналист закрепляет состав
2. Машинист отцепляет маневровый локомотив
Обработка
1. Бригады ПТО и ПКО производят технический и коммерческий осмотры состава
Ожидание локомотива
1. Машинист прицепляет поездной локомотив
2. Локомотивная бригада с работниками ПТО делают опробование автотормозов в сокращенном режиме
Ожидание отправления
1. Сигналист раскрепляет состав
2. Ожидание открытия сигнала

Примечания: 1. ПТО — пункт технического осмотра. 2. ПКО — пункт коммерческого осмотра.

Анализ карты процессов (рис. 1 и 2) показывает, что в новых условиях способ поездообразования нельзя назвать в полной мере отвечающим сегодняшним требованиям работы перевозочного процесса из-за отсутствия информации о нормативно-правовой базе, о сотрудниках, входящих и исходящих данных. При этом карта процессов разработана на основании исследования реального объекта в следующей последовательности.

Произведен хронометраж времени выполнения всех технологических операций.

Каждая операция представлена в виде процесса, включающего такие данные, как [5]:
- информация/ресурсы, необходимые для выполнения процесса (вход);
- должностное лицо, выполняющее данную операцию;
- управляющие действия;
- результат выполнения процесса (выход).

Составлена карта процессов технологии поездообразования «как есть».

Охарактеризовать исследуемый объект исследования можно следующим образом. В процессе реформирования ОАО «РЖД» произошло выстраивание вертикально интегрированной системы управления. В результате отделились «виды деятельности» друг от друга, что ухудшило процесс управления перевозочным процессом и вскрыло ряд до этого не возникавших проблем: горизонтальные связи между участниками перевозочного процесса стали значительно слабее. Также стоит отметить, что одна из основных сложностей во взаимодействии между участниками заключается в том, что у каждого подразделения/филиала имеются свои внутренние цели и задачи, которые ставят под сомнение выполнение общей задачи — доставки грузов потребителю в соответствующей последовательности (рис. 2 — 5).



Рисунок 1 — Контекстная диаграмма «Принять, формировать и отправить поезд со станции»

Диаграмма процесса первого уровня А-0 (см. рис. 1) раскладывается на три подпроцесса второго уровня А0 (см. рис. 2). Здесь просматривается более подробная картина по правилам и инструкциям выполнения, по сотрудникам и маневровым локомотивам, производящим преобразование входящих данных/материалов в выходную продукцию.

На рис. 3 представлен следующий уровень, раскрывающий суть процесса «Обработать прибывший поезд». Данный процесс включает в себя такие операции: списывание, технический и коммерческий осмотры и подготовка прибывшего поезда к сортировке и формированию в сортировочном парке.

Парки сортировочный и отправления подобным же образом представлены на рис. 4 и 5 соответственно. В результате просмотра видно, что наиболее нагруженные и наибольшие потери — в парках сортировочном и отправления.

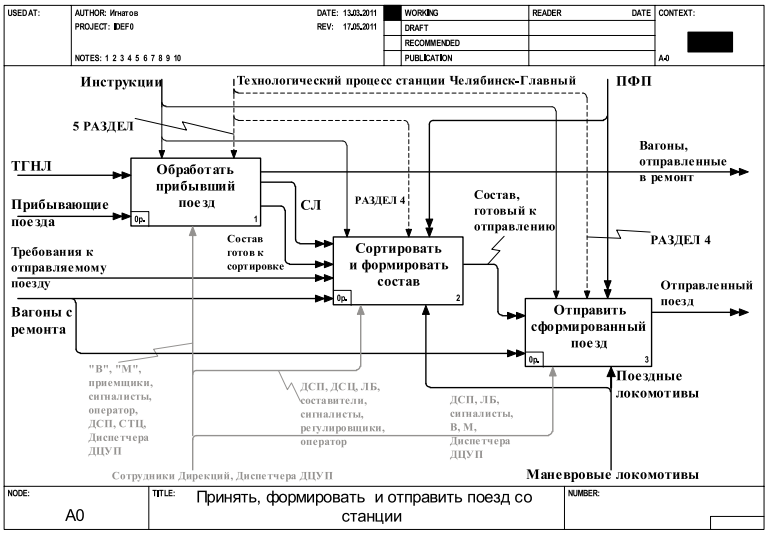


Рисунок 2 — Декомпозиция диаграммы «Принять, формировать и отправить поезд со станции»

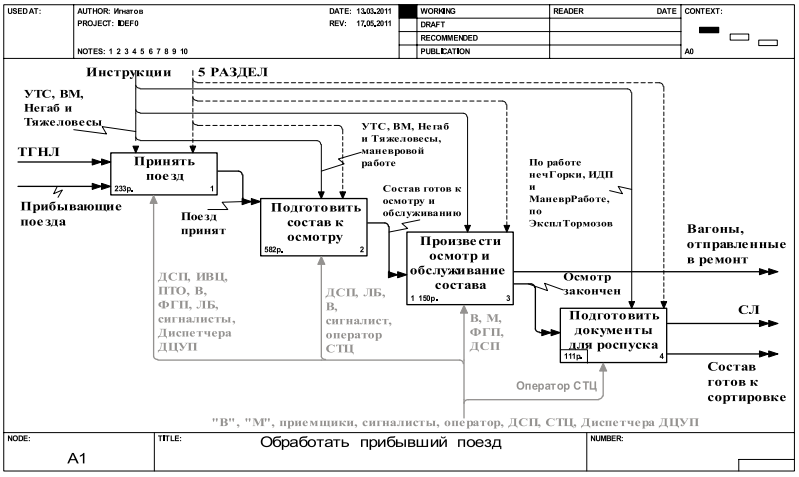


Рисунок 3 — Декомпозиция процесса «Обработать прибывший поезд»

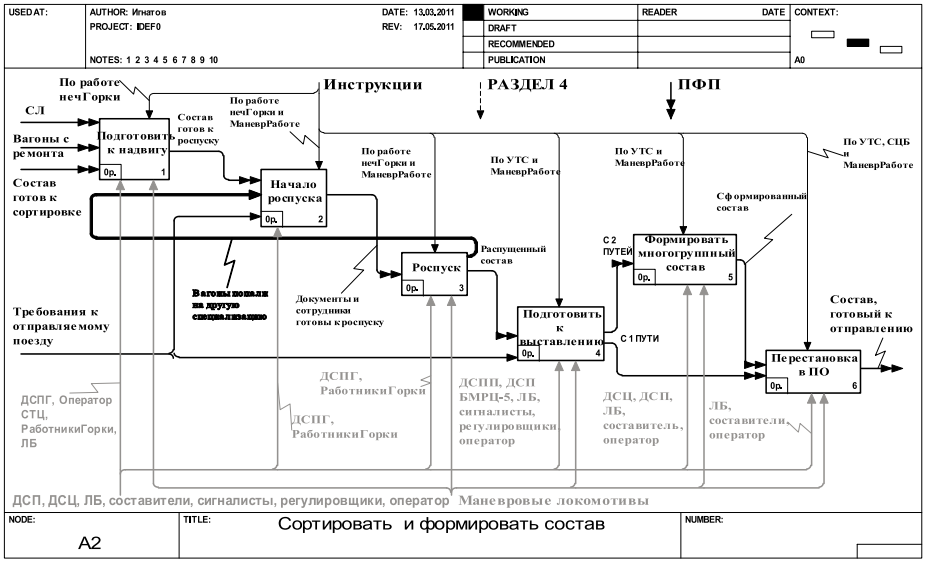


Рисунок 4 — Декомпозиция процесса «Сортировать и формировать состав»

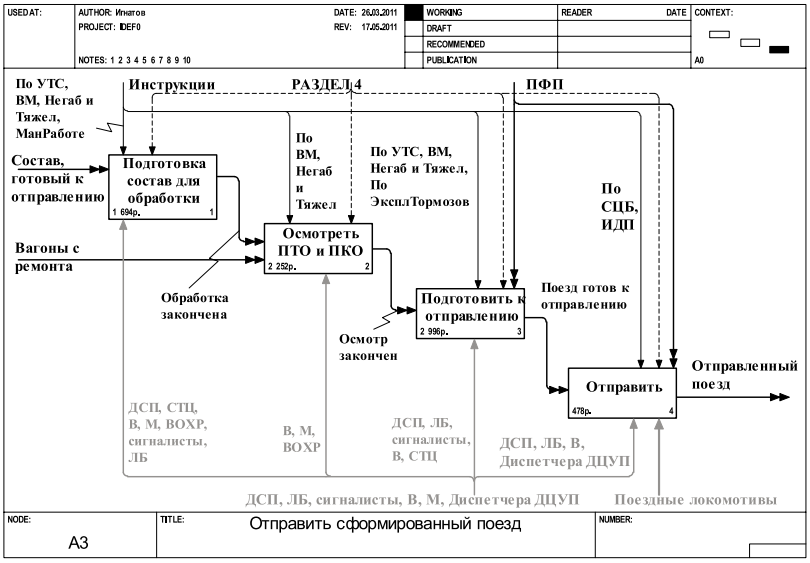


Рисунок 5 — Декомпозиция процесса «Отправить сформированный поезд»

Заключение

Разработанные карты процесса формирования поездов на сортировочной станции Челябинск-Главный от момента поступления до отправления сформированных поездов с сортировочной станции включают в себя последовательность этапов поездообразования, средства и порядок организации, инструкции и др. Это позволило рассмотреть перевозочный процесс в новом качестве с подробными пояснениями каждой операции. Карты процессов предназначены для выявления резервов по улучшению качества работы сортировочной станции, в том числе они позволяют:

- разработать автоматизированную систему планирования поездообразования;
- планировать и прогнозировать работу сортировочной станции и смежных подразделений/филиалов на 12 ч;
- осуществить стоимостную оценку операций по приему, формированию и отправлению поездов.

Карты процессов дают возможность снизить себестоимость перевозок на основе укрепления роли графика и плана формирования поездов, повышения полноты, своевременности и достоверности информации о ходе перевозочного процесса, а также обеспечить своевременность доставки грузов.

Литература

1. Лапидус Б.М. Повышение эффективности основной деятельности холдинга ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2010. № 11. С. 4 — 7.

2. Жабреев В.С., Игнатов В.Е. Анализ проблем перевозочного процесса Южно-Уральской железной дороги. Проблемы и пути решения // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2010 : матер. международ. науч.-практ. конф. Т. 1. Одесса, 2010. С. 52 — 61.

3. Жабреев В.С. Модели и оценка человеческого фактора больших систем : учеб. пособие / В.С. Жабреев, О.О. Павловская, В.Л. Федяев; под ред. В.С. Жабреева. Челябинск: Челяб. ин-т путей сообщения, 2007. 219 с.

4. Левин Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом : учеб. пособие. М. : Маршрут, 2005. 6 с.

5. Ивлев В.А., Попова Т.В. Методология функционально-стоимостного анализа АВС (ФСА). [Электронный ресурс]. URL: http://citforum.ru/cfin/idef/abc.shtml (дата обращения 10.05.2011).

References

1. Lapidus B.M. Rise of efficiency of 'Russian railways' JSC main activity // Zheleznodorozhnyj transport. 2010. № 11. S. 4 – 7.

2. Zhabreev V.S. , Ignatov V.E. Problem analysis of transportation process of the Southern-Ural Railways. Problems and ways of solving // Sovremennye problemy i puti ikh resheniya v nauke, transporte, proizvodstve i obrazovanii 2010: materialy mezhdunarod. nauch.-prakt. konferentsii. Odessa. 2010. Tom 1. S. 52 – 61.

3. Zhabreev V.S. Models and evaluation of large systems' human factor / V.S. Zhabreev, O.O. Pavlovskaya, V.L. Fedyaev, pod red. V.S. Zhabreeva/ Chelyabinsk Chelyab. int putej soobshcheniya , 2007. 219 s.

4. Levin D.Yu. Control centers and technology of transportation process management. M.: Marshrut, 2005. 6 s.

5. Ivlev V.A., Popova T.V. Methods of ABC value analysis. URL: http://citforum.ru/cfin/idef/abc.shtml (search date 10.05.2011).

УДК 658.382

Валентин Михайлович Пономарев, кандидат экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» Института комплексной безопасности Московского государственного университета путей сообщения МГУПС (МИИТ)

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПОВ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧС НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Valentin M. Ponomaryov, PhD, professor, head of 'Vital activities safety' department of the Institute of complex safety of Moscow State University of Railway Transport

System Of Prompt Support Of Recovery Work Pace When Eliminating Emergencies Consequence On Railway Transport

Аннотация

Рассмотрены отдельные этапы взаимодействия железнодорожной транспортной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЖТСЧС) со структурными подразделениями компании и оценена реальная возможность создания системы оперативной поддержки темпов выполнения работ функциональными подразделениями ОАО «РЖД». Выявлено, что темп расходования ресурсов определяет скорость выполняемых работ, а их эффективность — темп ликвидации ЧС.

Предложено предусматривать возможность выработки дополнительных плановых темпов поставки ресурсов.

На основе теории управления и гибридного принципа управления (управление по отклонению и возмущению) разработана динамическая модель системы поддержания плановых темпов работ по ликвидации последствий ЧС двумя взаимосвязанными функциональными подразделениями ОАО «РЖД», рассматриваемыми как самоуправляемые агенты.

Работоспособность модели проиллюстрирована на конкретных примерах: взаимодействии ЖТСЧС и деятельности функциональных подразделений ОАО «РЖД» по поддержанию темпа работ и расхода ресурсов. Показано, что при автономном действии подразделений запрос ресурсов и поддержание необходимых темпов выполнения работ по ликвидации ЧС производится обособленно, а матрицы диагональны, в случае же взаимосвязанного распределения темпов и ресурсов задача ЖТСЧС усложняется.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, железнодорожная транспортная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, чрезвычайные ситуации, восстановительные работы, функциональное подразделение, динамическая модель.

Annotation

The article examines separate stages of interaction of Railway transport system for prevention and elimination of emergencies with enterprise structural departments and evaluates the possibility of establishing the system of prompt support of recovery work pace by 'Russian Railways' JSC functional departments. It is revealed that the pace of resources consumption determines the pace of work and its efficiency determines the pace of emergency elimination.

It is suggested to provide for possibility of elaboration of additional planned paces of resources delivery.

The dynamic model of a support system of recovery work when eliminating emergencies is developed on the basis of the theory of control and hybrid control (control by declination and perturbation) principle by two functional departments of 'Russian Railways' JSC, considered as self-directed agents. The model is provided for system stability evaluation by Hurwitz's criterion.

This model operability is examined by the examples of interaction of Railway transport system for prevention and elimination of emergencies with 'Russian Railways' JSC functional departments to support recovery work pace and resources consumption. It is shown that by the autonomous activity of departments resources needs and support of recovery work pace on elimination of emergencies is realized apart, and the matrixes are diagonal. In the case of interconnected distribution of pace and resources to eliminate emergencies the task of Railway transport system for prevention and elimination of emergencies becomes more complicated.

Key words: railway transport, Railway transport system for prevention and elimination of emergencies, emergencies, recovery works, functional department, dynamic model.

e-mail: annakoroleva@list.ru

Дата поступления рукописи в издательство: 28.08.11

Железнодорожный транспорт — это не просто средство доставки людей и грузов. Он призван прежде всего решать задачи социально-экономического характера. В силу большого объема перевозок опасных грузов (более 300 млн т в год), а также происходящих крушений и аварий железнодорожный транспорт сам по себе является потенциальным источником возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые приводят к человеческим жертвам, значительному материальному ущербу и экологическим последствиям. Кроме того, уязвимость военного характера, в том числе при совершении террористических акций и диверсий, неправомерном вмешательстве в деятельность железнодорожной инфраструктуры, также влечет за собой возникновение чрезвычайных ситуаций [1].

Учитывая эти обстоятельства, ЖТСЧС, являющаяся функциональной подсистемой единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС, предназначена для организации и проведения мероприятий по предотвращению и ликвидации ЧС на транспортных средствах и коммуникациях железных дорог, а также для транспортного обеспечения ликвидации других ЧС по плану взаимодействия с МЧС России (например, тушение пожаров в 2010 г. во многих регионах России).

Для проведения восстановительных работ и ликвидации последствий ЧС на железнодорожном транспорте имеются силы и средства постоянной готовности ЖТСЧС (автономность не менее 3 сут). Они включают 244 восстановительных поезда (свыше 8 000 специалистов, 2 дежурных смены, готовность к выезду 40 мин), 322 пожарных поезда (свыше 8 000 специалистов, дежурство круглосуточно в 4 смены караулом 3-5 человек, готовность к выезду 10 мин). Причем на 96 пожарных поездах установлены станции перекачки нефтепродуктов (из аварийной цистерны в исправную) [2].

В последние годы восстановительные и пожарные поезда усилены подвижным составом, высокопроизводительной грузоподъемной и тяговой техникой отечественного и иностранного производства, аварийно-спасательным инструментом, комплектами передвижных установок пенотушения типа «Пурга», вагон-насосными станциями, дыхательными аппаратами со сжатым воздухом и другими современными техническими средствами [3].

Рассмотрим методологический подход к взаимодействию центра ЖТСЧС с функциональными подразделениями (ФП) ОАО «РЖД».

Это взаимодействие можно охарактеризовать следующим образом:

- ЖТСЧС управляет ФП как активными агентами путем планирования и распределения ресурсов и темпов их поставок по запросам ФП;
- ЖТСЧС обеспечивает доставку ресурсов и определяет территорию деятельности ФП;
- ФП реализуют выданные ресурсы на выполнение запланированного объема работ с максимальной эффективностью и дают информацию о затраченных ресурсах, после чего выполняют новый запрос.

Естественно, что каждое ФП ОАО «РЖД» самостоятельно определяет для себя запросы в ЖТСЧС по плановым темпам расхода ресурсов, учитывая темпы ликвидации ЧС, темпы нарастания угрозы, располагаемый объем ресурсов.

Каждое ФП ОАО «РЖД» использует вполне определенные типы ресурсов: трудовые (ликвидаторы, спасатели), материальные, технические, технологические, топливно-энергетические и др. Иногда в реальных условиях железнодорожного транспорта расход отдельных ресурсов на ликвидацию ЧС может превышать запланированный расход, т. е. ресурсы будут расходоваться неэффективно. Для ЖТСЧС важно спрогнозировать эту ситуацию и в любой момент времени точно знать, какие и в каком объеме ресурсы израсходовало любое из ФП ОАО «РЖД» при ликвидации ЧС. При этом необходимо учесть особенность протекания процессов управления в условиях динамических многоочаговых ЧС на железнодорожном транспорте — условии неопределенности: эффективность используемых ресурсов по отношению к конечному результату, скорость, направление развития ЧС, характер последствий от ошибочности управленческих решении. В этих условиях важное значение приобретают задачи планирования темпов расходования ресурсов.

Рассмотрим отдельные этапы взаимодействия ЖТСЧС с ФП ОАО «РЖД».

Например, над ликвидацией ЧС трудятся n ФП ОАО «РЖД», которые выполняют n объемов работ $\{V_1, V_2,..., V_n\}$ с соответствующими темпами. При этом для работы ФП компании планируется использовать m видов ресурсов $\{R_1^0, R_2^0,..., R_m^0\}$, которые поставляются тоже с соответствующими темпами. Рассмотрим для ЖТСЧС возможность создания системы оперативной поддержки темпов выполнения работ ФП ОАО «РЖД» за счет корректировки темпов расхода ресурсов, что весьма актуально для координации действий ФП на уровне планирования. При этом темп расходования ресурсов определяет скорость выполняемых работ, а их эффективность — темп ликвидации ЧС.

Представим уравнение для плановых темпов выполнения работ в матрично-векторной форме

$$\dot{V}^0 = A\dot{R}^0, \qquad (1)$$

где $A = [\alpha_{ij}]$ — матрица коэффициентов плановых темпов поставки m видов ресурсов для выполнения n типов работ;
$\dot{V}^0$, $\dot{R}^0$ — матрицы плановых темпов выполнения работ и поставки ресурсов соответственно.

Деятельность ФП компании при ликвидации ЧС должна стремиться к выполнению условия (1). Кроме того, должно обеспечиваться точное поддержание темпов доставки ресурсов к ФП, т. е. справедливо обратное соотношение

$$\dot{R}^0 = A^{-1}\dot{V}^0 \qquad (2)$$

Реальный же темп выполнения работ определится как

$$\dot{V}^0 = B\dot{R}^0 \qquad (3)$$

где $B = [\beta_{ij}]_{n*m}$ — матрица коэффициентов фактических темпов выполнения работ, учитывающая эффективность используемой технологии поддержания темпов;
$\dot{V}$ — фактический темп выполнения работ.

В ЧС достаточно часто фактический темп выполнения работ ниже запланированного, т. е. $\dot{V}^0 > \dot{V}$, что объясняется рядом причин: не всегда высокая эффективность используемой технологии выполнения работ, технологического оборудования,

слабая организация работ и др. Отсюда имеет место неравенство $B < A$, т. е. для выполнения работ с запланированным темпом требуется более высокий темп поставки ресурсов.

По этой причине создаваемая система управления должна предусматривать и возможность выработки дополнительных плановых темпов поставки ресурсов $\Delta \dot{R}_{П}^{0}$, что можно, например, осуществить пропорционально неосуществленным темпам выполнения работ.

Уравнение для дополнительных плановых темпов ресурсов примет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \dot{V} &= A(\dot{R}^{0} + \Delta \dot{R}_{П}^{0}); \\ \Delta \dot{R} &= CE\dot{v}; \\ E\dot{v} &= \dot{V}^{0} - \dot{V}, \end{aligned}\right\}, \qquad (4)$$

где $C = [c_{ij}]$ — вектор располагаемых (имеющихся у штаба) объемов всех видов ресурсов.

На рис. 1 приведена структурная схема поддержания плановых темпов выполнения работ.

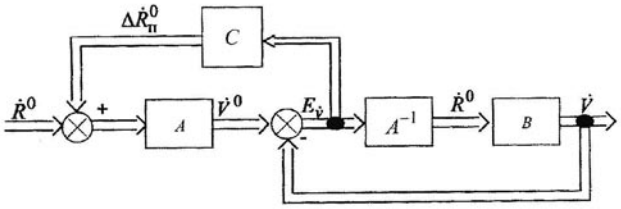


Рисунок 1 — Система поддержания плановых темпов выполнения работ по возникшему отклонению E_v

Необходимо определить матрицу коэффициентов с учетом выполнения условия (2). Обозначим передаточную функцию как $\Phi(S) = \dfrac{\dot{V}}{\dot{V}^{0}}$ и приравняем ее к матрице A, тем самым получив выражение для матрицы C,

$$C = A^{-1}, \qquad (5)$$

откуда

$$V = AR^{0} = V^{0}. \qquad (6)$$

Проанализируем приведенные зависимости. Видно, что имеет место пропорциональное отставание фактических темпов $\dot{V}(t)$ от плановых $\dot{V}^{0}(t)$. При этом запрос ФП компании, равный отставанию, центр управления удовлетворяет полностью.

Поэтому необходимо разработать систему поддержания плановых темпов, основанную на гибридном принципе (рис. 2).

Определим матрицу числовых коэффициентов для этих структур из условия обеспечения равенства (4).

Для системы (случай а) матрица будет равна

$$C = [A–B]^{-1}[I+(BA^{-1})^{2}]. \qquad (7)$$

Для системы (случай б) примет вид

$$C = A^{-1}[I+(BA^{-1})^{2}]. \qquad (8)$$

При полученных значениях матрицы C в том и другом случае обеспечивается поддержание требуемых темпов выполнения работ ($V = A\dot{R}^{0}$).

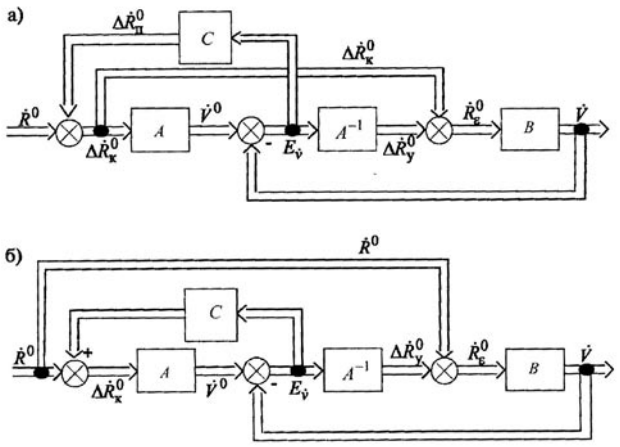


Рисунок 2 — Системы поддержания плановых темпов, построенные по гибридному принципу

Приведем динамическую модель системы поддержания плановых темпов, учитывающую динамику выполнения работ, транспортировку ресурсов и осуществления заказов на ресурсы (рис. 3).

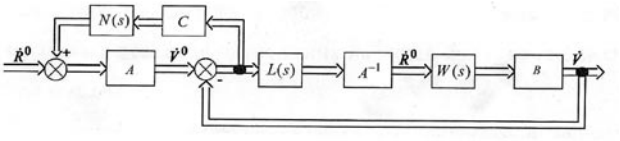


Рисунок 3 — Динамическая модель системы поддержания плановых темпов

Основными элементами системы являются матричная передаточная функция (МПФ) выполнения работ ФП — $W(s)$ с темпом $\dot{V}(t)$ при темпе переработки ресурсов $\dot{R}^{0}(t)$; $L(s)$ — МПФ транспортировки ресурсов к месту ликвидации ЧС; $N(s)$ — МПФ поступления запросов на корректировку плановых темпов доставки ресурсов с учетом фактического темпа их расходования.

Технические требования к динамическим параметрам МПФ $W(s), L(s), N(s)$ можно свести к согласованию плановых и фактических темпов расхода ресурсов из условия обеспечения устойчивого функционирования системы в целом (матрицы A и B).

Работоспособность данной модели можно рассмотреть на примере взаимодействия ЖТСЧС и деятельности ФП ОАО «РЖД» по поддержанию темпа работ V при темпе расхода ресурса $\dot{R}^{0}$. Принципиальная схема этой системы представлена на рис. 4.

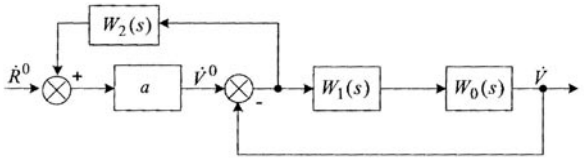


Рисунок 4 — Динамическая модель деятельности ФП

Здесь $W_0(s)=\frac{b}{T_0 s+1}$; $W_1(s)=\frac{k_1}{T_1 s+1}$; $W_2(s)=\frac{k_2}{T_2 s+1}$; $k_1=k_2=\frac{1}{a}$.

Характеристическая функция для системы будет равна

$$D(s)=1+W_1(s)W_0(s)-aW_2(s).$$

Учитывая значения передаточных функций и равенство $ak_2 = 1$, характеристическое уравнение системы будет иметь вид

$$T_1T_0T_2s^3+(T_1+T_0)T_2s^2+T_2(1+k_1b)s+k_1b=0. \quad (9)$$

Воспользуемся условием устойчивости по Гурвицу [4] и запишем уравнение как

$$T_2^2(T_1+T_0)(1+k_1b)>k_1bT_1T_0T_2.$$

Отсюда получим следующее неравенство:

$$T_2\left(\frac{1}{T_0}+\frac{1}{T_1}\right)>\frac{b}{a+b}, \quad (10)$$

определяющее условия согласования динамических параметров с темпами реализации ресурсов. В пределе при $b = a$ получим

$$\frac{1}{T_0}+\frac{1}{T_1}>\frac{0{,}5}{T_2}.$$

При автономном действии ФП ОАО «РЖД» запрос ресурсов и поддержание необходимых темпов выполнения работ по ликвидации ЧС производится обособленно (компактно), и матрицы A, B, C будут диагональными.

В случае взаимосвязанного распределения темпов и ресурсов для ликвидации ЧС ФП компании задача ЖТСЧС усложняется. Рассмотрим данную проблему на примере планирования для двух ФП ОАО «РЖД» (рис. 5).

Заметим, что формирование скорректированных плановых темпов возможно по двум запросам, пропорциональным отклонениям фактических темпов от плановых для двух ФП компании. Соответственно и распределение плановых скорректированных темпов также идет на два ФП.

В случае выполнения для коэффициентов a_{ij} и c_{ij} условия (10) ФП компании будут функционировать в «коллективе» так же, как они функционировали автономно.

Однако при нарушении в симметрии планирования (балансе ресурсов) одно из ФП компании будет недополучать ресурсы, а другое получать больше и, следовательно, будет поддерживать большие темпы выполнения работ. Таким способом можно осуществлять регулирование темпов выполнения работ различными подразделениями ОАО «РЖД» на уровне планирования.

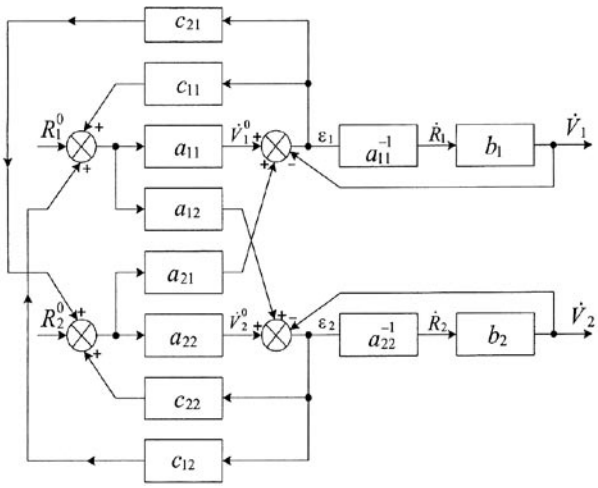


Рисунок 5 — Схема формирования плановых темпов для двух функциональных подразделений

Безусловно, занижение темпа расходования ресурсов, нерациональная организация выполнения работ могут способствовать существенному замедлению процесса ликвидации ЧС на железнодорожном транспорте.

Предложенная модель взаимодействия ЖТСЧС с ФП ОАО «РЖД» позволит:

- оптимизировать темпы процесса восстановления функционирования железнодорожного транспорта в условиях чрезвычайных ситуаций;
- более четко скоординировать действия и ресурсы ФП, участвующих в ликвидации ЧС;
- создать эффективную систему оперативного поддержания темпов выполнения восстановительных работ при ликвидации ЧС;
- способствовать минимизации материального и экологического ущерба компании от проявления различного рода ЧС.

Кроме того, для обеспечения комплексной безопасности и устойчивости объектов ОАО «РЖД» крайне важен своевременный оперативный мониторинг создания и развития потенциально возможных ЧС.

Литература

1. Пономарев В.М. Повышение безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях : монография. М. : МИИТ, 2011. 174 с.

2. Рубцов Б.Н. Общий курс безопасности в чрезвычайных ситуациях. М. : МИИТ, 2009. 166 с.

3. Пономарев В.М., Шевченко А.И. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. 2005. № 2. С. 40 — 46.

4. Четаев Н.Г. Устойчивость движения. М. : Наука, 1965. 234 с.

References

1. Ponomarev V.M. Improving safety and stability of railway transport functioning in emergencies. Monografija. M.: MIIT, 2011. 174 s.

2. Ponomarev V.M., Shevchenko A.I. Prevention and elimination of emergencies on railway transport // Nauka i tehnika transporta. 2005. № 2. S. 40 - 46

3. Rubtsov B.N. General course of safety in emergencies. M.: MIIT, 2009. 166 s.

4. Chetaev N.G. Traffic stability. Moskva: Nauka, 1965. 234 s.

УДК 531:518

Сергей Алексеевич Румянцев, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Механика деформируемого твердого тела, основания и фундаменты» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)
Евгений Борисович Азаров, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)
Ольга Николаевна Алексеева, аспирант кафедры «Механика деформируемого твердого тела, основания и фундаменты» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ДВУХМАССНАЯ ВИБРОТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ МАШИНА — АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ»

Sergey A. Rumyantsev, DSc, head of the department 'Mechanics of Deformable Rigid Body and Foundations' of the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg).
Evgeny B. Azarov, PhD, associate professor of 'Electrical machines' department of the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg).
Olga N. Alekseeva, post-graduate student of the department 'Mechanics of Deformable Rigid Body and Foundations' of the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg)

Mathematical Model Of Electromechanical Model 'Two-Mass Vibrotransporting Machine — Asynchronous Motors'

Аннотация

Статья посвящена исследованию динамики нового, перспективного типа вибротранспортирующих машин — двухмассных с двумя независимо вращающимися вибровозбудителями на нижней массе (в работе таких машин активно используется явление самосинхронизации). Полученная ранее авторами система дифференциальных уравнений, описывающая динамику подобных машин, дополнена дифференциальными уравнениями, описывающими электромагнитную динамику асинхронных приводных электродвигателей.

Получившаяся гибридная система дифференциальных уравнений позволяет одновременно описывать взаимодействие машины и приводных электродвигателей как единой электромеханической системы. Это дает возможность определить не только влияние двигателей на движение машины, но и влияние движений машины на динамику асинхронных электродвигателей. Кроме того, такой подход позволяет легко найти величину тока, текущего через обмотки двигателя, в любой момент времени.

Ключевые слова: динамика, вибротранспортирующие машины, математическая модель, дифференциальные уравнения, асинхронные электродвигатели.

Annotation

The article is devoted to the research of dynamics of new perspective type of vibrotransporting machines – two-mass machines with two separately rotating vibroexciters on low mass (in these machines' functioning such event as self-synchronization is actively used). The system of differential equations, which describes dynamics of such machines and which was got by the authors earlier, was added by differential equations, describing electro-magnetic dynamics of asynchronous driving motors.

The received hybrid system of differential equations allows to simultaneously describe machines and driving motors' interaction as the unified electro-mechanical system. It helps to identify both the motors' influence on a machine's motion and the influence of machine's motions on asynchronous motors' dynamics. In addition such approach allows to easily find current magnitude, flowing through motor coil at any time point.

Key words: dynamics, vibrotransporting machines, mathematical model, differential equations, asynchronous driving motors.

e-mail: zag872007@yandex.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 18.08.11

На железнодорожном транспорте нашли широкое применение вибротранспортирующие машины (ВТМ). Они используются при строительстве железнодорожного полотна для транспортировки и разделения фракций сыпучих материалов, в частности щебня и песка, а также на перегрузочных пунктах железнодорожных станций. Кроме того, ВТМ применяются на обогатительных фабриках, в металлургической и горной промышленности. Такое широкое использование обусловлено рядом достоинств, таких как высокая производительность, малая энергоемкость процессов транспортировки и разделения фракций (грохочения), простота конструкции и высокая эксплуатационная готовность [1].

В работах [2 — 6] описана математическая модель и приведены результаты численного моделирования динамики двухмассных вибротранспортирующих машин (ДВТМ) двух типов — с расположением вибровозбудителей (ВВ) на верхней и нижней массе.

Расчетная схема ДВТМ в случае n дебалансных вибровозбудителей приведена на рис. 1 (показан только один ВВ, обозначенный индексом i). Движение рассматривается в абсолютной системе координат Oxy, связанной с фундаментом машины. Ось Oy вертикальна (параллельна силе тяжести), ось Ox горизонтальна.

В работе [3] получена система дифференциальных уравнений движения двухмассной вибротранспортирующей машины с n независимо вращающимися вибровозбудителями, установленными на нижней массе:

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{M_1}\left[-c_{11x}(x_1 - x_2) - c_{11x\theta}\theta_1 + c_{12x\theta}\theta_2 - k_{11x}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{11x\theta}\dot{\theta}_1 + k_{12x\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{M_1}\left[-c_{11y}(y_1 - y_2) + c_{11y\theta}\theta_1 - c_{12y\theta}\theta_2 - k_{11y}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + k_{11y\theta}\dot{\theta}_1 - k_{12y\theta}\dot{\theta}_2 - F_{\text{уд}}\right];$$

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{1}{J_1}\left[-c_{11x\theta}(x_1 - x_2) - c_{11y\theta}(y_2 - y_1) - c_{11\theta}\theta_1 + c_{12\theta}\theta_2 - \right.$$
$$\left. - k_{11x\theta}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{11y\theta}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_{11\theta}\dot{\theta}_1 + k_{12\theta}\dot{\theta}_2 + F_{\text{уд}}l_{\text{уд}}\right]; \qquad (1)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{M_2}\left[\sum m_i\varepsilon_i\left(\ddot{\varphi}_i\sin\varphi_i + \dot{\varphi}_i^2\cos\varphi_i\right) - c_{22x}x_2 + c_{11x}x_1 + c_{11x\theta}\theta_1 - c_{22x\theta}\theta_2 - \right.$$
$$\left. - k_{22x}\dot{x}_2 + k_{11x}\dot{x}_1 + k_{11x\theta}\dot{\theta}_1 - k_{22x\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{y}_2 = \frac{1}{M_2}\left[\sum m_i\varepsilon_i\left(\dot{\varphi}_i^2\sin\varphi_i - \ddot{\varphi}_i\cos\varphi_i\right) - c_{22y}y_2 + c_{11y}y_1 - c_{11y\theta}\theta_1 + c_{22y\theta}\theta_2 - \right.$$
$$\left. - k_{22y}\dot{y}_2 + k_{11y}\dot{y}_1 - k_{11y\theta}\dot{\theta}_1 + k_{22y\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{1}{J_2}\left[\sum m_i\varepsilon_i r_i\left(\dot{\varphi}_i^2\sin(\varphi_i - \alpha_i) - \ddot{\varphi}_i\cos(\varphi_i - \alpha_i)\right) - c_{22x\theta}x_2 + c_{12x\theta}x_1 + c_{22y\theta}y_2 - \right.$$
$$\left. - c_{12y\theta}y_1 + c_{12\theta}\theta_1 - c_{22\theta}\theta_2 - k_{22x\theta}\dot{x}_2 + k_{12x\theta}\dot{x}_1 + k_{22y\theta}\dot{y}_2 - k_{12y\theta}\dot{y}_1 + k_{12\theta}\dot{\theta}_1 - k_{22\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{\varphi}_i = \frac{1}{J_i^*}m_i\varepsilon_i\left[\ddot{x}_2\sin\varphi_i - \ddot{y}_2\cos\varphi_i - g\cos\varphi_i - \ddot{\theta}_2 r_i\cos(\varphi_i - \alpha_i) - \dot{\theta}_2^2 r_i\sin(\varphi_i - \alpha_i)\right] +$$
$$+ \frac{I_i}{J_i^*}\left[L_i(\dot{\varphi}_i) - R_i(\dot{\varphi}_i, \varphi_i)\right], \quad (i = 1\ldots n).$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$M_2 = M_2^* + \sum_{i=1}^{n} m_i;$$
$$J_1 = M_1\left(a_1^2 + b_1^2\right) + J_{C1};$$
$$J_2 = M_2^*\left(a_2^2 + b_2^2\right) + J_{C2} + \sum m_i r_i^2; \qquad (2)$$
$$J_i^* = J_{Ci} + \sum_{i=1}^{n} m_i\varepsilon_i^2,$$

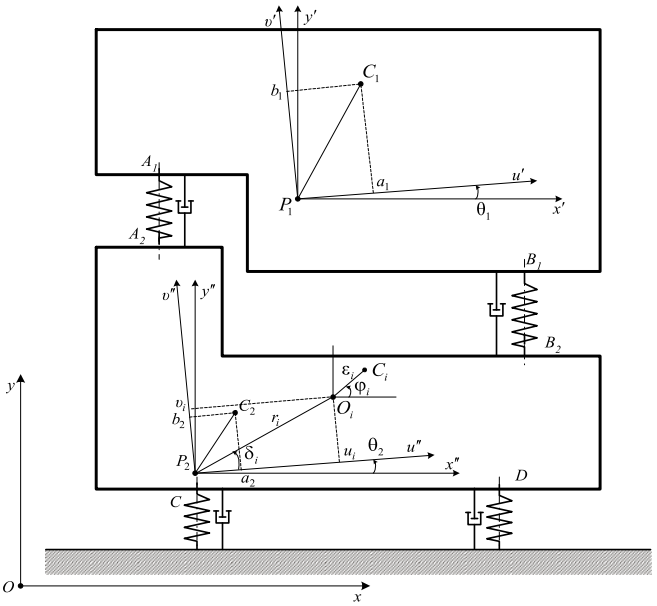


Рисунок 1 — Расчетная схема двухмассной ВТМ с вибровозбудителями на нижней массе

где M_1 — масса верхнего тела ДВТМ;
M_2^* — масса нижнего тела;
J_{C1}, J_{C2} — их моменты инерции относительно осей, проходящих через центры масс каждого из тел перпендикулярно плоскости Oxy;
m_i и J_{Ci} — масса i-го дебаланса и центральный момент инерции его ротора соответственно;

$$\alpha_i = \delta_i + \theta_2;$$

n — количество дебалансных вибровозбудителей, где $l_{\text{уд}} = x_{C1} - x_{\text{уд}}$ — плечо силы $F_{\text{уд}}$ относительно центра масс;
c — коэффициенты упругости пружин;
k — коэффициенты вязкости;
величина I_i, входящая в выражение (1), — индекс направления вращения и принимает значение +1, если вращение i-го двигателя происходит в положительном направлении (против хода часовой стрелки), и значение −1, если вращение происходит в обратном направлении;
вращательный момент $L_i(\dot{\varphi}_i)$ и момент сил сопротивления $R_i(\dot{\varphi}_i)$ считаются функциями угловой скорости;
x_1 и x_2 — горизонтальные колебания центра масс РО и ДТ;
y_1 и y_2 — вертикальные колебания центра масс РО и ДТ;
θ_1 и θ_2 — углы поворота РО и ДТ по отношению к неподвижной оси Ox;
φ_i — углы поворота центров масс дебалансов по отношению к неподвижной оси Ox.

Все углы отсчитываются против хода часовой стрелки.

Особенностью системы (1) является то, что она автономна, т. е. в нее не входит явным образом время. Вращательные моменты на осях ВВ задаются явными функциями угловой скорости. Такой подход уменьшает количество переменных и дифференциальных уравнений, но динамика машины описывается в этом случае несколько односторон-

не. Учитывается влияние приводных электродвигателей на вибромашину, но не учитывается влияние машины на электродвигатели.

Этого недостатка лишены математические модели, рассматривающие ВТМ и приводные электродвигатели как единую электромеханическую систему. В работах [7, 8] система дифференциальных уравнений движения ВТМ с произвольным количеством вибровозбудителей расширена дифференциальными уравнениями электромагнитной динамики в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором с произвольным количеством пар полюсов. Аналогичный подход можно применить и для описания совместной динамики ДВТМ с ВВ на нижней массе и приводных электродвигателей.

Система дифференциальных уравнений, описывающих эту совместную динамику, примет в случае n независимо вращающихся вибровозбудителей следующий вид:

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{M_1}\left[-c_{11x}(x_1 - x_2) - c_{11x\theta}\theta_1 + c_{12x\theta}\theta_2 - k_{11x}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{11x\theta}\dot{\theta}_1 + k_{12x\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{M_1}\left[-c_{11y}(y_1 - y_2) + c_{11y\theta}\theta_1 - c_{12y\theta}\theta_2 - k_{11y}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + k_{11y\theta}\dot{\theta}_1 - k_{12y\theta}\dot{\theta}_2 - F_{уд}\right];$$

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{1}{J_1}\left[-c_{11x\theta}(x_1 - x_2) - c_{11y\theta}(y_2 - y_1) - c_{11\theta}\theta_1 + c_{12\theta}\theta_2 - \right.$$
$$\left. - k_{11x\theta}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{11y\theta}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_{11\theta}\dot{\theta}_1 + k_{12\theta}\dot{\theta}_2 + F_{уд}l_{уд}\right]; \quad (3)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{M_2}\left[\sum m_i\varepsilon_i\left(\ddot{\varphi}_i\sin\varphi_i + \dot{\varphi}_i^2\cos\varphi_i\right) - c_{22x}x_2 + c_{11x}x_1 + c_{11x\theta}\theta_1 - c_{22x\theta}\theta_2 - \right.$$
$$\left. - k_{22x}\dot{x}_2 + k_{11x}\dot{x}_1 + k_{11x\theta}\dot{\theta}_1 - k_{22x\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{y}_2 = \frac{1}{M_2}\left[\sum m_i\varepsilon_i\left(\dot{\varphi}_i^2\sin\varphi_i - \ddot{\varphi}_i\cos\varphi_i\right) - c_{22y}y_2 + c_{11y}y_1 - c_{11y\theta}\theta_1 + c_{22y\theta}\theta_2 - \right.$$
$$\left. - k_{22y}\dot{y}_2 + k_{11y}\dot{y}_1 - k_{11y\theta}\dot{\theta}_1 + k_{22y\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{1}{J_2}\left[\sum m_i\varepsilon_i r_i\left(\dot{\varphi}_i^2\sin(\varphi_i - \alpha_i) - \ddot{\varphi}_i\cos(\varphi_i - \alpha_i)\right) - c_{22x\theta}x_2 + c_{12x\theta}x_1 + c_{22y\theta}y_2 - \right.$$
$$\left. - c_{12y\theta}y_1 + c_{12\theta}\theta_1 - c_{22\theta}\theta_2 - k_{22x\theta}\dot{x}_2 + k_{12x\theta}\dot{x}_1 + k_{22y\theta}\dot{y}_2 - k_{12y\theta}\dot{y}_1 + k_{12\theta}\dot{\theta}_1 - k_{22\theta}\dot{\theta}_2\right];$$

$$\ddot{\varphi}_i = \frac{1}{J_i^*}m_i\varepsilon_i\left[\ddot{x}_2\sin\varphi_i - \ddot{y}_2\cos\varphi_i - g\cos\varphi_i - \ddot{\theta}_2 r_i\cos(\varphi_i - \alpha_i) - \dot{\theta}_2^2 r_i\sin(\varphi_i - \alpha_i)\right] +$$
$$+ \frac{I_i}{J_i^*}\left[A_i(\psi_{i2}\psi_{i3} - \psi_{i1}\psi_{i4}) - R_i(\dot{\varphi}_i, \varphi_i)\right], \quad (i = 1\ldots n).$$

$$\dot{\psi}_{i1} = U_m\cos(\omega_c t + \alpha) - K_{i1}\psi_{i1} + K_{i2}\psi_{i3};$$

$$\dot{\psi}_{i2} = U_m\cos(\omega_c t + \alpha) - K_{i1}\psi_{i2} + K_{i2}\psi_{i4};$$

$$\dot{\psi}_{i3} = -K_{i3}\psi_{i3} + K_{i4}\psi_{i1} - p_i\dot{\varphi}_i\psi_{i4};$$

$$\dot{\psi}_{i4} = -K_{i3}\psi_{i4} + K_{i4}\psi_{i2} - p_i\dot{\varphi}_i\psi_{i3};$$

$$(i = 1,\ldots,n).$$

Здесь ψ_{i1}, ψ_{i2}, ψ_{i3}, ψ_{i4} — потокосцепления [9, 10] i-го электродвигателя.

Для описания динамики асинхронных двигателей с симметричными обмотками была использована предложенная в работах [9, 10] система ортогональных координат α, β, неподвижных относительно статора, и, для того чтобы не вводить тройную индексацию потокосцеплений, применены следующие обозначения:

$$s\alpha = 1;\ s\beta = 2;\ r\alpha = 3;\ r\beta = 4.$$

Таким образом, Ψ_{i1}, Ψ_{i2} — полные потокосцепления обмоток статора по осям α, β; Ψ_{i3}, Ψ_{i4} — полные потокосцепления обмоток ротора по осям α, β.

Остальные величины, входящие в систему (3), имеют следующий смысл: t — время; U_m — амплитудное значение напряжения сети; $\omega_c = 2\pi f$ — угловая частота напряжения сети; f — частота питающей сети; α — начальная фаза сети; p_i — число пар полюсов i-го двигателя; A_i, K_{i1}, K_{i2}, K_{i3}, K_{i4} — коэффициенты, учитывающие индуктивности статора и ротора:

$$A_i = \frac{3p_iM_i}{2\left(L_{is}L_{ir} - M_i^2\right)}; \quad (4)$$

$$K_{i1} = \frac{r_{is}L_{ir}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};\ K_{i2} = \frac{r_{is}M_i}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};$$
$$K_{i3} = \frac{r_{ir}L_{is}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};\ K_{i4} = \frac{r_{ir}M_i}{L_{is}L_{ir} - M_i^2}, \quad (5)$$

где r_{is}, r_{ir} — активные сопротивления фаз статора и ротора i-го двигателя;
M_i, L_{is}, L_{ir} — взаимная и полные индуктивности обмоток статора и ротора i-го двигателя.

Взаимная индуктивность i-го двигателя M_i связана с индуктивным сопротивлением взаимоиндукции X_{12} в схеме замещения

$$M_i = \frac{X_{12}}{\omega_c}. \quad (6)$$

Полные индуктивности фаз обмоток статора и ротора определяются суммой потокосцеплений с рабочим потоком и потоком рассеяния:

$$L_{is} = \frac{X_{12} + X_1}{\omega_c};\ L_{ir} = \frac{X_{12} + X_2}{\omega_c}, \quad (7)$$

где X_1, X_2 — индуктивные сопротивления рассеяния из схемы замещения асинхронного двигателя;
ω_c — угловая частота напряжения сети.

В отличие от системы (1) в систему (3) явно входит время. В общем случае система (3) будет содержать $6 + 5n$ дифференциальных уравнений. Первые три уравнения системы описывают движение верхней массы — рабочего органа машины, вторые три — движение нижней массы машины, на которой установлены вибровозбудители, следующие n уравнений описывают вращение i-го ВВ ($i = 1,\ldots,n$), а последние $4n$ уравнений описывают электромагнитные процессы в i-м асинхронном электродвигателе. В наиболее применяемом частном случае, при использовании на ДМВТ двух ВВ, система будет состоять из 16 дифференциальных уравнений.

Система (3) позволяет описывать не только влияние двигателей на машину, но и влияние машины на двигатели. Кроме того, зная величины Ψ_{i1}, Ψ_{i2}, Ψ_{i3}, Ψ_{i4}, легко найти величину тока, текущего через обмотки статора, в любой момент времени по формулам:

$$i_{i1} = \frac{L_{ir}\psi_{i1} - M\psi_{i3}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};\ i_{i2} = \frac{L_{ir}\psi_{i2} - M\psi_{i4}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};$$

$$i_{i3} = \frac{L_{is}\psi_{i3} - M\psi_{i1}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};\ \ i_{i4} = \frac{L_{is}\psi_{i4} - M\psi_{i2}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2},$$

где i_{i1}, i_{i2} — токи статора по осям α, β;
i_{i3}, i_{i4} — токи ротора по осям α, β.

В работе [7] показано, что реальный фазный ток одной из фаз статора трехфазного двигателя равен току i_{i1}.

Таким образом, полученная система дифференциальных уравнений позволяет описывать совместную динамику двухмассной вибротранспортирующей машины и приводных асинхронных электрических двигателей как единой электромеханической системы.

Литература

1. Вибрации в технике : справочник. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / под ред. Э.Э. Лавендела. М. : Машиностроение, 1981. 509 с.

2. Васильева Г.В., Румянцев С.А. Математическое моделирование нестационарной динамики двухмассной вибротранспортирующей машины // Транспорт Урала. 2006. № 4 (11). С. 29 — 32.

3. Васильева Г.В., Румянцев С.А. Математическая модель двухмассной вибрационной машины // Изв. вузов. Горный журнал. 2007. № 4. С. 73 — 79.

4. Васильева Г.В., Румянцев С.А. Математическая модель динамики двухмассной вибротранспортирующей машины с вибровозбудителями на нижней массе // Транспорт Урала. 2008. № 1 (16). С. 33 — 35.

5. Румянцев С.А., Васильева Г.В., Алексеева О.Н. Численное моделирование динамики двухмассных вибротранспортирующих машин с расположением вибровозбудителей на нижней массе // Вестник УрГУПС. 2009. № 3 — 4. С. 87 — 91.

6. Румянцев С.А., Алексеева О.Н. Динамика двухмассных вибротранспортирующих машин с самосинхронизирующимися вибровозбудителями на нижней массе // Вестник УрГУПС. 2010. № 4.

7. Румянцев С.А., Азаров Е.Б. Математическая модель нестационарной динамики системы «вибромашина — электропривод» в случае привода от асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором // Транспорт Урала. 2005. № 1. С. 2 — 7.

8. Румянцев С.А., Азаров Е.Б. Исследование нестационарной динамики вибротранспортирующих машин с помощью математической модели // Транспорт Урала. 2005. № 4. С. 45 — 50.

9. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. М. : Энергия, 1980. 928 с.

10. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М. : Высш. школа, 1987. 248 с.

References

1. Vibrations in machinery: Reference book. V 6-ti t. T. 4. Vibratsionnye protsessy i mashiny / Pod red. Je.Je. Lavendela. M.: Mashinostroenie, 1981. 509 s.

2. Vasil'eva G.V., Rumjantsev S.A. Mathematical modeling of nonstationary dynamics of a two-mass vibrotransporting machine // Transport Urala. 2006. №4 (11). S. 29 – 32. ISSN 1815–9400.

3. Vasileva G.V., Rumjantsev S.A. Mathematical model of a two-mass vibration machine // Izv. VUZov. Gornyj zhurnal. 2007. № 4. S. 73 – 79. ISSN 0536–1028.

4. Vasileva G.V., Rumjantsev S.A. Mathematical model of dynamics of a two-mass vibrotransporting machine with vibroexciters on low mass // Transport Urala. 2008. № 1 (16). S. 33 – 35. ISSN 1815–9400.

5. Rumjantsev S.A., Vasileva G.V., Alekseeva O.N. Numerical simultion of dynamics of two-mass vibrotransporting machines with vibroexciters on low mass // Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobwenija. 2009. № 3 – 4. S. 87 – 91. ISSN 2079–0392.

6. Rumjantsev S.A., Alekseeva O.N. Dynamics of two-mass vibrotransporting machines with self-synchronizing vibroexciters on low mass // Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobwenija. 2010. № 4. ISSN 2079–0392.

7. Rumjantsev S.A., Azarov E.B. Mathematical model of nonstationary dynamics of 'vibration machine – driving motor' in the case of drive from asynchronous motors with short-circuited rotor // Transport Urala. 2005. № 1. S. 2 – 7.

8. Rumjantsev S.A., Azarov E.B. Research of non-stationary dynamics of vibrotransporting machines with the help of a mathematical model // Transport Urala. 2005. № 4. S. 45 – 50.

9. Ivanov-Smolenskij A.V. Electrical machines M.: Energija, 1980. 928 s.

10. Kopylov I.P. Mathematical simulation of electrical machines. M.: Vyssh. shkola, 1987. 248 s.

УДК 656.259.12

Валерий Александрович Сисин, аспирант кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ОПТИМИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Valery Alexandrovich Sisin, a postgraduate student of the chair "Electrical Machinery" The Ural State University of Railway Transport (USURT)

Optimization Of Automated Grade Crossing Signaling Devices

Аннотация

Рассмотрено математическое описание работы рельсовой цепи автоматической переездной сигнализации с решающим устройством на питающем конце. Данная рельсовая цепь используется в качестве линии передачи электроэнергии на релейный конец и как канал телемеханической связи между питающим и релейным концами. При этом наиболее информативным признаком занятия участка приближения поездом является изменение фазы входного тока, нежели его амплитуды. Также предложенный метод способен устранить проблемы, связанные с нежелательным простоем автотранспорта при несвоевременном закрытии переезда, когда скорость проследования поезда по участку приближения меньше максимально рассчитанной.

Ключевые слова: рельсовая цепь, рельсовая линия, автоматическая переездная сигнализация, железнодорожный переезд.

Annotation

Currently used automatic railway-crossing equipment could not always be applicable to low-density railroads because of considerable financial expenses necessary for the implementation. The work considers mathematical description of circuit track operation of automated grade crossing signaling with a decision device at the feeding end. This rail-tracked line is used to transport electric power to a relay-controlled end. It is also used as the line for remote-control connection between the feeding and relay-controlled ends. Herewith, the more informational characteristic of the occupation of an approach section by a train is the change of an input current phase rather than its amplitude. The suggested method is also applicable for eliminating problems connected with the unwelcome idle time of transport at the delayed closing of the crossing when the speed of a train passing through the approach section is less than the maximum which has been calculated.

Key words: track circuit, rail-tracked line, automated grade crossing signaling system, grade crossing.

Известно, что пересечение железнодорожного полотна с автомобильными дорогами в одном уровне — это зона повышенной опасности. Даже переезд, оборудованный соответствующими средствами автоматики, представляет собой риски для безопасного движения поездов. Вместе с тем введение на переездах известных средств автоматики требует определенных финансовых затрат. В наибольшей степени значимость этих затрат относится к малодеятельным участкам железных дорог, которые, в частности, не оборудованы перегонными системами автоматической блокировки. Поэтому представляет интерес рассмотрение технических решений, обеспечивающих функционирование систем автоматической переездной сигнализации (АПС) при минимальных финансовых затратах.

Столкновения, происходящие с участием автомобильного и железнодорожного транспорта, несут большие экономические потери. К примеру, в 2010 г. полный перерыв в движении поездов на сети дорог ОАО «РЖД», требуемый для ликвидации последствий аварий на переездах, составил более 199 ч, повреждено 143 единицы подвижного состава, компании причинен материальный ущерб в размере более 24,9 млн руб. Недопустимым последствием, возникающим в таких ситуациях, является причиняемый вред жизни или здоровью человека. Так, за прошлый год на железнодорожных переездах России особо тяжелыми были 77 столкновений автотранспорта с пассажирскими и пригородными поездами, а также 7 дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием автобусов, при которых была поставлена под угрозу жизнь и здоровье многих пассажиров (рис. 1). Приведенные данные соответствуют переездам различного типа, значительная их часть — это переезды малодеятельных участков железных дорог, не оборудованные перегонными системами автоматической блокировки. Для этих переездов весьма критично наличие или отсутствие надежного электроснабжения, которое требуется не только для работы непосредственно переездной сигнализации, но и для функционирования рельсовых цепей (РЦ) участков приближения. Поэтому актуальной является разработка устройств АПС универсального типа, обладающих к тому же минимальными капитальными вложениями и эксплуатационными расходами и пригодными для применения и на станциях, и на перегонах.

Известны два основных типа устройств АПС. Первый строится на применении РЦ, где в начале участка приближения поезда к переезду расположен релейный конец РЦ, а у переезда — питающий [1]. У второго типа АПС для контроля приближения по-

e-mail: fe_x@lenta.ru

Дата поступления рукописи в издательство: 11.07.11

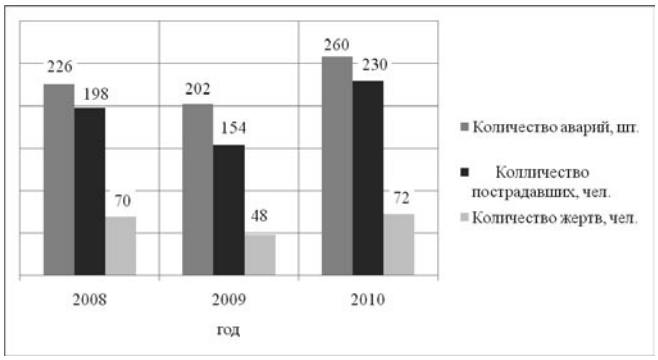


Рисунок 1 — Статистика ДТП и их последствий на железнодорожных переездах России

езда используются устройства счета осей. Как в первом, так и во втором случае для функционирования АПС в начале участка приближения нужен источник электроснабжения, что обычно реализуется при помощи высоковольтно-сигнальной линии автоблокировки напряжением 10 кВ. Если участок оборудован автоблокировкой, то такая линия присутствует, а ближайший блок-участок выполняет функции участка приближения. Если автоблокировки нет, эта линия может отсутствовать, тогда для работы АПС требуется ее строительство, введение соответствующей силовой аппаратуры и их последующая эксплуатация.

Кроме того, в известных системах АПС [2] при необходимости определить скорость и ускорение поезда, приближающегося к переезду, требуется канал передачи информации от начала участка приближения до устройств переезда. Это реализуется при помощи проводных линий на той же высоковольтно-сигнальной линии.

Изложенное свидетельствует о необходимости поиска технических решений, в которых отсутствует проводная линия обеспечения электроснабжением аппаратуры начала участка приближения АПС и передачи требуемой информации на локальную аппаратуру переезда.

Вариант подобной АПС представлен на рис. 2, а ее функционирование иллюстрируется временными диаграммами рис. 3.

Схема работает следующим образом (см. рис. 2). На питающем конце РЦ, который располагается в непосредственной близости от переездных устройств АПС, от источника 2 поступает электрический сигнал переменного тока. В отсутствие поезда на участке приближения сигнал передается на вход выпрямителя 6 релейного конца, который обеспечивает заряд конденсатора. Накопитель энергии 7 служит источником питания генератора импульсов. Выходные импульсы генератора управляют замыканием или размыканием ключа, обладающего малым сопротивлением во включенном состоянии, вследствие чего при свободном участке приближения происходит периодическое шунтирование релейного конца РЦ. Мощность, поступающая на аппаратуру релейного конца РЦ от источника, лежит в пределах нескольких сотен мВт. Поскольку современные средства микроэлектроники позволяют реализовать схему генератора импульсов с потребляемой мощностью не более 5 — 15 мВт, а в качестве ключа 9 возможно применение твердотельного реле на МОП-транзисторах, мощность для управления которым пренебрежимо мала, то для функционирования рассматриваемой аппаратуры релейного конца вполне достаточно энергии, поступающей на релейный конец РЦ. Так как коммутация релейного конца обусловливает импульсные изменения тока, потребляемого РЦ, то эти изменения через датчик тока 3 поступают на вход анализатора 4 импульсов тока РЦ. К выходу анализатора подключен динамический элемент, который реализуется на известных схемотехнических решениях [3]. Выходной сигнал элемента 5, соответствующий

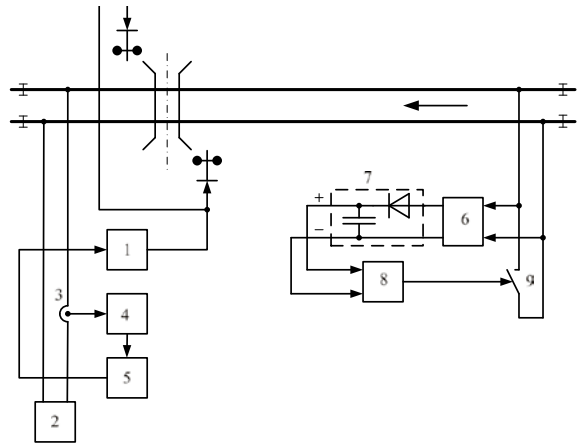


Рисунок 2 — Функциональная схема АПС:
1 — устройство управления переездной сигнализацией; 2 — генератор тока; 3 и 4 — датчик и анализатор импульсов тока РЦ; 5 — безопасный динамический элемент; 6 — источник питания; 7 — накопитель энергии; 8 — мультивибратор; 9 — электронный ключ

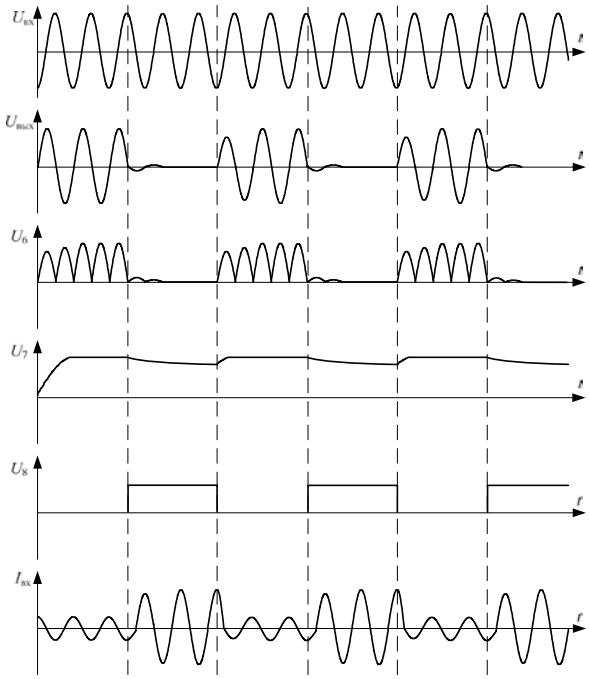


Рисунок 3 — Принцип работы переездной сигнализации с минимальным оборудованием:
$U_{вх}$ — напряжение на входе РЦ; $U_{вых}$ — напряжение на выходе РЦ; U_6 — напряжение на выходе выпрямителя 6; U_7 — напряжение на выходе пикового детектора 7; U_8 — импульсы напряжения на выходе генератора 8; $I_{вх}$ — ток на входе РЦ

требованиям безопасности, передается на управляющий вход схемы управления переездными светофорами, которая включает разрешающие показания переездных светофоров.

Таким образом, при свободной рельсовой цепи участка приближения на выходе анализатора будут присутствовать импульсы напряжения, что обусловит импульсную работу безопасного элемента и появление соответствующего разрешающего сигнала на входе схемы управления переездной сигнализацией.

При вступлении поезда на участок приближения рельсовая цепь шунтируется колесными парами подвижного состава, что определит отсутствие импульсного потребления тока от источника переменного напряжения. Это прекратит функционирование безопасного элемента и приведет к отключению разрешающего сигнала на входе схемы управления переездной сигнализацией.

Выполним анализ процессов работы схемы, представленной на рис. 2, и возможностей ее практической реализации.

Для расчета возможной длины вышеизложенной РЦ воспользуемся известными выражениями:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{вх} &= A\dot{U}_{вых} + B\dot{I}_{вых}; \\ \dot{I}_{вх} &= C\dot{U}_{вых} + D\dot{I}_{вых}, \end{aligned} \qquad (1)$$

где A, B, C, D — коэффициенты рельсового четырехполюсника определенные в [4]:

$$\begin{aligned} A &= f_A\{l, \gamma_1, \gamma_2, g_1, g_2, g_{12}, z_1, z_2, z_M\}; \\ B &= f_B\{l, \gamma_1, \gamma_2, g_1, g_2, g_{12}, z_1, z_2, z_M\}; \\ C &= f_C\{l, \gamma_1, \gamma_2, g_1, g_2, g_{12}, z_1, z_2, z_M\}; \\ D &= f_D\{l, \gamma_1, \gamma_2, g_1, g_2, g_{12}, z_1, z_2, z_M\}. \end{aligned} \qquad (2)$$

Поскольку РЦ работает в импульсном режиме, т. е. поочередно в режимах холостого хода и короткого замыкания, то выражение (1) для симметричной РЦ примет вид следующей двухзначной функции:

$$I_{вх.кз} = |I_{вх.кз}|e^{j\varphi_{вх.кз}} = \frac{U_{вх}}{Z_в}\operatorname{cth}(\gamma l); \qquad (3)$$

$$I_{вх.хх} = |I_{вх.хх}|e^{j\varphi_{вх.хх}} = \frac{U_{вх}}{Z_в}\operatorname{th}(\gamma l); \qquad (4)$$

где $Z_в = \sqrt{Z \cdot r_Б} = |Z_в|e^{j\frac{\varphi_{рц}}{2}}$ — характеристическое сопротивление рельсовой линии;

$\gamma = \sqrt{\frac{z}{r_Б}} = \alpha + j\beta$ — коэффициент распространения;

$Z = |Z|e^{j\varphi_{рц}}$ — сопротивление рельсовой петли;

$r_Б$ — сопротивление балласта;

l — длина РЦ.

Условием свободности и целостности рельсовой линии служит наличие разности сигналов входного тока (3) и (4), при этом возможно выделять как разность амплитуд, так и разность фаз:

$$\Delta I(l) = |I_{вх.кз}| - |I_{вх.хх}|; \qquad (5)$$

$$\Delta\varphi(l) = \varphi_{вх.кз} - \varphi_{вх.хх}. \qquad (6)$$

Тогда, преобразовав уравнения (3) и (4) относительно модуля, получим аналитические выражения для (5) ($|I_{вых.кз}| - \text{const}$)

$$\Delta I(l) = \frac{2|I_{вых.кз}|\cos(2\beta l)}{\sqrt{e^{2\alpha l} - e^{-2\alpha l} + 2\cos(2\beta l)}}. \qquad (7)$$

На рис. 4 показаны графики изменения $\Delta I(l)$ функции (7) для двух значений сопротивления балласта.

Хотя вследствие относительно малой частоты переменного тока питания РЦ классическая рельсовая линия не является длинной линией, но из-за малых величин сопротивления $r_Б$ относится к линиям с большими потерями [5], то закономерность изменения тока, описываемого выражением (7), носит апериодический и быстро затухающий характер со сменой знака (см. рис. 4). При этом нули функция принимает при следующих значениях:

$$l = \frac{\pi(2k+1)}{2\beta}, \quad k = 1, 2, \ldots, n \qquad (8)$$

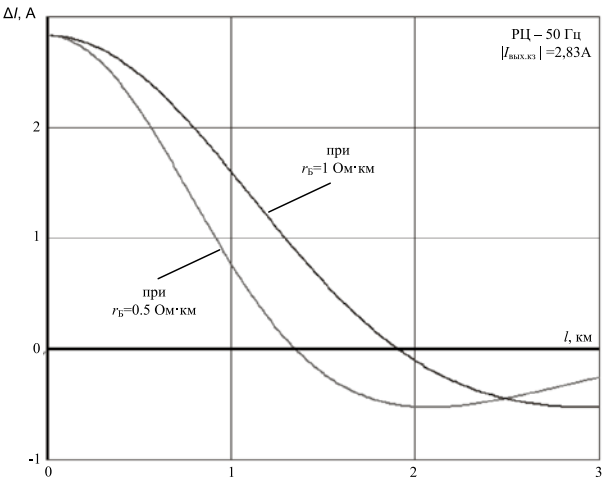


Рисунок 4 — Зависимость изменения амплитуды тока в режимах короткого замыкания и холостого хода от длины РЦ

Анализ функции (7) показывает, что отношение ΔI (при $r_Б$ = 0,5 Ом·км) к амплитуде входного тока при длине рельсовой линии менее 1,1 км относительно невелико (около 10%), что делает малопригодным применение данного метода в реальных условиях. При этом величина порога, равная 10%, выбрана как уровень минимального коэффициента модуляции сигнала, выделение которого не вызывает принципиальных технических трудностей для достоверного выделения полезной информации.

Воспользовавшись (3), (4) и (6), возможно привести вид выражения для определения дельта-сдвига фазы от длины рельсовой линии

$$\Delta\varphi(l) = -2\operatorname{arctg}\left(\frac{\sin(2\beta l)}{\operatorname{sh}(2\alpha l)}\right). \qquad (9)$$

Смена знака происходит при следующих значениях l:

$$l = \frac{\pi k}{2\beta}, \quad k = 1, 2, \ldots, n. \qquad (10)$$

На рис. 5 показаны изменения фазового сдвига сигнала функции (9) для двух значений сопротивления балласта.

Анализируя полученные результаты (7) и (9), можно сделать вывод, что при определении $\Delta\varphi$ возможная длина РЦ по

сравнению с ΔI значительно увеличивается. Так, например, при $r_Б$ = 0,5 Ом·км достигает 1,9 км.

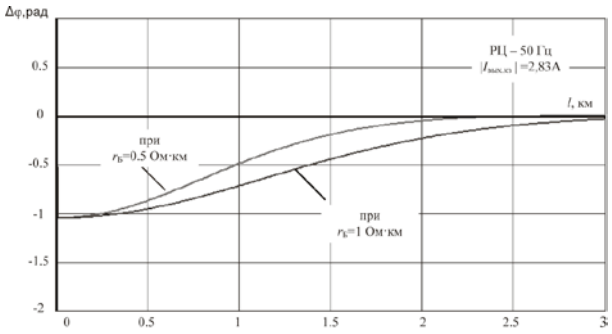


Рисунок 5 — Зависимость изменения сдвига фазы тока в режимах короткого замыкания и холостого хода от длины РЦ

Стоит отметить, что при $l = \text{const}$ можно выражение (9) представить относительно $r_Б$ как

$$\Delta\varphi(r_Б) = -2\,\text{arctg}\left(\frac{\sin\left(\frac{2|Z|}{r_Б} l \sin\left(\frac{\varphi_{рл}}{2}\right)\right)}{\text{sh}\left(\frac{2|Z|}{r_Б} l \cos\left(\frac{\varphi_{рл}}{2}\right)\right)}\right), \quad (11)$$

что дает возможность определять изменения сопротивления балласта, возникающие, например, вследствие влияния климатических условий (рис. 6).

Зная сопротивление балласта, можно определить коэффициенты затухания α и фазы β, а по ним координату вступившего на участок приближения поезда по предварительно сформированным значениям[1]:

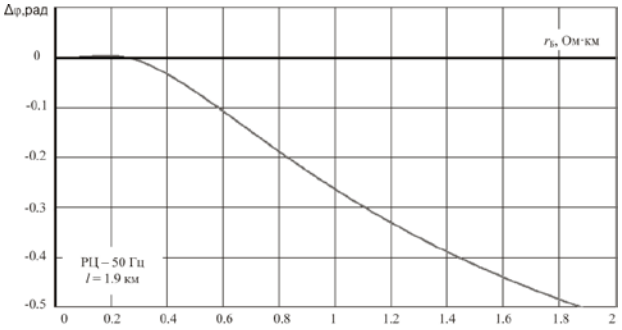


Рисунок 6 — Зависимость изменения сдвига фазы тока в режимах короткого замыкания и холостого хода от сопротивления балласта РЦ

$$\varphi_{вх.кз}(l-x) = -\,\text{arctg}\left(\frac{\sin(2\beta l - x)}{\text{sh}(2\alpha l - x)}\right). \quad (12)$$

Если имеется информация о координате нахождения поезда в любой момент времени, то можно рассчитать его скорость и ускорение, а следовательно, и время закрытия переезда.

Также, используя рассмотренную РЦ, возможно определять параметры ее контрольного режима, когда при изломе рельса нет необходимости закрывать переезд для автомобильного транспорта, т. е. $\Delta\varphi = 0$; $\varphi = \varphi_{вх.хх}$.

В связи с изложенным использование рассматриваемого устройства позволяет реализовать АПС без применения источника электроснабжения в начале участка приближения к переезду с возможностью передачи дополнительной информации на переезд по рельсовой линии. Следовательно, при этом наиболее информативным признаком является изменение фазы входного тока, нежели его амплитуды. Предложенный метод дает возможность снизить затраты на строительство устройств АПС и их эксплуатацию, а следовательно, увеличить количество переездов, оборудованных устройствами АПС.

1 $\Delta\varphi = 0$; аргумент входного тока короткого замыкания $\varphi_{вх.кз}$ растет, поскольку шунт, наложенный колесной парой подвижного состава, приближается к питающему концу РЦ.

Литература

1. Кравцов Ю.А., Нестеров В.Л., Лекута Г.Ф. и др. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики. М. : Транспорт, 1996. 400 с.

2. Тильк И.Г., Ляной В.В., Кривда М.А., Сергеев Б.С. Система управления переездной сигнализацией : заявка на изобретение № 2005120854/11. Опубл. 10.01.2007.

3. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ : РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94. СПб. : ПГУПС. 120 с.

4. Брылеев А.М., Шишляков А.В., Кравцов Ю.А. Устройство и работа рельсовых цепей. М. : Транспорт, 1966. 264 с.

5. Каллер М.Я., Соболев Ю.В., Богданов А.Г. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. М. : Транспорт, 1987. 335 с.

References

1. Tilk I.G., Lyanoy V.V., Krivda M.A., Sergeev B.S. Grade Crossing Control System. Application for the Invention. № 2005120854/11. Publ. 10.01.2007.

2. Safety of Railway Automation and Telemechanics. Methods and Principles of Accident Prevention for Microelectronic SRAT: RTM 32 TsSh 1115842.01-94. S.Pb.: PGUPS. 120 s.

3. Bryleev A.M., Shishlyakov A.V., Kravtsov Yu.A. Design and Operation of Track Circuits. M.: Transport, 1966. 264 s.

4. Kaller M.Ya., Sobolev Yu.V., Bogdanov A.G. Theory of Linear Electric Circuit of Railroad Automation, Telemechanics and Telecommunications. M.: Transport, 1987. 335 s.

5. Kravtsov Yu.A., Nesterov V.L., Lecuta G.F. and others. Systems of Railroad Automation and Telemechanics. M.: Transport, 1996. 400 s.

УДК 656.2.08

Дмитрий Викторович Ефанов, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС, Санкт-Петербург),
Павел Андреевич Плеханов, инженер, ассистент кафедры «Радиотехника» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС, Санкт-Петербург)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Dmitry V. Efanov, PhD, assistant lecturer of "Railway Signalling and Interlocking", The Petersburg State Transport University,
Pavel A. Plekhanov, engineer, assistant lecturer of "Radio engineering", The Petersburg State Transport University

Increase Of Railway Traffic Reliability And Safety At The Expense Of Technical Diagnosing Systems And Monitoring Of Railway Signalling And Interlocking Devices

Аннотация

Рассмотрены особенности работы систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики как важнейшего элемента обеспечения надежности и безопасности этих устройств. Описаны функции, реализуемые СТДМ, показано их место и роль в иерархии систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Использование СТДМ позволяет значительно повысить эффективность предотвращения отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики за счет выявления их предотказных состояний, что является определяющим фактором для снижения риска нарушений безопасности движения по вине хозяйства автоматики и телемеханики.

Ключевые слова: системы технического диагностирования и мониторинга, устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, надежность, безопасность, риск.

Annotation

In the article the peculiarities of technical diagnosing and monitoring systems of railway signalling and interlocking devices as a major element of devices' reliability and safety are considered. There are also described realized functions and there is shown their place and role in the hierarchy of signalling and interlocking.

Use of technical diagnosing and monitoring systems allows to raise considerably efficiency of failures prevention of railway signaling and interlocking devices at the expense of imminent failures detection. It is the defining factor of railway incidents and accidents risk reduction.

Key words: systems of technical diagnosing and monitoring, railway signalling and interlocking devices, reliability, safety, risk

Введение

От надежной и безопасной работы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) непосредственно зависит надежность и безопасность перевозочного процесса. Устройства ЖАТ, используемые на российских железных дорогах общего и необщего пользования, отличает большое разнообразие, однако техническую основу большинства из них составляет релейная техника. При этом уровень компьютеризации значительно отстает от зарубежного, но развитие систем ЖАТ ориентировано на внедрение микропроцессорной техники. К 2011 г. микропроцессорными системами электрической централизации оборудовано свыше 150 станций.

Принципы обеспечения безопасности при работе устройств ЖАТ релейного и микропроцессорного типов неодинаковы. В релейных системах в ответственных цепях используются реле первого класса надежности и осуществляется схемный контроль работы устройств. В микропроцессорных системах применяются элементы с низкой интенсивностью потоков отказов при использовании методов резервирования (аппаратная и программная избыточность) и диагностирования (внутренние средства контроля, тестирование отдельных блоков и узлов, самодиагностирование и др.).

Для поддержания заданного уровня надежности и безопасности устройств ЖАТ проводятся мероприятия по их техническому обслуживанию (ТО). При этом на отечественном железнодорожном транспорте преобладает планово-предупредительный метод ТО по специально разработанным графикам, зачастую требующий от технического персонала однообразной и рутинной работы. Такой подход требует значительных эксплуатационных расходов. На многих зарубежных железных дорогах ТО устройств ЖАТ производится по их фактическому состоянию. Этот подход возможен за счет непрерывного контроля состояния устройств — мониторинга.

e-mail: Mitriche@yandex.ru, Pavelplekhanov@gmail.com
Дата поступления рукописи в издательство: 09.09.11

1. Особенности работы систем технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ

Значительная протяженность российских железных дорог, относительно низкая доля использования микропроцессорных систем ЖАТ и малая степень компьютеризации определили внедрение нового типа систем ЖАТ — систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ). Если бы все системы ЖАТ были микропроцессорными (т. е. обладали не только возможностью реализации функций по обеспечению движения поездов, но и имели бы возможность самодиагностирования), то использование СТДМ было бы излишним. СТДМ ЖАТ — это надстраиваемые (внешние) средства пассивного диагностирования, предусматривающие установку датчиков контроля с невозможностью влияния на работу устройств ЖАТ. СТДМ осуществляют сбор, хранение и обработку диагностической информации, поступающей как от релейных систем, так и от микропроцессорных, при этом все операции проводятся в масштабах реального времени. Место СТДМ среди инструментов повышения безопасности функционирования устройств ЖАТ показано на рис. 1.

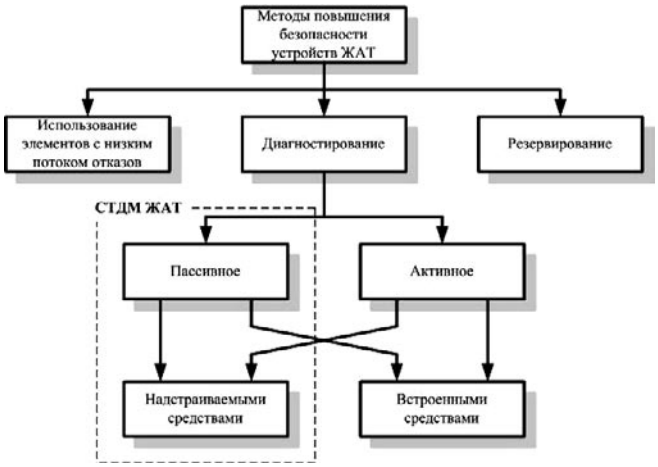


Рисунок 1 — Методы повышения безопасности устройств ЖАТ

Развитие СТДМ связано с возникновением на железных дорогах СССР в 60-х гг. прошлого века систем диспетчерского контроля, которые позволяли фиксировать свободность/занятость рельсовых цепей и контролировать разрешенное/запрещенное показания светофоров. В дальнейшем появилась возможность не только получать и обрабатывать дискретную информацию о состоянии устройств ЖАТ, но и организовывать непрерывное получение диагностической информации. Это позволило сократить часть работ по ТО устройств ЖАТ, связанных с измерениями и обработкой параметров их функционирования. Основы построения современных СТДМ ЖАТ были заложены к концу XX в. Сегодня СТДМ выполняют следующие функции:

- контроль состояния устройств ЖАТ;
- автоматизация работ по ТО устройств ЖАТ;
- сокращение времени на поиск и устранение неисправностей устройств ЖАТ;
- сбор, хранение и обработка статистических сведений о состоянии устройств ЖАТ;
- прогнозирование состояния устройств ЖАТ.

Необходимость решения указанных проблем, а также потребность в централизации процесса обработки данных привели к созданию на сети дорог центров технического диагностирования и мониторинга. Первый подобный центр был сдан в постоянную эксплуатацию в 2007 г. на Октябрьской дороге. Технологи таких центров в автоматизированном режиме анализируют диагностическую информацию [1]. В дистанциях СЦБ (сигнализации, централизации, блокировки) также потребовалось создание специализированных бригад по обслуживанию средств СТДМ.

СТДМ занимают верхний иерархический уровень среди всех систем ЖАТ: диагностическая информация поступает в СТДМ от устройств и систем станционных и перегонных ЖАТ, а также от систем диспетчерской централизации и диспетчерского контроля (рис. 2).



Рисунок 2 — Взаимосвязь устройств и систем ЖАТ

СТДМ имеют не только свои датчики съема информации, но и свою сеть обработки данных, включающую концентраторы и серверы обработки диагностической информации. В дистанциях СЦБ и в центрах мониторинга создаются автоматизированные рабочие места (АРМ) со специальным программным обеспечением. Например, для отображения диагностической информации в самой распространенной СТДМ на российских железных дорогах АПК-ДК (аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля) используется комплекс задач «Мониторинг», включающий несколько уровней детализации информации — от уровня всей сети железных дорог до уровня станции или перегона. На экране монитора отображается мнемосхема путевого развития станции со всеми устройствами ЖАТ и с указанием их технического состояния и диагностических данных (рис. 3).

Помимо этого для некоторых сложных объектов контроля, например для устройств электропитания, предусмотрены отдельные вкладки, где показаны не только измерения, но и цепи питания устройств (рис. 4).

2. Возможности систем технического диагностирования и мониторинга по обнаружению отказов устройств ЖАТ

Работа технологов дорожных центров мониторинга и дистанций СЦБ заключается в предупреждении отказов на стадии предотказных состояний — таких состояний технических объектов, при которых их дальнейшая эксплуатация

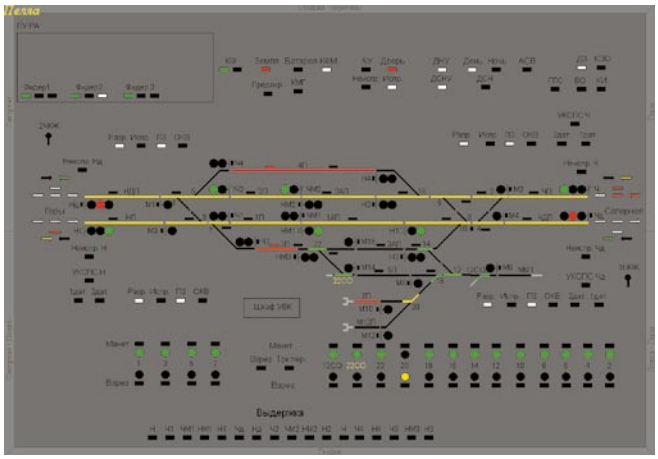


Рисунок 3 — Отображение станционных устройств ЖАТ в АРМ АПК-ДК



Рисунок 4 — Отображение устройств электропитания устройств ЖАТ в АРМ АПК-ДК

неизбежно приведет к отказу. Суть фиксации стадии предотказного состояния состоит в том, чтобы предоставить обслуживающему персоналу ресурс времени на восстановление рабочих характеристик объекта. Не все отказы возможно предотвратить на стадиях предотказных состояний. Например, нельзя предотвратить внезапные отказы, происходящие при скачкообразном изменении рабочих характеристик устройства. А отказы постепенные, возникающие при последовательном изменении рабочих характеристик устройства, предотвратить можно.

По своим последствиям отказы могут быть защитными или опасными. Защитный отказ приводит к возникновению ситуации, никак не влияющей на безопасность движения поездов, но существенно ограничивающей пропускную способность железнодорожной линии (например, ложная занятость стрелочно-путевой секции не позволяет задать маршрут с ее использованием). Опасный отказ может непосредственно повлечь за собой нарушение безопасности движения. При этом отказ считается опасным, даже если нарушения безопасности движения не произошло. Примером опасного отказа является перевод стрелки под подвижным составом. Системы ЖАТ строятся с исключением опасных отказов, однако опасные ситуации могут быть спровоцированы действиями человека. Работы по ТО и непрерывному контролю за состоянием устройств ЖАТ позволяют снизить вероятность возникновения отказа.

Не всегда отказы можно обнаружить визуально или средствами диагностики. К примеру, если нет проявлений отказа (например, односторонний пробой изоляции в межстряковых тягах стрелочного перевода — так называемый «скрытый» отказ), он не будет идентифицирован — необнаруживаемый отказ. А если отказ проявляется (например, следствием неисправности путевого реле является занятость стрелочно-путевой секции), то он идентифицирован как обнаруживаемый отказ. Обнаруживаемый и необнаруживаемый отказы могут появляться в устройствах ЖАТ, как оснащенных, так и не оснащенных устройствами внешнего или внутреннего диагностирования.

Классификация отказов с указанием возможностей по их предотвращению приведена на рис. 5.



Рисунок 5 — Классификация отказов по возможности обнаружения и предотвращения

3. Использование систем технического диагностирования и мониторинга для снижения риска нарушений безопасности движения

Эффективность функционирования СТДМ на российских железных дорогах [2] оценивается при помощи коэффициента, характеризующего долю потенциальных отказов устройств ЖАТ ($N_{\text{п}}$), предотвращаемых за счет фиксации тенденции изменения рабочих характеристик на стадии предотказных состояний, от общего числа отказов (N) за некоторый временной промежуток (1)

$$\xi = \frac{N_{\text{П}}}{N}. \qquad (1)$$

Чем ближе коэффициент ξ к единице, тем выгоднее использование СТДМ. Понятно, что всех отказов избежать не удастся, поскольку природа их возникновения крайне разнообразна, но сократить количество постепенных отказов возможно. В реальных условиях коэффициент ξ не превышает 0,5.

По данным [3], число отказов устройств ЖАТ на участке Санкт-Петербург — Москва за счет использования СТДМ в 2009 г. сократилось на 20% по сравнению с 2008 г., т. е. коэффициент предотвращения отказов на данном участке равен $\xi = 0{,}2$. Основываясь на статистических данных об опасных отказах, можно дать первичную оценку вероятности возникновения опасного отказа на участке Санкт-Петербург — Москва. Используя в качестве оценки показатель интенсивности потока опасных отказов $\lambda = 1{,}8 \cdot 10^{-7}$ (1/ч) для станции[1] [4] и показательное распределение [5], определим вероятность возникновения опасного отказа за год (8 760 ч)

$$P = p(1-\xi) = \left(1 - e^{-\lambda t}\right)(1-\xi) = \left(1 - e^{-1{,}8 \cdot 10^{-7} \cdot 8760}\right)(1-0{,}2) = 0{,}00126.$$

Сомножитель $(1-\xi)$ определяет долю непредотвращаемых отказов.

Если предположить, что ξ постоянна на всем периоде эксплуатации, то вероятность возникновения опасного отказа за 20 лет будет равна

$$P = 0{,}00126 \cdot 20 = 0{,}0252.$$

Зная вероятность возникновения отказа, можно определить связанный с ним риск как комбинацию этой вероятности и ущерба, который может быть причинен в результате возникновения отказа [6].

В табл. 1 приведены наименования основных классов вероятности или частот появления отказов и их качественное описание. Определение численных значений вероятностей, соответствующих тому или иному классу, является предметом отдельного исследования.

Таблица 1 — Качественная характеристика частоты появления отказов

Частота появления отказов	Описание
Частое	Отказ происходит часто, и опасность, связанная с ним, возникает постоянно
Вероятное	Отказ на данном этапе жизненного цикла точно произойдет несколько раз, и связанная с ним опасность ожидается постоянно
Случайное	Отказ, возможно, произойдет несколько раз, и связанная с ним опасность также возникнет несколько раз
Маловероятное	Отказ, возможно, произойдет один или несколько раз в течение всего жизненного цикла системы, и необходимо считаться со связанной с ним опасностью
Невероятное	Отказ выглядит невозможным, но вероятным, и связанную с ним опасность полностью исключить нельзя
Невозможное	Отказ невозможен, и связанная с ним опасность может быть полностью исключена

1 Выбор величины интенсивности потока опасных отказов на измеритель «станция» определяется большим количеством устройств ЖАТ на станциях и, как следствие, более высокой величиной интенсивности потока опасных отказов, нежели для устройств ЖАТ на перегонах.

Далее необходимо оценить вероятное воздействие отказа. В табл. 2 представлены описания типовых уровней тяжести отказов и их последствий.

Таблица 2 — Степени тяжести последствий отказов

Степень тяжести последствий отказа	Последствия для людей и окружающей среды	Последствия для железнодорожной системы
Катастрофическое	Смертельные случаи и (или) значительный ущерб здоровью людей и окружающей среде	Прекращение перевозочного процесса
Критическое	Смертельный случай и (или) значительный ущерб здоровью людей и окружающей среде	Выход из строя одной из основных систем дороги
Ограниченное	Незначительный ущерб здоровью и (или) значительная угроза окружающей среде	Серьезное повреждение одной или нескольких систем
Незначительное	Возможен незначительный ущерб здоровью	Минимальные повреждения

Оценка риска осуществляется путем сопоставления в матрице «частота — последствия», вероятности появления отказа и тяжести его последствий. Тем самым устанавливается уровень риска, создаваемого отказом. В табл. 3 приведена классификация рисков и меры, которые целесообразно предпринимать в том или ином случае.

Таблица 3 — Качественная классификация рисков

Классы риска	Предпринимаемые действия
Недопустимый	Риск должен быть снижен безусловно
Нежелательный	Риск допустим, только если его снижение сопряжено с большими затратами; если возможно, то при этом должно быть установлено соглашение с руководством железной дороги или органом, осуществляющим контроль безопасности
Допустимый	Риск допустим при наличии необходимого контроля и соответствующего соглашения с руководством железной дороги
Пренебрежимый	Риск допустим при наличии соответствующего соглашения с руководством железной дороги

По данным табл. 1 — 3 может быть составлена матрица качественной оценки риска (табл. 4). На основе статистических данных, полученных из типового архива информации СТДМ [1], можно определить количественные значения частоты появления отказов тех или иных устройств ЖАТ, а также степень их влияния на безопасность и надежность перевозочного процесса. Для определения степени тяжести последствий отказов необходима разработка специальной методики.

Таблица 4 — Пример оценки риска

Частота появления отказа	**Степени риска**			
Частое	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
Вероятное	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
Случайное	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
Маловероятное	Пренебрежимый	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
Невероятное	Пренебрежимый	Пренебрежимый	Допустимый	Допустимый
Невозможное	Пренебрежимый	Пренебрежимый	Пренебрежимый	Пренебрежимый
	Незначительное	**Ограниченное**	**Критическое**	**Катастрофическое**
	Степени тяжести последствий отказа			

Снижая частоту (вероятность) появления отказов устройств ЖАТ, СТДМ позволяют уменьшить риск нарушений безопасности движения, а значит, способствуют повышению безопасности и надежности перевозочного процесса.

Заключение

В настоящей статье показана роль СТДМ в обеспечении надежной и безопасной работы устройств ЖАТ. Данные системы являются относительно новыми и используются только на железных дорогах бывшего СССР в силу большой распространенности релейного оборудования, не предусматривающего встроенных средств диагностирования. За счет определения предотказных состояний СТДМ позволяют техническому персоналу вовремя предотвращать потенциальные отказы устройств ЖАТ и тем самым снизить риск возникновения нарушений безопасности движения.

В перспективе использование СТДМ возможно не только в хозяйстве автоматики и телемеханики, но и на других объектах железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

Литература

1. Нестеров В.В., Першин Д.С. Центр диагностики и мониторинга устройств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. 2009. № 1. С. 29 — 31.

2. Сапожников В.В., Лыков А.А., Ефанов Д.В., Богданов Н.А. Эффективность систем технической диагностики и мониторинга состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Российской Федерации. 2010. № 4. С. 47 — 49.

3. Москвина Е.А. Развитие центра диагностики и мониторинга // Автоматика, связь, информатика. 2009. № 11. С. 2 — 6.

4. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира : учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / пер. с англ.; под ред. Г. Теега, С. Власенко. М. : Интекст, 2010. 496 с.

5. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Вл.В. Сапожникова. М. : Маршрут, 2003. 263 с.

6. IEC 62278:2002 (EN 50126-1:1999) Railway applications — The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) (Железнодорожные приложения — Определение и подтверждение выполнения требований по надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности). М. : Стандартинформ, 2002. 162 с.

References

1. Nesterov V.V., Pershin D.S. Diagnostic center and monitoring of railway signalling and interlocking devices // Avtomatika, svjaz, informatika. 2009. № 1. S. 29 – 31.

2. Sapozhnikov Vl.V., Lykov A.A., Efanov D.V., Bogdanov N.A. Efficiency of systems technical diagnosing and monitoring of railway signalling and interlocking devices condition // Transport Rossijskoj Federatsii. 2010. № 4. S. 47 –49.

3. Moskvina E.A. Development of diagnostic center and monitoring / Avtomatika, svyaz, informatika. 2009. № 11. S. 2 –6.

4. Railway signalling and interlocking systems: Uchebnoe posobie dlya vuzov zh.-d. Transporta / Per. s angl.; pod red. G. Teega, S. Vlasenko. M.: Intekst, 2010. 496 s.

5. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov Vl.V., Shamanov V.I. Reliability of railway railway signaling, interlocking systems and communication: Uchebnoe posobie dlya vuzov zh.d. transp. / Pod red. Vl.V. Sapozhnikova. M.: Marshrut, 2003. 263 s.

6. IEC 62278:2002 (EN 50126-1:1999) Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) (Zheleznodorozhnye prilozheniya – Opredelenie i podtverzhdenie vypolneniya trebovaniyu po nadezhnosti, gotovnosti, remontoprigodnosti i bezopasnosti). M.: FGUP «Standartinform», 2002. 162 s.

УДК 539.3

Игорь Георгиевич Емельянов, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИМАШ УрО РАН (Екатеринбург),
Владимир Иванович Миронов, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник ИМАШ УрО РАН (Екатеринбург),
Алексей Вячеславович Якушев, кандидат технических наук, руководитель группы НВЦ «Вагоны» (Санкт-Петербург)

КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА В РАСЧЕТАХ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ

Igor G. Emelyanov, DSc, professor (Ekaterinburg),
Vladimir I. Mironov, PhD, docent (Ekaterinburg),
Alexey V. Yakushev, PhD (St.Petersburg)

Contact Problem In The Fatigue Strength Calculation Of Tank Wagon Elements

Аннотация

Противоречивые требования повышения надежности изделий при снижении металлоемкости и увеличении срока эксплуатации, вытекающие из необходимости повышения их конкурентоспособности, дают основание для поиска новых подходов к расчету статической и усталостной прочности элементов конструкций подвижного состава железных дорог. Методом контактных элементов, который широко представлен авторами в печати, решена задача по определению двумерной области контакта для оболочки вращения, лежащей на сплошном или дискретном основании. Определено распределение контактных усилий и напряженное состояние оболочки. Предложен подход по определению ресурса данной тонкостенной оболочечной конструкции, базирующийся на многоцикловой усталости и найденном поле напряжений.

Ключевые слова: контактная задача, усталостная прочность, деградация, оболочка, сварные соединения, прокладка, нелинейная модель, ресурс.

Annotation

Inconsistent requirements of increase of reliability of products at decrease in metal consumption and increase in term of the operation, increases of their competitiveness following from necessity, give the grounds for search of new approaches to calculation of static and fatigue durability of elements of designs of a rolling stock of the railways. The method of contact elements which is widely presented by authors to the press, solves a problem by definition of two-dimensional area of contact for a shell lying on the continuous or discrete basis. Distribution of contact efforts and a shell tension is defined. The approach by definition of a resource of the given thin shell, based on multicyclic fatigue and the found field of pressure is offered.

Key words: contact problem, fatigue strength, degradation, shell, weld joints, pad unit, nonlinear model, resource.

В настоящее время при производстве подвижного состава актуальна задача повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. А значит, необходимо не только переходить на новые материалы и технологии, но и использовать новые подходы к оценке прочности и ресурса. Это дает возможность сократить объемы дорогостоящей экспериментальной отработки конструкций на стадии проектирования.

Под совершенствованием расчетных методов понимается получение все более точных решений триединой задачи:

- определение характера и величины эксплуатационных нагрузок;
- определение напряженно-деформированного состояния элементов конструкций;
- определение долговечности элементов конструкций.

Точность решения второй и третьей задачи, естественно, зависит от точности решения первой задачи. С появлением универсальных коммерческих вычислительных программ решения второй и третьей задачи можно получить достаточно просто, однако оценить достоверность полученных решений зачастую затруднительно. Это связано с тем, что такие программы представляют собой «черный ящик», а заложенная в них универсальность порой приводит к неверным результатам. Следовательно, получение дополнительных методик, включающих собственные решения поставленных задач, по крайне мере будет полезно для уточнения отраслевых методик. Противоречивые требования повышения надежности изделий при снижении металлоемкости и увеличении срока эксплуатации дают основание для поиска новых подходов к расчету статической и усталостной прочности элементов конструкций подвижного состава железных дорог.

В работах авторов статьи [1, 2] предложена математическая модель напряженно-деформированного состояния котла вагона-цистерны с учетом взаимодействия с лежневой опорой. В работах [2 — 4] рассматривался нестандартный феноменологический подход к проблеме разрушения эле-

e-mail: Emelyanov@imash.uran.ru, visim.vm@mail.ru, av-yakushev@yandex.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 06.09.11

ментов конструкций, и в частности к описанию усталостной прочности.

В данной статье на основе авторских разработок дается уточненная оценка статической и усталостной прочности элементов вагона-цистерны. Среди многообразия факторов, определяющих работоспособность исследуемой конструкции, показано влияние контактного взаимодействия между элементами вагона-цистерны и циклического нагружения сварных элементов конструкций на прочность и ресурс.

Ранее установленная авторами в специальном механическом эксперименте деградация статических свойств ряда сталей позволила описать усталостный процесс как переход пластичного материала в хрупкое состояние. Такое представление не противоречит имеющимся физическим воззрениям на природу усталости металлов и способствует формированию новой модели многоцикловой усталости материала для расчета несущих металлоконструкций:

$\sigma^{\alpha}N=\sigma^{\alpha}_{RK}N_0$ — усталостная кривая, N_0 — базовая долговечность;

$\sigma_{RK}=\dfrac{2\sigma_{-1}}{(1-R)K+(1+R)\psi}\le\sigma_T$ — предел выносливости при несимметричном цикле;

$\sigma_{\Pi}(N)=\sigma_{-1}(N)=\sigma_{-1}$ — переход к сложному напряженному состоянию, σ_{Π} — приведенное напряжение;

$\sigma_{\Pi}=\dfrac{\sigma_{ia}}{1-\sigma_{im}/\sigma_B}$ — пример приведенного напряжения;

$S_B(\sigma_M;n)=S_{BO}-k_{\sigma}n^m$ — опытная кинетическая кривая; (1)

$k_{\sigma}=\dfrac{S_{BO}-\sigma_M}{N^m}$ — кинетический коэффициент;

$S_B(\sigma_N,N)=\sigma_M$ — критерий усталостного разрушения;

$S_B(\sigma_{M1},n_1)=S_B(\sigma_{M2},n_2)$ — циклически эквивалентные состояния материала;

$\sigma_{MK}\ge S_B\left[\sigma_M(n),\sum_i^k n_i\right]$ — критерий разрушения при нерегулярном нагружении,

где $\sigma_B\equiv S_{B0}$ — исходный предел прочности;

σ_{Π} — приведенное напряжение;

σ_{-1} — предел выносливости при симметричном цикле;

R — коэффициент асимметрии цикла;

ψ — коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла;

σ_{ia},σ_{im} — интенсивность амплитудных и средних напряжений цикла;

σ_M — максимальное напряжение стационарного цикла;

m — опытная константа материала;

n_i — число циклов нагружения на i-й ступени;

N — расчетное число циклов.

Первые четыре формулы широко используются в расчетной практике и в комментариях не нуждаются. Следующие три формулы формализуют результаты упомянутых экспериментов и представляют оригинальную часть модели (1). Дополнение их двумя последними выражениями позволяет провести расчет долговечности нерегулярно нагруженной металлоконструкции, не прибегая к линейному суммированию повреждений [3, 4]. Таким образом, представленная модель многоцикловой усталости материала позволяет учесть накопленные опытные данные экспериментальной механики и учесть циклическую деградацию свойств материала в элементах конструкций.

Интенсивность усталостного процесса в соответствии с представленной моделью прямо зависит от величины действующих напряжений. Поэтому точность прогноза ресурсных показателей изделия будет зависеть от точности определения напряженного состояния элементов конструкции. Использование для этих целей стандартных вычислительных комплексов дает точные решения в рамках тех упрощений, которые приняты при расчленении конструкции на отдельные элементы и при нулевых начальных напряжениях.

Развитие численных методов решения систем дифференциальных уравнений и стремительный рост возможностей вычислительной техники позволяют с высокой точностью определить поле напряжений в элементах конструкций сложной формы. Проблема здесь кроется в корректной постановке граничных условий, часто определяемых контактным взаимодействием элементов конструкции, и в учете начальных технологических напряжений, особенно в сварных металлоконструкциях. Восстановительные операции могут обеспечить равнопрочность сварного шва и основного металла, но не циклические свойства материала в окрестной зоне. В связи с этим повышается значимость решения соответствующих контактных задач и учета фактических усталостных характеристик сварных узлов. Данные вопросы рассмотрены в предлагаемой работе на примере расчета элементов вагона-цистерны рамной конструкции.

Повышение точности решения контактной задачи опоры котла на лежневую опору имеет целью предотвратить прежде всего разрушение обечайки. Разрушение деревянных брусков (или полиуретановых прокладок) между оболочкой и опорой не является предельным состоянием конструкции в целом. Но последующее ослабление крепежных хомутов приводит к динамическим нагрузкам и разрушению крепежной лапы, приваренной к днищу котла и соединяющей его с хребтовой балкой [5]. Мониторинг цистерн разных лет выпуска показывает, что в эксплуатации разрушение крепежных лап встречается наиболее часто. Оценка прочности прокладочных элементов должна проводиться по напряжениям, найденным при решении контактной задачи.

Отмеченный выше рост возможностей вычислительной техники позволил без разбиения на детали выполнить конечно-элементный расчет такой сложной конструкции, как вагон-цистерна [1, 2]. Модель вагона, содержащая более сотни конструкционных элементов, моделируется несколькими тысячами двумерных и трехмерных конечных элементов. При этом детально учитываются конструктивные особенности отдельных элементов, дискретность лежневой опоры, подкрепляющие шпангоуты. Расчеты показывают, что даже в экстремальных условиях гидравлического удара статическая прочность конструкции вагона обеспечена.

Для полной уверенности в правомерности такого заключения необходимо иметь решение контактной задачи по определению напряжений в зоне опоры цилиндрической обечайки на ложемент. Решить такую контактную задачу с помощью коммерческих вычислительных комплексов COSMOS/M и ANSYS не удалось.

Для расчета оболочки котла, лежащего на упругих опорах дискретного вида (рис. 1), будем использовать метод решения контактных задач для тонкостенных оболочек [6]. Сначала определим область контакта и распределение в ней контактных усилий. Затем — результирующее напряженное состояние оболочки от внешних нагрузок и найденных контактных усилий.

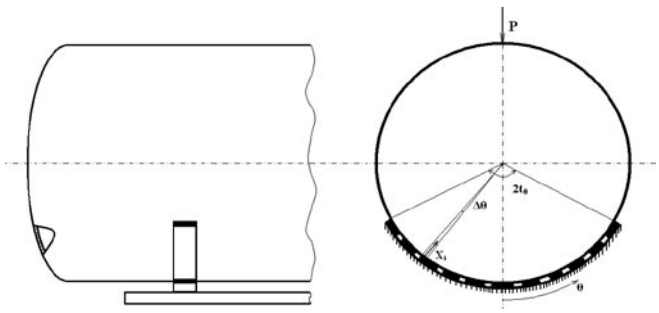


Рисунок 1 — Расчетная схема оболочки, лежащей на опорах

Координатную поверхность оболочки вращения (котла) отнесем к криволинейной ортогональной системе s, θ, где s — длина дуги меридиана, θ — центральный угол в параллельном круге (см. рис. 1). Линии $s=\text{const}$, $\theta=\text{const}$ являются линиями главной кривизны.

Геометрические параметры котла таковы, что можно воспользоваться теорией оболочек, основанной на гипотезах Кирхгофа — Лява, и, следовательно, задача определения напряженного состояния оболочки с переменными вдоль образующей параметрами описывается системой [6]

$$\frac{\partial \overline{Y}}{\partial s}=\sum_{m=0}^{4}A_m(s,\theta)\frac{\partial^m \overline{Y}}{\partial \theta^m}+\bar{f}(s,\theta), \qquad (2)$$

$$\overline{Y}=\{N_x, N_z, \hat{S}, M_s, u_x, u_z, v, \theta_s\},$$

где N_r, N_z — радиальное и осевое усилия;
u_r, u_z — аналогичные перемещения;
$\hat{S}$ — сдвигающее усилие;
M_s — меридиональный изгибающий момент;
v — окружное перемещение;
ϑ_s — угол поворота нормали.

Элементы матрицы A_m зависят от геометрических и механических характеристик оболочки, а компоненты вектора $\bar{f}(s,\theta)$ определяются поверхностными нагрузками и интегральными характеристиками температурного поля.

Раскладывая компоненты внешней нагрузки и искомые функции в системе (2) в ряды Фурье по окружной координате θ и разделяя переменные для каждого члена разложения, имеем разрешающую систему обыкновенных дифференциальных уравнений восьмого порядка [6]. При добавлении граничных условий данная система может быть численно проинтегрирована.

Решение задачи состоит в нахождении распределения контактного давления между оболочкой и основанием $q(\theta,s)$ в зависимости от окружной координаты, определяемой углом θ, меридиональной координаты s и области контакта $\Omega_+(\theta,s)$. При изменении внешней нагрузки P (вес оболочки и груза, избыточное давление и др.) в силу упругости оболочки область контакта Ω_+ может изменяться. Возможно также образование зон отставания в меридиональном и окружном направлениях.

При решении рассматриваемой задачи с неизвестной границей области Ω_+ необходимо искомую область дополнить областью Ω_- до некоторой известной области Ω. Следовательно,

$$\Omega=\Omega_+ + \Omega_-. \qquad (3)$$

Для задачи, показанной на рис. 1, область Ω будет равна

$$\Omega=2t_0\times b,$$

где $2t_0$ и b — максимальные размеры области контакта в окружном и меридиональном направлениях.

Учитывая, что ширина опоры b значительно меньше длины L и радиуса R котла, распределение контактных усилий по ширине основания примем постоянным, и, следовательно, область Ω может быть аппроксимирована K контактными элементами. На каждом полученном элементе примем постоянное значение контактного давления $q\geq 0$.

Взаимодействие между оболочкой и опорой представим определенным количеством усилий X_i, приложенных на каждом элементе. Для определения усилий взаимодействия можно использовать смешанный метод строительной механики. Каноническая система, описывающая условие контакта для K контактных элементов, распределенных непрерывным образом на длине $2t_0$ (рис. 1), будет иметь вид [6]

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^{K}\delta_{1i}X_i + DX_1 - Z\cos\theta_1+\Delta_{R1}=0;\\
&\sum_{i=1}^{K}\delta_{Ki}X_i + DX_K - Z\cos\theta_K+\Delta_{RK}=0;\\
&\sum_{i=1}^{K}\cos\theta_i X_i - P=0,\ K=\frac{2t_\theta}{a_\theta},
\end{aligned} \qquad (4)$$

где δ_{ij} — перемещение в основной системе по направлению i-й связи от единичного усилия, введенного по направлению отброшенной j-й связи;
$Z\cos\theta_i$ — перемещение в основной системе по направлению отброшенной i-й связи, происходящее от единичного перемещения по направлению введенной связи;
P — внешняя нагрузка, действующая определенным образом на оболочку;

X_i — неизвестные усилия взаимодействия оболочки;
Δ_{Ri} — величина зазора между оболочкой и основанием по направлению i-й связи;
D — оператор, связывающий реактивное усилие i-й точки поверхности основания и ее перемещение;
a_θ — длина контактного элемента в окружном направлении.

Для рассматриваемой задачи будем использовать простейшую модель линейно-деформированного основания — модель Винклера, и, следовательно,

$$D = \frac{1}{cA}, \qquad (5)$$

где c — коэффициент постели;
A — площадь контактного элемента.

Поскольку в нашем случае оболочка контактирует с основанием через упругие прокладки дискретного вида, то область прокладок будет аппроксимирована M контактными элементами, на которых могут действовать усилия $X_i\{i=1\ldots M\}$. А область вырезов аппроксимирована $K-M$ контактными элементами, на которых $X_i=0$ $\{i=1\ldots K-M\}$.

После решения системы (4) с учетом условия (3) находятся распределения контактного давления под упругими прокладками дискретного вида в первом приближении. Поскольку возможны отставания оболочки от прокладок, то затем применяются итерационные процедуры поиска реальной области контакта, которая зависит от геометрических и упругих параметров конструкции и величины нагрузки P [6].

На рис. 2 показано распределение контактного давления q на половине области контакта Ω при сплошном основании. При расчете принималось: внешний радиус цилиндрической оболочки R = 1,50 м, радиус основания R = 1,50 м, толщина стенки h = 0,06 м, модуль упругости $E = 2{,}1\times10^5$ МПа, коэффициент Пуассона ν = 0,3, главный вектор внешней нагрузки $P = 4{,}5\times10^5$ Н.

Граничные условия слева и справа приняты в виде шарнирно неподвижного закрепления. Цилиндрическая часть оболочки лежит на сплошном основании шириной b = 0,24 м. Длина основания по окружности $2t_0$ стягивается углом 128°. Коэффициент постели, учитывающий упругие свойства основания, принимался равным $c = 10^8$ Н/м^3. Данная величина коэффициента постели характерна для резины.

Длина области контакта $2t_0$ разбивалась углами, равными $\Delta\theta$ = 2°. Следовательно, для данного случая в системе (4) K = 64, M = 64.

Упругие свойства основания обеспечивают плавное распределение контактных давлений по всей длине сплошной области контакта (кривая 1, см. рис. 2).

Известно, что начальные несовершенства оболочек (эллипсность, разная толщина, неоднородность механических свойств и др.) сильно влияют на устойчивость оболочечных конструкций. Подобно задачам на потерю устойчивости, задачи контактного взаимодействия для тонкостенных оболочек очень чувствительны к начальным несовершенствам, а особенно к разнице радиусов основания и оболочки [6].

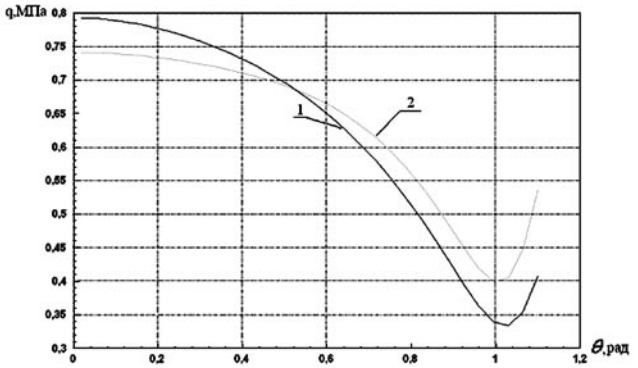


Рисунок 2 — График распределения контактного давления q для случая взаимодействия со сплошным упругим основанием для различных радиусов оболочки: 1 — R = 1,50 м; 2 — R = 1,54 м

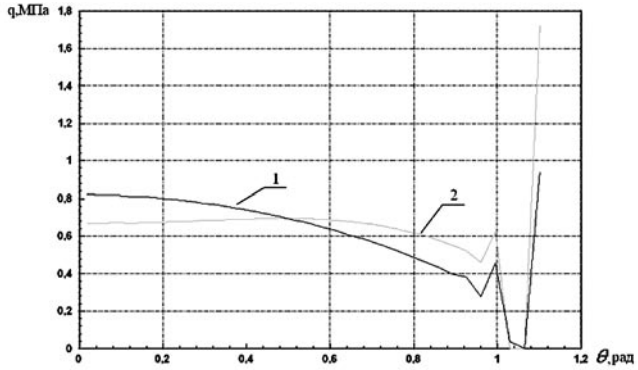


Рисунок 3 — График распределения контактного давления q для случая взаимодействия со сплошным жестким основанием для различных радиусов оболочки: 1 — R = 1,50 м; 2 — R = 1,54 м

Кривая 2 (см. рис. 2) получена при расчете с несколько большим радиусом цилиндрической оболочки R = 1,54 м. Однако упругие свойства основания обеспечивают плавное распределение и для принятого начального несовершенства.

На рис. 3 показано распределение контактного давления q на половине области Ω при взаимодействии с более жестким сплошным основанием (кривая 1). При повышении жесткости основании в 1 000 раз ($c = 10^{11}$ Н/м^3) можно считать, что контакт происходит с абсолютно жестким основанием. Упругие свойства основания не обеспечивают плавного распределения контактного давления, на границе области контакта образуются локальные силы. Кривая 2 (см. рис. 3) получена при расчете с несколько большим радиусом цилиндрической оболочки R = 1,54 м.

Наличие на границе области контакта локальных сил соответствует классическим решениям теории контактных задач для тонких оболочек [7]. Наличие таких локальных сил может определять прочность и устойчивость оболочечных конструкций, и, следовательно, в этом месте может зарождаться усталостная трещина, которая будет определять общий ресурс конструкции.

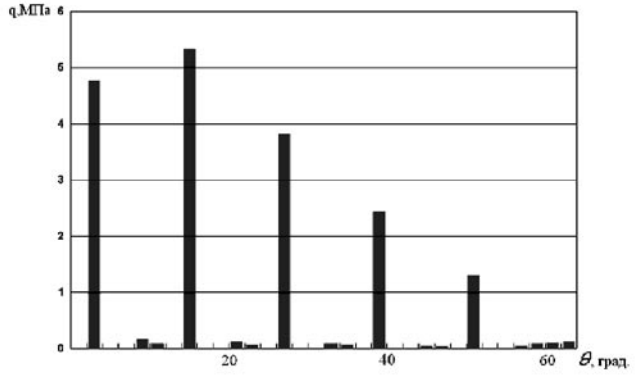


Рисунок 4 — График распределения контактного давления q для случая взаимодействия с дискретным упругим основанием

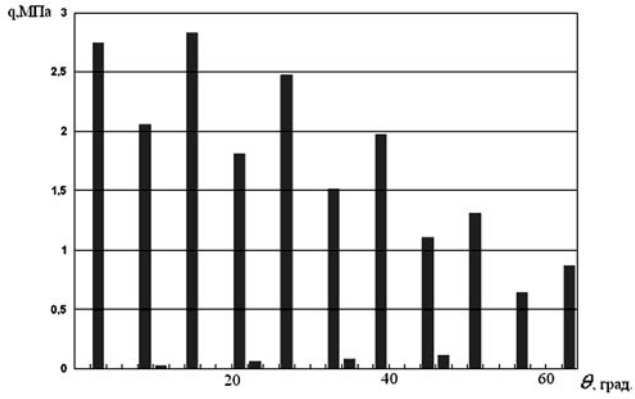


Рисунок 5 — График распределения контактного давления q для случая взаимодействия с дискретным жестким основанием

Контактное давление для всех расчетных случаев, показанных на рис. 2 и 3, не превышает 2 МПа.

Контактное давление значительно повышается для оболочки котла, лежащего на упругих опорах дискретного вида.

На рис. 4 показано распределение контактного давления q на половине области Ω для случая взаимодействия с несплошным основанием. Между основанием и оболочкой имеются 11 упругих прокладок одинаковой длины. Следовательно, для данного случая в системе (4) $K = 64$, $M = 44$. Расчет проведен для случая с коэффициентом постели, равным $c = 10^8$ Н/м^3. Контактное давление в этом случае превышает 5 МПа.

На рис. 5 показано распределение контактного давления q на половине области Ω для случая взаимодействия с 11 жесткими прокладками. Расчет проведен для случая с коэффициентом постели, рав ным $c = 10^{11}$ Н/м^3. Контактное давление в этом случае не превышает 3 МПа.

Для определения напряженно-деформированного состояния оболочки интегрируем разрешающую систему обыкновенных дифференциальных уравнений для оболочки, нагруженной контактным давлением и заданной внешней нагрузкой [6]. Для данной конструкции напряжения в зоне контакта котла с прокладками оказались ниже, чем в опасной точке на стыке днища с обечайкой. Таким образом, учет контактных давлений на опоре порядка 5 МПа не оказывает прямого влияния на расчет статической прочности обечайки котла. Но такое давление может быть опасным для материала опорных прокладок, что выясняется в расчетах статической и усталостной прочности.

Дискретная опора оболочки, например, в виде применяемых в настоящее время деревянных брусков меняет характер распределения контактного давления. Максимальное давление на дискретной опоре увеличивается почти до 5 МПа. В испытаниях на сжатие сосновых брусков поперек волокон разрушающее давление составляет, по нашим данным, около 6 МПа. Следовательно, статическая прочность брусков обеспечена. Но не гарантирована усталостная прочность, так как в условиях переменных напряжений, связанных, например, с вертикальной динамикой вагона, допускаемое напряжение 1,2 МПа [8] значительно меньше найденного значения контактного давления. В эксплуатации бруски выдерживают нагрузки, связанные с вертикальной динамикой и движением в кривых, а имеющиеся случаи разрушения носят усталостный характер. Для определения долговечности прокладок нужны натурные усталостные испытания при параметрах цикла давления, определенных решением контактной задачи. Косвенное влияние контактных давлений на прочность конструкции проявится, как отмечалось выше, в росте динамики вагона при разрушении брусков из-за плохого качества или усталости.

Появление дефектов в виде усталостных трещин в хребтовой балке, лапах крепления котла и других элементах конструкции вагона-цистерны связано с наличием в ней многочисленных сварных соединений. В усталостных расчетах предел выносливости материала σ_{RK} определяется по приведенному в модели (1) выражению «классической» теории усталости и базовому пределу выносливости σ_{-1}, определяемому в испытаниях образцов.

В обоснование такого подхода приводятся следующие доводы. В ответственной конструкции, в том числе и при сварке котла, проводится стопроцентный контроль качества сварных швов, исключающий подрезы, наплывы, раковины и прочие макроскопические дефекты. Остаточные сварочные напряжения релаксируют при циклической нагрузке и устраняются различными восстановительными операциями. Так, при изготовлении котлов проводится высокий отпуск, подбираются оптимальные режимы сварки, применяется многопроходная автоматическая сварка. Восстановительные операции позволяют добиться равнопрочности сварного шва и основного металла, но не восстанавливают структуру металла в зоне термического влияния, полученную при свободной кристаллизации при сварке. Соответственно, не восстанавливаются и усталостные характеристики металла.

Другой подход к расчету предела выносливости сварных конструкций основан на результатах натурных испытаний сварных узлов разных типов при разных видах

нагрузки. Такие испытания выявили существенное снижение базового предела выносливости σ_{-1KB} по сравнению с основным металлом, его зависимость от способа нагружения и толщины свариваемых деталей [9, 10]. В работе [10] приведены значения пределов выносливости при симметричном цикле (на базе $N_0 = 2 \cdot 10^6$ циклов) для групп узлов в зависимости от временного сопротивления стали σ_B. Также приведены примеры узлов и элементов конструкций с номерами групп, к которым они отнесены. Узлы и элементы, не содержащие сварных соединений, относятся к группам 1 — 3, а со сварными соединениями — к группам 4 — 10. Так, тавровое сварное соединение крепежной лапы с днищем котла при нормальном качестве шва относится к девятой группе узлов, для которой σ_{-1KB}= 30 МПа, а стыковое соединение обечайки с днищем — к пятой группе, и σ_{-1KB}= 63 МПа. Влияние масштабного фактора учитывается коэффициентом влияния толщины t основного элемента сварного узла

$$k_t = (t_0 / t)^{0,2},$$

где t_0 = 20 мм.

Тогда предел выносливости сварного узла при симметричном цикле

$$\sigma_{-1K} = k_t \sigma_{-1KB}, \qquad (6)$$

а при несимметричном цикле σ_{RK} определится по выражению

$$\sigma_{RK} = \frac{2\sigma_{-1K}}{(1-R)+(1+R)\psi}, \qquad (7)$$

причем для сварных соединений, отнесенных к группам 6 — 10, можно принять коэффициент чувствительности узла к асимметрии цикла $\psi = 0 \div 0,1$.

В работе [3] проводилась оценка долговечности котла вагона-цистерны с использованием модели (1). В качестве приведенного напряжения было принято первое главное напряжение ввиду неизбежного перехода материала при циклировании в хрупкое состояние. Кроме того, усталостные испытания тонкостенных оболочек показали, что их долговечность не зависит от величины второго главного напряжения, если оно составляет менее 0,7 от величины первого главного напряжения. Расчетная долговечность котла при нерегулярной нагрузке, подсчитанная по условию усталостного разрушения сварного соединения днища и обечайки, составила 62,5 года. Расчет предела выносливости данного соединения по формулам (6) и (7) дает значения, близкие к расчету по модели (1). Соответственно, мало меняется и расчетная долговечность.

Иначе обстоит дело с расчетом таврового сварного соединения днища котла с хребтовой балкой. Предел выносливости стали 09Г2С составляет σ_{-1} = 200 МПа, коэффициент концентрации сварного шва K = 3,5. По нашим расчетам [2], интенсивность напряжений в лапе, принятая в качестве приведенного напряжения порядка 20 МПа, при торможении повышается до 90 МПа. При коэффициенте асимметрии R = 0,22 и коэффициенте чувствительности к концентрации напряжений ψ = 0,1 предел выносливости соединения по формуле модели (1) составляет σ_{RK} = 140 МПа. Отсюда следует, что усталостная прочность соединения гарантирована, так как максимальное напряжение цикла меньше предела выносливости.

В расчете по формулам (8) и (9) при толщине днища 26 мм коэффициент k_t = 0,95, и предел выносливости σ_{RK} = 65 МПа при тех же параметрах цикла оказывается значительно ниже. Кроме того, он ниже максимального напряжения цикла, и число циклов до разрушения при стационарном нагружении определится из усталостной кривой. В европейских нормах и технических документах для всех сварных узлов принимается одинаковый наклон усталостной кривой с показателем α = 3,0 — 3,5. В литературе отмечается, что лучшее соответствие эксперименту дает выражение

$$\alpha = \frac{3,3}{\lg S_{BO} - \lg \sigma_{RK}}, \qquad (8)$$

полученное из условия прохождения всех усталостных кривых через общую точку с координатами $N = 1000$, $\sigma = S_{BO}$. При S_{BO} = 505 МПа для сварного соединения [10] получим, что рассчитанное по формуле (8) α = 3,6 незначительно выше, чем в европейских нормах. По формуле для кривой усталости в модели (1) и базовом числе циклов $N_0 = 2 \cdot 10^6$ получим значение долговечности N = 621 180 циклов (порядка 60 лет).

Появление усталостных трещин в эксплуатации не является массовым явлением, а скорее исключением, которое связано с большим разбросом долговечности сварных соединений. Отклонение долговечностей сварных соединений от среднего значения [10] с вероятностью $P \approx 0,9$ составляет $dN \approx (-0,5 \div +1,0)\,N$. Поэтому появления первых трещин следует ожидать при числе циклов, равном приблизительно $0,5N$, т. е. в конце нормативного срока эксплуатации вагона. Более точную оценку долговечности в годах можно дать на основании данных о числе торможений в год или мониторинга эксплуатационных нагрузок. В последнем случае можно учесть и нагрузки, связанные с отклонением от нормальных условий эксплуатации. Например, динамические нагрузки при разрушении деревянных брусков, при торможении не полностью загруженных цистерн и др. Опасность появления таких нагрузок оценивается моделью (1), учитывающей циклическую деградацию свойств материала элементов вагона-цистерны.

Предложенные в данной работе математические модели контактного взаимодействия между элементами вагона-цистерны и учет понижения предела прочности для сварных элементов конструкций позволяют оценить их влияние на статическую и усталостную прочность элементов вагона-цистерны и, таким образом, ближе подойти к решению проблемы долговечности подвижного состава.

Литература

1. Емельянов И.Г., Ефимов В.П., Кузнецов А.В. Модель напряженно-деформированного состояния котла вагона-цистерны с усовершенствованной схемой опирания на раму // Тяжелое машиностроение. 2005. № 8. С. 44 — 49.

2. Емельянов И.Г., Миронов В.И., Кузнецов А.В. Определение напряженного состояния и ресурса оболочечной конструкции // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2007. № 5. С. 57 — 65.

3. Миронов В.И., Емельянов И.Г., Кузнецов А.В. Альтернативная оценка долговечности элементов вагона-цистерны // Транспорт Урала. 2009. № 2 (21). С. 56 — 60.

4. Миронов В.И., Якушев А.В. Метод полных диаграмм в расчете ресурса элементов подвижного состава // Транспорт Урала. 2007. № 2 (13). С. 57 — 61.

5. Путято А.В. Моделирование прочности кузова вагона-цистерны при ударном нагружении с учетом нарушения крепления котла на раме : тезисы докладов международ. науч.-техн. конф. «Прочность материалов и элементов конструкций». Киев, 28-30 сентября 2010 г. Т. 2. С. 68 — 69.

6. Емельянов И.Г. Контактные задачи теории оболочек. Екатеринбург : УрО РАН. 2009. 185 с.

7. Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. М. : Машиностроение, 1980. 411 с.

8. Вершинский С.В. Расчет вагонов на прочность. М. : Машиностроение. 1971. 432 с.

9. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках / под ред. В.И. Труфякова. Киев : Наукова думка. 1990. 256 с.

10. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин : учебное пособие. СПб : Политехника. 2005. 423 с.

References

УДК 629.423.31

Дмитрий Юрьевич Белан, преподаватель кафедры ТТМ и РПС Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС, Омск),
Константин Васильевич Аверков, аспирант кафедры ТТМ и РПС Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС, Омск)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Dmitry Yu. Belan, lecturer (OmGUPS, Omsk)
Konstantin V. Averkov, post-graduate student (OmGUPS, Omsk)

Improved Repair Technology Of Electrical Machines' Commutator-brush Assembly

Аннотация

Статья посвящена анализу основных неисправностей коллекторов тяговых электродвигателей, обозначены проблемы, связанные с операцией продораживания рабочей поверхности коллекторов электрических машин, предложен новый метод продорожки коллектора с использованием специального режущего инструмента, в значительной степени влияющий на качество обработанной поверхности. Получен профиль зуба червячной фрезы аналитическим способом.

Ключевые слова: рабочая поверхность коллектора тягового электродвигателя, профиль зуба червячной фрезы, величина подачи.

Annotation

The article briefly analyzes the main failures of traction motors' commutators. The problems associated with the operation of milling of electrical machines commutators' working surface are identified in the article, a new methods of commutator milling with use of a special cutting tool, greatly affecting the quality of the machined surface is suggested. The profile of hob cutter tooth is got by use of the analytical method.

Key words: traction motor commutator' working surface, profile of hob cutter tooth, feed.

Анализ технического состояния локомотивного парка по сети железных дорог России показал, что количество отказов остается на высоком уровне. Так 17,1% заходов электровозов на неплановый ремонт происходит по причине неисправностей тяговых электродвигателей (ТЭД).

При этом неисправности коллекторно-щеточного узла (КЩУ) ТЭД составили 15%, из них выплавления припоя из петушков коллектора — 10% и перебросы, оплавления, подгары, затяжка ламелей коллектора — 5%.

Наиболее интенсивный износ коллектора наблюдается при искрении в контакте. Поэтому для снижения износа коллектора очень важно обеспечить хорошие, безыскровые условия коммутации электрической машины.

Круговой огонь на коллекторе может развиться из отдельных «вспышек» под электрощетками, которые возникают из-за появления между коллекторными пластинами токопроводящих «мостиков». Снизить возможность появления таких «мостиков» можно путем уменьшения глубины канавки до 0,5 — 0,7 мм. При такой глубине канавки значительно сокращается загрязненность коллектора благодаря более эффективному выдуванию продуктов износа. Однако реализовать эту идею не представилось возможным из-за того, что коллекторный миканит, применяемый в качестве межламельной изоляции, изнашивается от трения электрощеток медленнее, чем медь коллекторных пластин. Такой мелкой продорожки могло бы не хватить на пробег двигателя между его плановыми ремонтами (с выкаткой). Тогда потребовалось бы проведение продорожки коллекторов под электровозом, что весьма нецелесообразно, так как эта работа весьма трудоемка, занимает много времени и качественное ее выполнение под электровозом затруднено. Принятая при изготовлении новых тяговых двигателей и выпуске из ремонта глубина канавки составляет 1,4 — 1,6 мм. Более глубокая продорожка нецелесообразна, так как тогда канавка между коллекторными пластинами приобретает вид щели, которая в эксплуатации быстро засоряется угольной пылью, пыль плотно оседает в ней, особенно при увлажнении коллектора, что в дальнейшем вызывает перекрытия и замы-

e-mail: averok@yandex.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 21.01.11

кания между соседними пластинами и повышенное искрение на коллекторе.

При проведении продорожки необходимо следить за тем, чтобы глубина канавки между всеми пластинами была одинаковой и миканитовая (или слюдопластовая) изоляция расчищалась по всей ширине канавки и не оставалась на стенках коллекторных пластин, дно канавки должно быть ровным. Недопустим также подрез медных пластин. Выполнение этих требований обеспечит устойчивую работу коллектора и уменьшит количество неплановых ремонтов двигателей для продорожки. Продорожку коллектора выполняют с припуском на величину износа так, чтобы после обточки коллектора глубина межламельных канавок в эксплуатации была не менее 0,5 мм. Продораживание предотвращает появление на рабочей поверхности коллектора слюды, влияющей на износ угольных щеток при эксплуатации электрической машины. Если бы не было продораживания, выступающая из миканитовых прокладок слюда ухудшила бы контакт между угольными щетками и коллектором, усилила бы износ щеток и искрение на коллекторе.

Обработка якоря ТЭД в условиях депо ведется по следующей схеме (рис. 1). Якорь ТЭД крепится в центрах и имеет возможность прерывистого вращения в этой схеме. Режущим инструментом является дисковая фреза, которая, вращаясь, перемещается вдоль ламели и, снимая миканит, образует паз. После фрезерования паза фреза возвращается в исходное положение, а коллектор поворачивается на одну ламель с помощью механизма поворота. Технологический процесс ремонта коллектора ТЭД повторяется до тех пор, пока не будут обработаны все ламели.

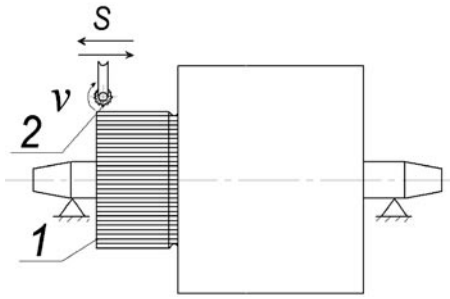


Рисунок 1 — Схемы установки якоря при обработке коллектора дисковой фрезой:
1 — коллектор; 2 — дисковая фреза

Недостатки этой схемы: наличие холостого хода режущего инструмента, неточность работы механизма поворота (в связи с разной толщиной медных пластин коллектора), дисковая фреза затачивается только по передней поверхности, что приводит к увеличению затрат на переточку режущего инструмента и уменьшению прочности режущей части фрезы, механизм поворота и главного движения не совмещены. Для того чтобы избавиться от этих недостатков, нужно принять схему, подобную схеме нарезания зубчатых колес с помощью червячной фрезы. Профиль коллектора имеет свои особенности. Если рассматривать медную пластину как зуб шестерни, а миканит как впадину, то обработка коллектора ведется по следующей схеме (рис. 2).

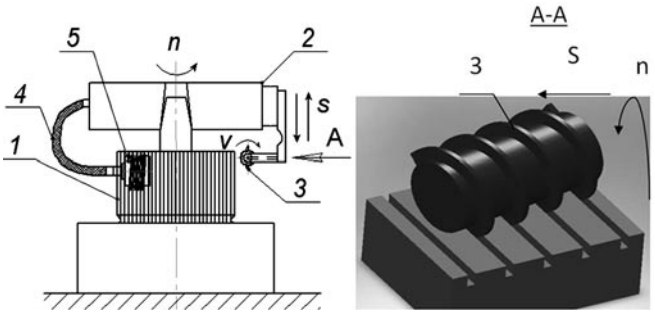


Рисунок 2 — Схемы установки якоря при обработке коллектора червячной фрезой:
1 — коллектор; 2 — корпус установки; 3 — червячная фреза; 4 — гибкий вал; 5 — адаптивный червяк

Продорожка коллектора ТЭД осуществляется в вертикальном положении так, чтобы коллектор 1 был сверху, а коническая часть вала якоря, по которой базируется корпус установки 2, была освобождена и осмотрена на предмет отсутствия забоин. После обточки глубина канавок коллектора составляет не менее 0,5 мм. В эти канавки вручную заводится червячная фреза 3. Процесс продораживания происходит за счет главного движения (движение резания), радиального движения, которое обеспечивает подачу червячной фрезы на всю глубину обработки, и вращательно-делительного движения за счет адаптивного червяка 5 с гибким валом 4, которые обеспечивают перемещение режущего инструмента поперек образующим. Адаптивный червяк находится в зацеплении с канавками коллекторных пластин и благодаря своей конструкции позволяет компенсировать непостоянство шага по коллектору. Делительный механизм, находящийся в корпусе установки, приводит во вращение адаптивный червяк через гибкий вал.

Расчет червячной фрезы неэвольвентного профиля основывается на методике [1, 2].

Зубчатые детали, имеющие прямолинейный профиль, могут быть обработаны червячными фрезами. При этом профилирование происходит по методу обката, при котором профиль инструмента не совпадает с профилем изделия, а рассчитывается как элемент зубчатой или червячной передачи.

Для определения профиля червячной фрезы может быть использован графический и аналитический способ.

Графический способ отличается наибольшей простотой. Он заключается в последовательном наложении и копировании профиля изделия. При этом наложение происходит в порядке обкатывания начальной прямой будущей фрезы по начальной окружности изделия. Радиус начальной окружности изделия может быть определен из выражения

$$R = \sqrt{R_e^2 - 0,75 \cdot a^2}, \qquad (1)$$

где R_e — радиус наружной окружности, мм;
a — расстояние от прямой профиля до центра окружности.

Диаметр коллектора ТЭД составляет 633 — 660 мм, расстояние от прямой профиля до центра окружности соответствует половине ширины коллекторной пластины (4 мм).

Расчет показывает, что величина R = 632,99 — 659,99 мм. Таким образом, начальная окружность и окружность вершин практически совпадают.

Графический способ расчета профиля не дает достаточной точности, поэтому более целесообразно применение аналитического способа.

Аналитический способ расчета профиля зуба фрезы ведется по формулам (2) — (4).

Угол профиля вычисляется по уравнению (2)

$$\sin\gamma = \frac{b}{2\cdot R}, \qquad (2)$$

где b — ширина коллекторной пластины.

Угол обката для заданной точки профиля рассчитывается по формуле (3)

$$\sin\alpha = \frac{\sin\gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin\gamma}{2}\right)^2 + \frac{y}{R}}, \qquad (3)$$

где y — ордината точки профиля.

Абсцисса точки профиля определяется по уравнению (4)

$$x = R\cdot\left[\left(\alpha^\circ - \gamma^\circ\right)\cdot 0{,}01745 - \left(\sin\alpha - \sin\gamma\right)\cdot\cos\alpha\right]. \qquad (4)$$

Рассчитанные координаты точек профиля червячной фрезы представлены на рис. 3. Зуб фрезы у основания снабжен двумя фасками 1, позволяющими обрабатывать фаски 0,2 × 45° с краев коллекторных пластин. За счет рассчитанного профиля зуба и установки червячной фрезы относительно заготовки обеспечивается равномерность обработки по высоте без подреза канавки. Смещением червячной фрезы можно обеспечить различную ширину коллекторной канавки и таким образом компенсировать любое изменение ширины канавки после обточки.

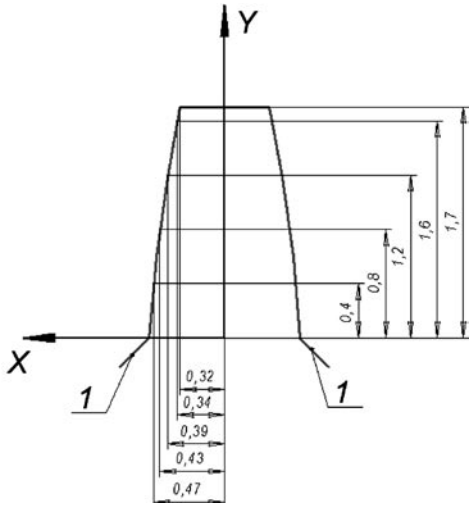


Рисунок 3 — Профиль зуба червячной фрезы

Итак, использование установки для продорожки ламелей коллекторов электрических машин с применением спроектированной червячной фрезы позволит совершенствовать технологию ремонта коллекторов ТЭД, что приведет к повышению надежности электровоза в целом, уменьшению простоя на различных видах текущего ремонта и технического обслуживания и дополнительно оснастит ремонтные цеха технологическим оборудованием.

Литература

1. Тепинкичиев В.К. Металлорежущие станки. М. : Машиностроение, 1973. 472 с.

2. Романов В.Ф. Расчет зуборезных инструментов. М. : Машиностроение, 1969. 251 с.

References

1. Tepinkichiev V. K. Metal-cutting machine tools. M.: Mashinostroenie, 1973. 472 s.

2. Romanov V. F. Calculation of gear-cutting tools. M.: Mashinostroenie, 1969. – 251 s

УДК 629.421.1

Александр Петрович Буйносов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург),
Виктор Артурович Тихонов, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЗА СЧЕТ ОБРАБОТКИ ГРЕБНЕЙ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

Alexander P. Buinosov , PhD in Engeneering, Associate Professor of the 'Electric Traction' department, the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg),
Victor A. Tikhonov, post-graduate student of the 'Electric Traction' department, the Ural State University of Railway Transport (USURT, Ekaterinburg)

Increase Of Wear Resistance Of The Electric Rolling Stock Wheelsets By Treating Flanges With Tribotechnical Composition

Аннотация

В статье приведены результаты сравнительного анализа изнашивания бандажей колесных пар электровозов ЧС2 и ЧС7 депо Свердловск-Пассажирский, электропоездов депо Свердловск-Пассажирский и Нижний Тагил, электровозов ВЛ11 депо Свердловск-Сортировочный, Пермь-Сортировочная, Смычка, Ишим. Бандажи колесных пар первой контрольной группы подвижного состава подвергались обработке триботехническим составом НИОД, для второй контрольной группы использовались технические решения проблемы изнашивания бандажей, применяемые в настоящее время на сети железных дорог. На основе методов теории вероятности и математической статистики исходя из критерия максимального ресурса бандажей колесных пар до обточки для электровозов ЧС2 и ЧС7, электропоездов ЭР1, ЭР2 и ЭТ2 использование триботехнического состава позволило увеличить ресурс до обточки с 1,4 до 2,41 раз.

Ключевые слова: колесная пара, бандаж, триботехнический состав, гребень, ресурс.

Annotation

In the article they are given the results of a comparative analysis of bandages wear of electric locomotives CS2 and CS7 wheelsets (Sverdlovsk-passazhirsky depot), electric locomotives of depots in Sverdlovsk and Nizhny Tagil, VL11 electric locomotives of depots in Sverdlovsk, Perm-sortirovochnaya, Smychka, Ishim. Wheel set bandages of the first control group of rolling stock were treated with tribotechnical composition NIOD, for the second control group the technical solution of the wear bandages problem currently applied on railways was used. On the basis of probability theory and mathematical statistics, based on the criterion of maximum resource of wheelsets bandages before turning for electric locomotives CS2 and CS7, ER1, ER2 and ET2 the application of tribotechnical composition allowed to increase resources before turning from 1.4 to 2.41 times.

Key words: wheel set, bandage, tribotechnical composition, ridge, resource.

Проблема бокового износа рельсов и гребней колесных пар в настоящее время имеет большое значение при эксплуатации подвижного состава на сети железных дорог. Возникает угроза безопасности движения, что вызывает значительные дополнительные расходы. Острота данной проблемы возрастает по мере снижения срока службы рельсов, бандажей колесных пар локомотивов и цельнокатаных колес вагонов. Более того, в условиях скоростного движения и следования тяжеловесных составов необходимы эффективные средства и методы ее решения.

В результате исследований закономерностей возникновения и накопления местных остаточных деформаций при контактном нагружении установлено, что уже при напряжении порядка 3 ГПа даже у закаленных на высокую твердость (HRC 60 — 62) бандажей или рельсов появляются нарушения их исходной формы, причем значения деформации растут пропорционально четвертой степени расчетного напряжения и при первом нагружении составляют 50 — 85% такого ее уровня, которого она достигает при весьма большом (порядка 10^6) числе нагружения [1].

Интенсивность изнашивания, а следовательно, и ресурс бандажей и рельсов во многом зависит от характера и скорости протекания химических и физических процессов, происходящих в поверхностных слоях металла [2].

Сила трения двух твердых тел (колесной пары и рельса), возникающая при движении подвижного состава, совершает некоторую работу, большая часть которой переходит во внутреннюю энергию. В результате повышается температура контактирующих поверхностей, достигая максимума в месте пятна контакта. Помимо этого идет процесс адгезионного изнашивания, зависящий от шероховатости взаимодействующих поверхностей, твердости материала, нагруженности зоны контакта.

Анализ исследований показывает, что самые приемлемые технические решения проблемы износа колеса и рельса — это унификация и рационализация профиля бандажа, увеличение

e-mail: byinosov@mail.ru, va.tikhonov@yandex.ru

прочности бандажей и рельсов, лубрикация, повышение качества ремонта и нормирование пробегов по ресурсу бандажей [3].

Подбирая соответствующие технологические процессы, можно многократно повысить прочность поверхностного слоя, стойкость его к напряжению (износостойкость), а следовательно, увеличить долговечность колесных пар и рельсов, т. е. их технический ресурс и срок службы. В результате исследований были проработаны многочисленные технические и технологические решения повышения износостойкости пары «колесо — рельс».

Основные из них — это применение: современных методов создания прочных материалов для различных условий эксплуатации и получение из них заготовок высокого качества, близких по форме и размерам к готовым деталям; современных технологических приемов, обеспечивающих изготовление деталей заданной точности и стабильности как по размерам, так и по физико-химическим свойствам; современных методов контроля качества материалов, заготовок и готовых изделий по соответствующим показателям надежности; упрочняющей обработки для получения требуемого качества рабочих поверхностей деталей машин с высоким сопротивлением изнашиванию и поломкам в различных условиях эксплуатации.

С целью предотвращения и замедления изнашивания трущихся поверхностей обычно стремятся повысить их твердость. При этом используют традиционные методы повышения твердости деталей и узлов: цементирование, азотирование, поверхностную закалку, наплавку твердыми материалами, цианирование, хромирование и др. К менее распространенным, но находящим все большее применение на железнодорожном транспорте технологиям относится напыление твердых материалов на изнашиваемые поверхности — электродуговое, магнито- и газоплазменное. Наиболее перспективными являются методы, основанные на использовании новейших достижений научно-технического прогресса — лазерная, электронно-лучевая и ионная обработка изнашиваемых поверхностей [4].

В принципе любой из рассматриваемых методов может быть применен в условиях депо, но каждый экономически обоснованный способ упрочнения требует проверки технологии в конкретных условиях для каждого вида упрочняемого изделия. Применяемость метода упрочнения детали определяют дифференцированно по основным факторам, характеризующим внешние и внутренние условия эксплуатации упрочненных изделий, и технико-экономическим возможностям использования метода в сложившихся условиях и в перспективном периоде.

Разработка и применение твердых смазочных и самосмазывающихся конструкционных материалов в узлах трения без смазочного материала поставили много новых задач и потребовали новых нетрадиционных конструкторских и материаловедческих решений. К недостаткам смазывающих материалов (особенно полимерных) следует отнести помимо низкой теплопроводности малую несущую способность, а также потерю эластичности и прочности вследствие утраты пластификатора. Применение этих материалов позволило в ряде случаев отказаться от жидких и пластичных смазочных материалов, что существенно расширило температурный диапазон использования материалов в узлах трения. Одним из больших преимуществ самосмазывающихся материалов является малая скорость газовыделения. Температурный режим их работы в зависимости от служебного назначения колеблется в пределах 200 — 1100°С [5].

Одним из подающих большие надежды методов, разработанных в последнее время и реализуемых с помощью несложного оборудования, является обработка трущихся поверхностей триботехническим составом НИОД (далее — ТС НИОД), название которого расшифровывается как «наружное ионное обменное действие». Это твердое вещество, параметры кристаллической решетки которого очень близки к аналогичным параметрам одной из фазовых составляющих стали, что позволяет ему (при определенных условиях) диффундировать в глубину поверхностного слоя, вызывая упрочняющие дислокации. В основу метода заложен процесс формирования на поверхности контртела ориентированных стеклокерамических пленок, имеющих малую прочность на срез и выдерживающих большое число циклов без разрушения. В процессе трения эти пленки непрерывно создаются и, таким образом, поддерживают толщину поверхностного слоя, в котором локализуются возникающие деформации.

Главными характеристиками для выбора марки материала являются состав рабочей среды, величины рабочих нагрузок, скоростей и температур. Окончательное решение о пригодности выбранного материала для оснащения узла трения должно приниматься только после проведения натурных испытаний [6].

Минералогический и химический состав приведены в табл. 1 и 2. Из минералогического состава видно, что ТС НИОД содержит только природные минералы, следовательно, экологически чист.

Таблица 1 — Минералогический состав ТС НИОД

Минерал	Содержание, %
Серпентин (антигорит + хризотил)	66,9±0,4
Пирротин	3,1±0,3
Кварц	3,3±0,5
Сера самородная	4,4±0,4
Амфибол	2,0±1,0
Магнетит	11,4±0,3
Халькопирит	0,9±0,3

Таблица 2 — Химический состав ТС НИОД

Элемент	Содержание, %
SiO_2	34,4±0,6
TiO_2	0,74±0,09
Al_2O_3	2,7±0,3
Fe_2O_3	14,8±0,4
FeO	6,2±0,5
MgO	29±1
CaO	0,5±0,1
Cr_2O_3	0,47±0,04
MnO	0,16±0,04
Ni	0,44±0,05
S	5,6±0,3
H_2O	0,8±0,1

При обработке ТС НИОД [5]:

- обеспечивается адгезия покрытия к подложке выше, чем у применяемых смазочных материалов, за счет хорошей очистки и высокой энергии конденсирующихся частиц (способствующей необходимой активации поверхностного слоя);
- не требуется дополнительного повышения температуры подложки, благодаря чему сохраняются структура и свойства основного материала;
- обеспечивается возможность нанесения тонких (до 10 мкм) равномерных по толщине покрытий на окончательно обработанные поверхности;
- в зависимости от применяемых материалов пар трения имеется возможность варьировать состав и свойства покрытий в широких пределах;
- существенно повышается износостойкость и надежность трущихся поверхностей колеса и рельса;
- экологическая чистота метода.

В Уральском государственном университете путей сообщения были проведены испытания на стационарной машине трения 2070 СМТ-1. Принцип действия машины заключается в истирании пары образцов типа «диск — диск», прижатых друг к другу определенными усилиями. Испытывались пары трения типа «диск — диск»: 1 — не обработанная ТС НИОД со смазкой ТАД-17И; 2 — обработанная ТС НИОД со смазкой ТАД-17И; 3 — пара трения, обработанная ТС НИОД без смазки. Усилия варьировалась от минимальных рабочих до запредельных (от 200 до 2000 Н). Твердость измеряли твердомером Роквелла, микротвердомером ПМТ-3 и электронным прибором неразрушающего контроля К-61 [7].

При проведении испытаний выявлено наличие трех характерных зон максимального и минимального значений температур и моментов трения (от 2 до 20 Н·м), указывающих на три стадии процесса: абразивное удаление дефектного поверхностного слоя с образованием ювенальной поверхности; дробление ТС НИОД с образованием свободных ионов, диффундирование их в поверхностный слой деталей и модификация поверхностей; удаление упрочненного слоя и дальнейшая приработка поверхностей.

Во всем диапазоне рабочих нагрузок (от 200 до 1250 Н и более) отмечено позитивное влияние ТС НИОД как на время приработки пар трения и уменьшение температуры образцов и моментов трения, так и на изменение микроструктуры поверхностного слоя и триботехнические качества поверхности.

С 1995 г. в локомотивном депо Свердловск-Пассажирский в сотрудничестве с фирмой «Урал-Тест» проводилась обработка гребней бандажей колесных пар пассажирских электровозов серии ЧС2 и ЧС7, электропоездов ЭР1, ЭР2 и ЭТ2. С 1996 г. работы выполнялись и в депо Ишим на электровозах серии ВЛ11, а с весны 1997 г. — в депо Свердловск-Сортировочный, Пермь-Сортировочная, Смычка, Нижний Тагил Свердловской железной дороги и Курган, Челябинск Южно-Уральской железной дороги. Для этого использовались угольные стержни с наполнителем из состава самосмазывающего материала типа НИОД по ТУ 0254-002-23124986-96. В результате была разработана технология нанесения ТС НИОД на гребни колесных пар подвижного состава.

Учитывая результаты проведенных исследований на катковой станции кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения и эксплуатационных наблюдений, была изменена технология обработки составом ТС НИОД гребней колесных пар подвижного состава, увеличена длина угольного стержня с ТС НИОД от 100 до 120 мм, что привело к существенному увеличению ресурса колес до обточки в локомотивных депо.

Схема нанесения ТС НИОД на гребни колесных пар приведена на рис. 1.

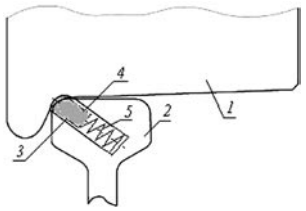


Рисунок 1 — Схема нанесения ТС НИОД на гребни колесных пар

Под воздействием стержня на гребень бандажа частицы ТС НИОД диффундируют в структуру металла. В результате обработки на начальном этапе на поверхности гребня бандажа образуется стеклокерамическое покрытие, которое резко снижает коэффициент трения гребня бандажа и рельса. В процессе эксплуатации под действием высоких давлений, возникающих между колесом и рельсом, состав НИОД внедряется в структуру металла, значительно увеличивая износостойкость гребня.

Для сравнения интенсивности изнашивания бандажей колесных пар, обработанных и не обработанных составом НИОД в локомотивных депо Свердловск-Пассажирский, Свердловск-Сортировочный, Ишим, Пермь-Сортировочная, Смычка и Нижний Тагил Свердловской ж. д., Курган и Челябинск Южно-Уральской ж. д., на кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС был проведен анализ изнашивания бандажей колесных пар пассажирских электровозов ЧС2 и ЧС7, грузовых электровозов ВЛ10 и ВЛ11, электропоездов ЭР1, ЭР2 и ЭТ2.

Первоначальный анализ интенсивности износа гребней колесных пар электровозов ЧС2 и ЧС7 рассматривал сравнительно малый период времени и небольшое количество данных по 7 электровозам разных серий, которое не превышало 30 замеров. Поэтому принято решение об увеличении выборки значений контролируемого параметра. Наблюдения распространили на 74 электровоза серии ЧС2 (69 ед.) и ЧС7 (5 ед.), электропоезда ЭР1 и ЭР2 (5 ед.), электропоезда ЭТ2 (5 ед.), гребни колесных пар которых обработаны составом ТС НИОД.

Причем у 12 электровозов ЧС2 начальная толщина бандажа при обработке ТС НИОД составляла 90 мм, 18 имели начальную толщину бандажа 80 мм, 19 — 70 мм, а 16 — 60 мм. В качестве контрольных были выбраны 43 электровоза, из них серии ЧС2 — 39, ЧС7 — 4. 10 электровозов ЧС2 имели начальную толщину бандажа 90 мм, 12 — 80 мм, 9 — 70 мм и 8 — 60 мм. Контрольными электропоездами являлись все остальные (ЭР1 и ЭР2 — 35 ед., ЭТ2 — 2 ед.) из приписного

парка локомотивного депо Свердловск-Пассажирский. Контрольными грузовыми электровозами являлись все остальные (ВЛ10 — 44, ВЛ11 и ВЛ11^{М} — 140) из приписных парков локомотивных депо Свердловск-Сортировочный, Ишим, Пермь-Сортировочная и Смычка Свердловской железной дороги, Челябинск и Курган Южно-Уральской железной дороги.

В результате наблюдения за большим количеством электроподвижного состава различных серий накоплен обширный материал для сопоставительной оценки работоспособности колесных пар (обработанных и не обработанных составом ТС НИОД) при эксплуатации в одинаковых условиях.

Контролируемые параметры, характеризующие изнашивание и ресурс бандажей колесных пар, — это прокат и толщина гребня. При исследовании изменения контролируемых параметров рассматривались пробег L, отсчет которого производился от момента восстановления (обточка) конфигурации профиля бандажей, и условия эксплуатации электроподвижного состава. Измерения проводились при помощи прибора КИП-03 [8] и штангенциркуля типа ПШВ (ТУ 2-034-655-83). Относительная погрешность измерительного инструмента не превышает 10%.

Контролируемые параметры бандажей колесных пар локомотивов при фиксированном значении пробега хорошо описываются нормальным законом, что является следствием действия закона больших чисел. Плотность распределения

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y-M_y)^2}{2\sigma_y^2}}, \qquad (1)$$

где M_y — математическое ожидание контролируемого параметра;

σ_y — среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра;

Y — текущее значение контролируемого параметра.

Значения числовых характеристик контролируемых параметров и закон распределения позволяют прогнозировать процесс их изменения при больших значениях пробега, определяется ресурс бандажей. Для этого выведены аналитические зависимости среднего значения $m_y(l)$ и среднеквадратического отклонения $\sigma_y(l)$ от пробега вида $y = al + b$, представленные в виде примера для электровозов ВЛ11 (локомотивное депо Пермь-Сортировочная) на рис. 2.

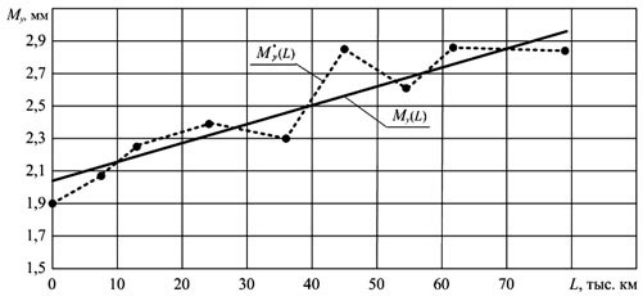


Рисунок 2 — Зависимость среднего значения проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 (локомотивное депо Пермь-Сортировочная)

Величины всех коэффициентов корреляции полученных аналитических зависимостей изменения значений контролируемых параметров бандажей, обработанных и не обработанных составом НИОД, составляют 0,757 — 0,999, что свидетельствует об адекватности линейной аппроксимации, т. е. о достаточно тесной линейной связи контролируемых параметров с величиной пробега L в 7 локомотивных депо Свердловской и Южно-Уральской железных дорог.

В качестве примера в табл. 3 приведены коэфициенты уравенений регрессии износа гребня, на рис. 3 и 4 построены графические зависимости величины среднего значения проката бандажей колесных пар электровозов ЧС2 и электропоездов соответственно.

Таблица 3 — Коэффициенты уравнения функции зависимости среднего значения проката бандажей от пробега

Условия обработки гребней ТС НИОД	A, мм/10^4 км	B, мм	Коэффициент корреляции R_{yl}	90%-й ресурс, тыс. км
Электровозы серии ЧС2, депо Свердловск-Пассажирский				
Необработанные	0,397	0,099	0,989	104,9
Обработанные	0,165	0,183	0,972	158,2
Электропоезда ЭР1, ЭР2 и ЭД2Т, депо Нижний Тагил				
Необработанные	0,495	0,0015	0,984	61,1
Обработанные	0,292	0,0466	0,919	125

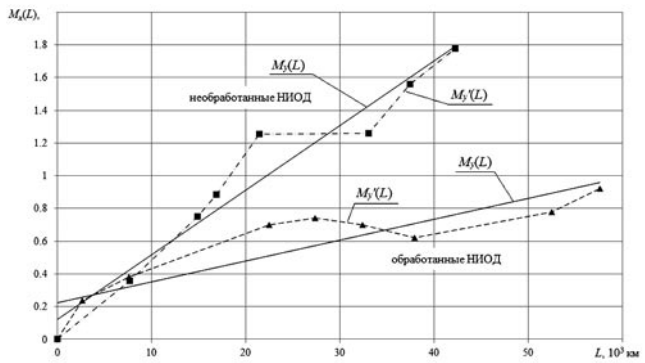


Рисунок 3 — Зависимость среднего значения проката бандажей колесных пар электровозов ЧС2 (депо Свердловск-Пассажирский)

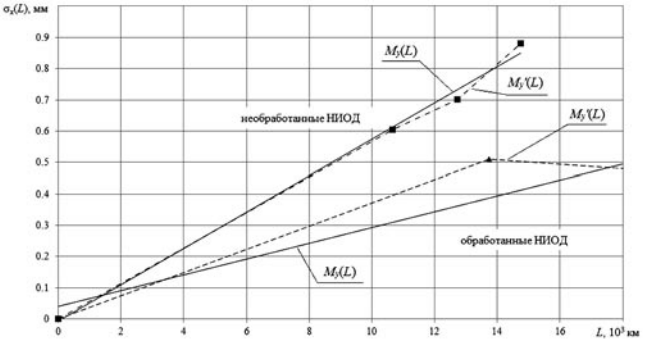


Рисунок 4 — Зависимость среднего значения проката бандажей колесных пар электропоездов ЭР1, ЭР2 и ЭД2Т (депо Нижний Тагил)

Угловые коэффициенты и свободные члены уравнений регрессии контролируемых параметров бандажей с применением и без применения ТС НИОД в различных депо отличаются между собой. Нам нужно было понять: отклонение уравнений регрессии друг от друга только случайно или же оно существенно? Ответ на поставленный вопрос получен при использовании методов теории статистических гипотез [3, 9].

Сравнение проходило в три этапа: проверка гипотезы о равенстве остаточных дисперсий уравнений регрессии контролируемого параметра; проверка гипотезы о равенстве интенсивностей износа бандажей колесных пар; проверка гипотезы о равенстве начальных значений контролируемого параметра. Только в случае, когда не могла быть отвергнута ни одна из проверяемых гипотез, утверждалось, что нет различий между износом бандажей, имеющих разный профиль поверхности катания. Очередной этап проверки начинался лишь тогда, когда не отвергалась предшествующая гипотеза. В противном случае сравнение методов анализа информации прекращалось и считалось, что износ бандажей с разными профилями в статистическом смысле неэквивалентен между собой. Таким образом, только когда не отвергалась ни одна из проверяемых гипотез, утверждалось, что бандажи колесных пар изнашиваются одинаково у электровозов и электропоездов, приписанных к депо Свердловск-Пассажирский, Нижний Тагил, Курган, Челябинск, Свердловск-Сортировочный, Пермь-Сортировочная, Ишим и Смычка.

На основании проверки гипотез о равенстве остаточных дисперсий, угловых коэффициентов уравнений регрессии контролируемых параметров (проката, толщины гребня и бандажа) бандажей с различными профилями в различных депо можно сделать вывод: износ бандажей в статистическом смысле неэквивалентен между собой. Числовые характеристики законов распределения контролируемых параметров намного изменяются с увеличением пробега локомотивов, бандажи колесных пар которых имеют различные профили поверхности катания.

На основании полученных зависимостей $m_y(l)$ и $\sigma_y(l)$ можно прогнозировать процесс изнашивания и определить ресурс бандажей колесных пар. Для этого зависимости $m_y(l)$ и $\sigma_y(l)$ экстраполируют в область больших значений пробега в предположении, что характер этих зависимостей не изменится, т. е. изнашивание колеса останется в пределах периода нормальной эксплуатации [3, 10].

С увеличением пробега L возрастает вероятность отказа P. Для износа гребня вероятность отказа при заданном пробеге

$$P(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y_{доп.}}^{M_y + 3\sigma_y} \frac{1}{\sigma_y(L)} e^{-\frac{(X - M_y(L))^2}{2\sigma_y^2(L)}} dy. \qquad (2)$$

Если восстанавливать конфигурацию изношенного бандажа или производить его замену при наработке (пробеге), не превышающей 90%-го ресурса (P=0,1), то вероятность отказа бандажа в межремонтном периоде не превысит 10% и отклонение межремонтного пробега от установленной величины также окажется в пределах ±10 %, т. е. находится в соответствии с относительной погрешностью применяемого в локомотивных депо измерительного инструмента. Поэтому целесообразно ограничить межремонтные пробеги 90%-м ресурсом [3].

Результаты выполненных расчетов по прогнозированию ресурса бандажей колесных пар электроподвижного состава приведены в табл. 4.

Таблица 4 — Ресурс бандажей колесных пар электровозов и электропоездов до обточки

Начальная толщина бандажей, мм	90%-й ресурс бандажей, тыс. км		Увеличение ресурса бандажей, раз
	обработанных составом НИОД	без обработки составом НИОД	
Электровозы серии ЧС2, депо Свердловск-Пассажирский			
90	199,1	91,0	2,18
80	154,8	86,1	1,79
70	91,6	60,3	1,52
60	66,8	47,6	1,40
Электровозы серии ЧС7, депо Свердловск-Пассажирский			
—	157,2	65,7	2,41
Электропоезда серии ЭР1 и ЭР2, депо Свердловск-Пассажирский			
—	158,2	104,9	1,51
Электропоезда серии ЭТ2, депо Свердловск-Пассажирский			
—	148,8	72,6	2,05
Электропоезда, депо Нижний Тагил			
—	125,0	61,1	2,05
Электровозы ВЛ10, депо Курган, Челябинск			
—	86,8	84,9	1,02
Электровозы серии ВЛ11, депо Свердловск-Сортировочный			
—	58,0	49,7	1,16
Электровозы серии ВЛ11, депо Пермь-Сортировочная			
—	64,2	58,3	1,10
Электровозы серии ВЛ11, депо Ишим			
—	68,25	69,0	0,99
Электровозы серии ВЛ11, депо Смычка			
—	62,0	61,7	1,01

Как видно из табл. 4, применение ТС НИОД в депо Свердловск-Пассажирский и Нижний Тагил (электровозы ЧС2 и ЧС7, электропоезда ЭР1, ЭР2 и ЭТ2) позволило увеличить ресурс бандажей (колес) до обточки от 1,4 до 2,41 раз; установлено: чем толще бандаж электровозов ЧС2, тем эффективнее обработка гребней ТС НИОД.

Однако, как показывают данные табл. 4, эффект от обработки ТС НИОД гребней колесных пар электровозов ВЛ10 и ВЛ11 (депо Курган, Челябинск, Свердловск-Сортировочный, Пермь-Сортировочная и Смычка) более низкий (от 1 до 16%) или даже отрицательный (ВЛ11, депо Ишим). Это обстоятельство объясняется наличием на грузовых электровозах ВЛ10 и ВЛ11 гребневых тормозных колодок ТИИР-303 (дет. М659-000), ТИИР-303/ТИИР-300 (У-21-149) Уральского завода АТИ. ТС НИОД не успевает диффундировать в структуру металла на достаточную глубину, образовавшееся при обработке «карандашом» керамическое покрытие разрушается («сдирается») при торможении гребневой колодкой. При периодическом воздействии на гребень бандажа колодкой образуются риски и задиры, термотрещины и выбоины, а при большом тормозном усилии развивается юз колесных

пар, особенно в кривых участках пути при значительных непогашенных ускорениях, и обработка ТС НИОД становится неэффективной.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Использование «карандаша» с ТС НИОД длиной 120 мм позволяет эксплуатировать электровозы и электропоезда до следующей обточки колесных пар без необходимости пополнения состава.

2. Проведенные стендовые и экспериментальные исследования позволили определить наиболее эффективные конструктивно-технологические решения нанесения ТС НИОД на гребни колесных пар электроподвижного состава.

3. Выявленный относительно низкий эффект увеличения ресурса бандажей грузовых электровозов (ВЛ10 и ВЛ11) от обработки ТС НИОД гребней колесных пар объясняется наличием на них гребневых тормозных колодок.

4. Применение состава НИОД на электропоездах (ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т) и пассажирских электровозах (ЧС2 и ЧС7) позволило увеличить ресурс бандажей до обточки от 1,4 до 2,41 раз.

Литература

1. Буйносов А.П. Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 1999. № 5. С. 22 — 25.

2. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39 — 41.

3. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.

4. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Влияние упрочнения на ресурс бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63 — 68.

5. Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25 — 26.

6. Буйносов А.П. Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16 — 20.

7. Создан прибор неразрушающего магнитного контроля / Кирель Л.А., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Янус Ю.Р., Цыпуштанов А.Г., Трофимов М.Н. // Локомотив. 2000. № 6. С. 24 — 25.

8. Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Трофимов М.Н. Новый измерительный прибор // Локомотив. 1998. № 6. С. 40 — 41.

9. Буйносов А.П. Влияние твердости колеса и рельса на их износ // Локомотив. 1995. № 3. С. 31 — 32.

10. Буйносов А.П. Снизить интенсивность износа гребней // Локомотив. 1995. № 6. С. 31 — 32.

References

1. Bujnosov A. P. Wheel and rail interaction // Put i putevoe hozjajstvo. 1999. № 5. S. 22–25.

2. Bujnosov A.P. Bandages and rails wear: causes and ways to reduce them // Zheleznodorozhnyj transport. 1994. № 10. S. 39–41.

3. Bujnosov A. P. Main causes of intensive wear of electric locomotives' wheelsets' bandages and methods. Ekaterinburg : Izd-vo UrGUPS, 2009. 224 s.

4. Bujnosov A. P., Hudojarov D. L. Hardening influence on wheelsets bandages resources // Transport Urala. 2010. № 1 (24). S. 63–68.

5. Bujnosov A. P., Kuzmin K. A. Bandages treatment with tribotechnical composition // Lokomotiv. 1996. № 3. S. 25–26.

6. Bujnosov A. P. Evaluation of used materials for production wheelsets bandages and rails // Tjazheloe mashinostroenie. 2000. № 11. S. 16–20.

7. The development of device of nondestructive magnetic check / Kirel L. A., Bujnosov A. P., Nagovicyn V. S., Janus Ju. R., Cypushtanov A. G., Trofimov M. N. // Lokomotiv. 2000. № 6. S. 24–25.

8. Bujnosov A. P., Cihalevskij I. S., Trofimov M. N. New measuring device // Lokomotiv. 1998. № 6. S. 40–41.

9. Bujnosov A. P. Influence of wheel and rail firmness on their wear // Lokomotiv. – 1995. – № 3. – S. 31–32.

10. Bujnosov A. P. How to reduce flanges wear // Lokomotiv. 1995. № 6. S. 31–32.

УДК 625.111

Леонид Александрович Дюкарев, аспирант кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС, Москва)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОДНОПУТНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СТАДИИ ОБОСНОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ

Leonid A. Dyukarev, PhD student of "Railway survey and construction" department Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

Detection Of Standard Construction Duration Of Single-Track Railway At Investments Justification Stage

Аннотация

Указаны особенности обоснования эффективности проектных решений при проектировании железных дорог. Отмечена важность учета показателя продолжительности строительства.

Расчет продолжительности строительства на ранней стадии разработки проекта позволяет учесть фактор времени как наиболее важный показатель строительного производства.

На основании нормативно-технических документов предложена методика определения продолжительности строительства однопутной железной дороги. Предложено автоматизировать расчеты для учета на предпроектной стадии и технико-экономического обоснования эффективности проектных решений. Решена поставленная задача и представлены графики продолжительности строительства в зависимости от длины проектируемой линии.

Ключевые слова: продолжительность строительства, проект организации строительства, технико-экономическое обоснование, проектные решения, капитальные вложения, обоснование инвестиций.

Annotation

Peculiarities of efficiency justification of design decisions at railway construction are given. The significance of construction duration record is shown. Calculation of construction duration at the early stage of project design let to consider time effect as the most important factor of construction.

According to technological normative documents there is offered the method of construction detection of a single-track railway. It is considered to automize the calculations for record at the preconstruction stage and feasibility study of project decision efficiency. The problem is solved and the graphs of construction duration depending on project line are presented.

Key words: construction duration, construction organization project, feasibility study, project decisions, capital investments, investments justification.

Необходимость определения продолжительности строительства железной дороги на стадии обоснования инвестиций

Оценка эффективности инвестиционных проектов развития железнодорожного транспорта включает в себя систему показателей, критериев и методов оценки проектов в процессе разработки и реализации мероприятий и комплексных программ развития железнодорожного транспорта, применяемых на различных уровнях управления.

Субъектами оценки эффективности инвестиционных проектов по развитию железнодорожного транспорта являются [1]:

- участники реализации инвестиционных проектов независимо от форм собственности (ОАО «РЖД» и его филиалы, транспортные компании, операторы подвижного состава);
- разработчики инвестиционных проектов (ОАО «РЖД» и его филиалы, транспортные компании, операторы подвижного состава, научные организации, инвестиционные и инновационные фонды, консалтинговые компании);
- органы управления федерального, регионального или местного уровня;
- другие участники разработки и реализации инвестиционных проектов, а также лица и организации, осуществляющие экспертизу таких проектов.

При экономической экспертизе инновационных проектов очень важно обеспечивать комплексную оценку эффективности мероприятий научно-технического прогресса, определять конкурентоспособность транспортных технологий, учитывать затраты по полному жизненному циклу производственно-экономических систем.

Оценка эффективности мероприятий и комплексных программ развития железнодорожного транспорта использует методы, сложившиеся в мировой практике.

В качестве основных показателей эффективности проекта в настоящее время используются: чистый доход; чистый дисконтированный доход; внутренняя норма доходности; модифицированная внутренняя норма доходности; потребность в дополнительном финансировании; срок окупаемости.

Кроме этих показателей, особое внимание в современных экономических условиях уделяется продолжительности строи-

e-mail: DjukarevLA@yandex.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 30.08.11

тельства. Одной из важнейших проблем строительной сферы в России является нерациональное расходование капитальных вложений. Самая существенная причина — слишком продолжительный инвестиционный процесс. Инвестиционные проекты, реализация которых превышает нормативные показатели, являются экономически убыточными и становятся морально и физически устаревшими уже на этапе начала строительства. Нарушение нормативных сроков строительства может значительно снизить экономический эффект.

Расчет продолжительности строительства на ранней стадии разработки проекта позволяет учесть фактор времени как наиболее важный показатель строительного производства. Продолжительность строительства служит основным показателем эффективности капитальных вложений.

Задачей исследования является автоматизация расчета продолжительности строительства на предпроектной стадии для целей технико-экономического обоснования эффективности проектных решений.

Определение нормативной продолжительности строительства однопутной железной дороги

Продолжительность — это время строительства сооружения с начала подготовительных работ до приемки объекта в эксплуатацию. Данный показатель является одним из основных на всех этапах экономической, проектной, плановой, организационной подготовки и непосредственного осуществления строительного процесса.

Продолжительность строительства определяется при оптимальном использовании ресурсов, рациональной организации работ и применении общепринятых технологических методов. При этом учитывается положительный опыт и практика строительства объектов с применением прогрессивных строительных материалов и организационно-технологических методов.

Продолжительность строительства зданий и сооружений требуется определять при планировании инвестиций, при разработке технико-экономических обоснований (ТЭО), выполнении технико-экономических расчетов (ТЭР) и при составлении проектов организации строительства (ПОС). Обоснование принятой продолжительности строительства объекта капитального строительства и его отдельных этапов в составе ПОС предписано Постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.08 № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию» [2].

Основными нормативно-техническими документами, используемыми в настоящее время при определении продолжительности строительства зданий и сооружений, являются следующие.

1. СНиП 1.04.03-85*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений [3].

2. МДС 12-43.2008. Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений [4].

3. МДС 12-81.2007. Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ [5].

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.08 № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию» [2].

При определении продолжительности строительства в первую очередь выделяют объекты и работы подготовительного и основного периода.

Подготовительный период строительства железных дорог определяется от начала работ по подготовке строительной площадки и до начала работ по возведению сооружений. В состав строительных работ подготовительного периода прежде всего входят: освоение территории строительства, включающее расчистку полосы отвода со срезкой кустарника, рубкой леса и корчевкой пней, осушительные работы, снос и перенос строений и коммуникаций, мешающих строительству, создание базовых поселков для строителей и их семей, постройка и оборудование индустриальных и ремонтных предприятий и карьеров для добычи строительных материалов. Кроме того, к строительным работам подготовительного периода относятся сооружение автомобильных дорог, устройство временных источников и сетей водо- и электроснабжения, постройка временных зданий и сооружений.

В основной период строительства возводится земляное полотно с водоотводными сооружениями, укрепляются его откосы, строятся искусственные сооружения. Затем укладывается путь, производится его балластировка, возводятся здания и сооружения, необходимые для первоначальной эксплуатации строящейся дороги.

Нормативная продолжительность строительства объектов транспорта устанавливается на основании СНиП 1.04.03-85 [3], выписка из которого приведена в табл. 1. Нормы продолжительности строительства новых железных дорог установлены для однолучевой и двухлучевой организации строительства.

Согласно СНиП 1.04.03-85, при определении продолжительности строительства объектов в различных природно-климатических районах страны могут применяться следующие коэффициенты.

1. Зона К = 1,6 — Магаданская обл.; Ненецкий автономный округ; Архангельская обл.; Камчатская обл.; Таймырский и Эвенкийский автономные округа; Чукотский автономный округ; Сахалинская обл.; Ханты-Мансийский автономный округ (севернее 60-й параллели); Ямало-Ненецкий автономный округ; Хабаровский край; Республика Саха (Якутия) (севернее 60-й параллели).

2. Зона К = 1,4 — Мурманская обл., за исключением Мурманска; гг. Дудинка, Игарка, Норильск и Туруханский район Красноярского края; Республика Саха (Якутия) (южнее 60-й параллели).

3. Зона К = 1,2 — Амурская обл.; Архангельская обл., за исключением Архангельска и Северодвинска; Республика Бурятия, за исключением Улан-Удэ; Республика Карелия, за исключением Петрозаводска; Коми-Пермяцкий автономный округ; Мурманск; Иркутская, Новосибирская, Омская, Томская области и Красноярский край севернее Транссибирской железнодорожной магистрали, за исключением городов, расположенных на этой магистрали, а также Братска и Томска; Пермская обл. севернее 60-й параллели; Приморский край, за исключением Владивостока и Находки; Республика Тува; Ханты-Мансийский автономный округ (южнее 60-й параллели) Тюменской обл.; Хабаровский край, за исключением Комсомольска-на-Амуре, Советской Гавани и Хабаровска; Читинская обл., за исключением Читы.

Таблица 1 — Нормативная продолжительность строительства однопутной железной дороги на основании СНиП 1.04.03-85

№ п/п	Объект	Характеристика		Норма продолжительности строительства, мес.	
				общая	в том числе подготовит. период
1	Однопутные железные дороги	Дороги нормальной колеи с полным комплексом устройств и постоянных сооружений, км			
		при необходимости строительства притрассовой автомобильной дороги	при возможности проезда без строительства автомобильной дороги		
		при однолучевой организации строительства			
		до 70	до 150	33	6
		71 — 150	151 — 300	45	6
		при двухлучевой организации строительства			
		до 140	до 300	33	6
		141 — 300	301 — 600	45	6
2	Электрификация железных дорог	Протяженность однопутных, км			
		от 20 до 100		14	2
		от 100 до 200		18	3

Продолжительность строительства железнодорожной линии, длина которой отличается от приведенных в нормах (см. табл. 1) и находится в интервале между ними, определяется интерполяцией, а за пределами максимальных или минимальных значений норм — экстраполяцией.

При экстраполяции длина линии не должна быть больше удвоенной максимальной или меньше половины минимальной мощности, указанной в табл. 1 [3]. При экстраполяции продолжительность строительства определяется расчетом, с учетом того что на каждый процент изменения длины продолжительность строительства меняется на 0,3% [4].

1. *Определение продолжительности строительства методом интерполяции*

Продолжительность строительства на единицу прироста длины равна

$$T_L = \frac{(T_2 - T_1)}{(L_2 - L_1)}, \quad (1)$$

где L_1, L_2 — границы интервала, приведенные в нормах табл. 1, в который попала длина проектируемой железнодорожной линии;

T_1, T_2 — соответственно продолжительность строительства для данных границ интервала.

Прирост длины

$$\Delta L = L_{\text{пр}} — L_1, \quad (2)$$

где $L_{\text{пр}}$ — длина проектируемой железнодорожной линии.

Продолжительность строительства T с учетом интерполяции будет равна

$$T = \Delta L \cdot T_L + T_1. \quad (3)$$

При подстановке всех неизвестных в формулу (1) продолжительность строительства методом интерполяции определяется как

$$T = \frac{T_1 \cdot (L_2 - L_{пр}) + T_2 \cdot (L_{пр} - L_1)}{(L_2 - L_1)}. \quad (4)$$

2. *Определение продолжительности строительства методом экстраполяции*

Увеличение (уменьшение) длины, выраженное в процентах:

$$+\Delta_L = \frac{L_{пр} - L_{\max}}{L_{\max}} 100\%; \quad (5)$$

$$-\Delta_L = \frac{L_{\min} - L_{пр}}{L_{пр}} 100\%, \quad (6)$$

где $L_{\max}$, $L_{\min}$ — соответственно максимальное и минимальное значение длины линии в нормах табл. 1;

$+\Delta_L$, $-\Delta_L$ — увеличение или уменьшение длины, %.

Прирост (уменьшение) к норме продолжительности строительства в процентах равен:

$$+\Delta T = +\Delta_L \times 0{,}3; \quad (7)$$

$$-\Delta T = -\Delta_L \times 0{,}3. \quad (8)$$

Продолжительность строительства с учетом экстраполяции

$$\mathrm{T} = T_{н\max/\min} \cdot \frac{(100 \pm \Delta T)}{100}, \quad (9)$$

где $T_{н\max/\min}$ — соответственно нормативное максимальное и минимальное значение продолжительности строительства в табл. 1.

Итоговые формулы для определения продолжительности строительства методом экстраполяции примут вид:

при превышении проектной длины над максимальным значением норм

$$\mathrm{T} = T_{н\max}(1 + \frac{(L_{пр} - L_{\max})}{L_{\max}} \cdot 0.3); \quad (10)$$

при проектной длине меньше минимальных значений норм

$$\mathrm{T} = T_{н\min}(1 - \frac{(L_{\min} - L_{пр})}{L_{пр}} \cdot 0.3). \quad (11)$$

На основании формул (4), (10), (11) и по нормативным показателям строительства однопутной железной дороги табл. 1 [3] построены графики изменения продолжительности строительства в зависимости от протяженности железнодорожной линии (рис. 1, 2).

Графики изменения продолжительности строительства представлены для однопутных железных дорог без учета электрификации. При строительстве однопутных железных дорог и вторых путей с одновременной их электрификацией к норме продолжительности строительства дорог следует прибавлять норму продолжительности строительства электрификации с коэффициентом 0,5 [3].

Выводы

Показатель продолжительности строительства и рациональное распределение работ во времени приводят к экономии расходов строительного производства; к получению экономического эффекта от досрочного ввода в действие основных производственных фондов строящегося объекта, к сокращению средств, привлекаемых из народного хозяйства; к эффекту более рационального распределения капитальных вложений.

Важность показателя «продолжительность строительства» определяется тем фактом, что этап строительства является наиболее длительным во всем инвестиционном процессе по сравнению с проектированием и освоением мощностей.

Полученные графики позволяют максимально быстро определить продолжительность строительства однопутной железнодорожной линии и облегчить работу проектировщика. Расчет продолжительности строительства на стадии обоснования инвестиций дает возможность учесть фактор времени, влияющий на эффективность капитальных вложений и срок окупаемости.

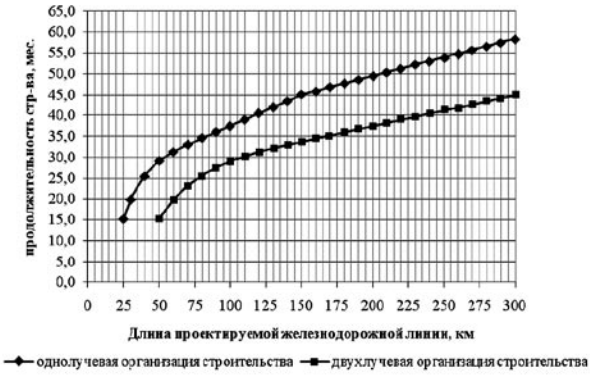


Рисунок 1 — Продолжительность строительства однопутной железной дороги при необходимости строительства притрассовой автомобильной дороги

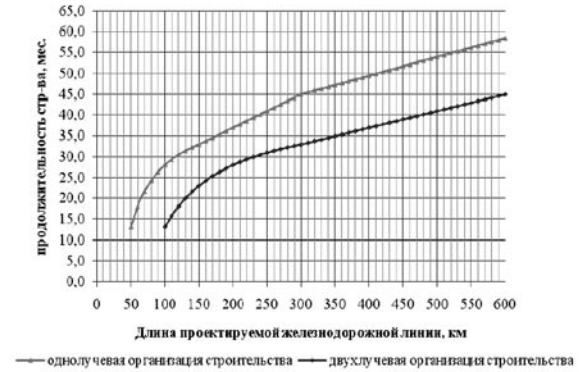


Рисунок 2 — Продолжительность строительства однопутной железной дороги без строительства притрассовой автомобильной дороги

Литература

1. Экономика железнодорожного транспорта : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терешина, В.Г. Галабурда, М.Ф. Трихунков и др.; под ред. Н.П. Терешиной, Б.М. Лапидуса, М.Ф. Трихункова. М. : УМЦ ЖДТ, 2006

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.08 № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию».

3. СНиП 1.04.03-85. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений / Госстрой РФ. М. : Стройиздат, 1991. 552 с.*

4. Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений : МДС 12-43.2008 / ЗАО «ЦНИИОМТП». М. : ОАО «ЦПП», 2008.

5. Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ : МДС 12-81.2007 / ЗАО «ЦНИИОМТП». М. : ОАО «ЦПП», 2007.

References

1. Economics of railway transport : Ucheb. dlja vuzov zh.-d. transporta / N.P. Tereshina, V.G. Galaburda, M.F. Trikhunkov i dr.; Pod red. N.P. Tereshinoy, B.M. Lapidusa, M.F. Trikhunkova. M.: UMTS ZhDT, 2006.

2. Russian Federation Government decree from 16.02.2008 № 87. «O sostave razdelov proektnoj dokumentatsii i trebovanija k ih soderzhaniju».

3. Standards of construction duration and groundwork for enterprises construction, buildings and facilities /Gosstroj RF. M.: Strojizdat, 1991. 552s.

4. Norms setting of buildings and facilities construction duration: MDS 12-43.2008 / ZAO «TSNIIOMTP». M.: OAO «TSPP», 2008.

5. Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke i oformleniyu proekta organizatsii stroitelstva i proekta proizvodstva

УДК 621.315.65(08)

Татьяна Анатольевна Несенюк, старший преподаватель кафедры электроснабжения транспорта Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС, Екатеринбург)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗОЛИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Tatyana A. Nesenyuk, senior teacher of "Transport Power Supply" Department (USURT, Ekaterinburg)

Diagnostis Of Insulating Constructions

Аннотация

В статье рассмотрена необходимость непрерывной диагностики изолирующих устройств при эксплуатации энергосистем. Выявление дефекта изоляторов на начальной стадии развития позволяет избежать экономических потерь, вызываемых недоотпуском электроэнергии потребителям при поиске замыкания и устранении неисправных устройств. Рассмотрены методы непосредственной и косвенной оценки контроля фарфоровой изоляции. Изучены факторы, вызывающие старение изоляторов наружной установки при эксплуатации. Предложено использовать свойства электрохромного эффекта, применяемого в нанотехнологиях, для создания индикатора. Изменение цвета на индикаторе при прохождении токов утечки неисправной изолирующей конструкции позволяет выявить дефект при визуальном осмотре электротехническим персоналом при техническом обслуживании или в случае аварии.

Ключевые слова: изолирующие конструкции, дефекты изоляторов, индикатор, диагностика.

Annotation

In the article there is viewed the necessity of continuous diagnostics of insulating devices at power supply system operation. Defect identification of insulators at early stage of development let to avoid economic losses caused by energy under supply for consumers at short circuit search and defective devices repair. The methods of direct and indirect estimation of porcelain insulation control are considered. The factors causing ageing of insulators' exterior installation at service are examined. There is offered the use of electrochromic effect qualities applied in nanotechnologies for indicators' creation. The change of colour on an indicator at leakage current passage of defective insulating construction let to detect defects at visual check by electrotechnical staff at technical service in case of accident.

Key words: insulating constructions, insulators defects, indicator, diagnostics, visual control.

Микроструктура материалов высоковольтных изоляторов в наибольшей степени влияет на качество изоляции при длительной эксплуатации. Цель статьи —доказательство необходимости непрерывного диагностирования изоляторов. Незначительное снижение механических характеристик изоляторов позволяет продолжить их дальнейшую эксплуатацию, но в случае повторяющихся воздействий, вызывающих дефект, может произойти пробой дефектной изоляции, сопровождающийся, как правило, замыканием на землю. Выявить пробой изолятора — непростая задача.

В качестве примера возьмем линии напряжением 6 — 35 кВ, составляющие основу распределительных сетей. Для линий с изолированной нейтралью до сих пор реально не существует эффективных методов дистанционного определения мест повреждений. Это обусловлено спецификой распределительных сетей, где не применяются регистраторы аварийных режимов и высокочастотная обработка линий. Сети данного класса имеют сильно разветвленную древовидную топологию, при этом токи однофазных замыканий на землю (033) не превышают 30 А. При кажущейся безобидности небольших токов и увеличении до линейного фазных напряжений последствия однофазных замыканий могут сопровождаться износом изоляции, возникновением перемежающейся электрической дуги, что в дальнейшем может привести к двухфазным и трехфазным замыканиям с большими, в несколько килоампер, токами и к более тяжелым повреждениям в сетях. При настоящем дефиците электроэнергии замыкания на землю могут стать причиной недоотпуска электроэнергии потребителям и, как следствие, значительных экономических потерь у предприятий, занимающихся поставкой электрической энергии. Возникает необходимость не только быстрого обнаружения данного вида замыкания, но и определения места замыкания, а в дальнейшем и быстрой ликвидации однофазного замыкания в сетях с изолированной нейтралью.

В настоящее время процесс поиска места повреждения на воздушных линиях делят на два этапа. На первом определяется расстояние до повреждения одним из дистанционных способов. Это расстояние измеряется с некоторой погрешностью. На втором этапе непосредственно на линии находится место повреждения при помощи трассовых методов определения (ОМП). Здесь идет достаточно трудоемкий процесс установления расстояния до точки замыкания (обрыва) квалифицированным электротехническим обслуживающим персоналом.

e-mail: tnesenuk@mail.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 13.09.11

Причинами замыкания на землю могут служить неисправность оборудования, перекрытие ветками деревьев, обрыв и схлестывание проводов, неустойчивое положение опоры и др. Некоторые причины 033 можно определить визуально и устранить последствия замыкания, но внутренний износ изоляторов выявить достаточно сложно. Здесь необходимо специальное оборудование и время на обнаружение и устранение дефекта.

Неизвестна статистика эффективности методов диагностики состояния находящихся в работе изоляторов энергопредприятий. Эта задача в настоящее время остается нерешенной, поэтому эксплуатирующие организации, как правило, не имеют достоверной информации о фактическом состоянии находящихся в работе линейных изоляторов.

Информационный поиск и анализ отечественной и зарубежной технической литературы показал, что ни в РФ, ни за границей проблема оперативной диагностики состояния распределительных электросетей в настоящее время не решена. Разнообразие видов и характеров повреждений пока не позволило найти какой-либо универсальный метод диагностики изоляции, что затрудняет обнаружение дефекта, увеличивает время поиска и приводит к экономическим потерям [1].

В большинстве энергосистем (80%) осмотры изоляторов проводятся с поверхности земли в дневное время суток с помощью оптических приборов. При этом повсеместно используются различные бинокли. Для диагностики достаточно широко применяются специальные оптические приборы (тепловизоры, электронно-оптические дефектоскопы, пирометры и др.). Осмотры в дневное время суток с применением специальных оптических приборов проводят не более 10 сетевых компаний.

В настоящее время существует более десятка методов контроля фарфоровой изоляции (табл. 1). Они подразделяются на методы непосредственной оценки и методы косвенной оценки. Рассматривая методы непосредственной оценки, можно сделать вывод о нерациональности их применения к дефектоскопии линейных изоляторов, так как это сопровождается отключением линии и оборудования. Кроме того, при непосредственной оценке состояния изоляции существует необходимость соприкосновения контрольно-измерительного прибора с поверхностью изолятора, что требует подъема рабочего персонала на опоры ВЛ.

Методы косвенной оценки позволяют проверять состояние изоляции без отключения линии. К таким методам относятся бесконтактная пирометрия и тепловидение (тепловой неразрушающий контроль), а также метод, основанный на выявлении коронных и частичных разрядов с помощью ультрафиолетовых камер (рис. 1).

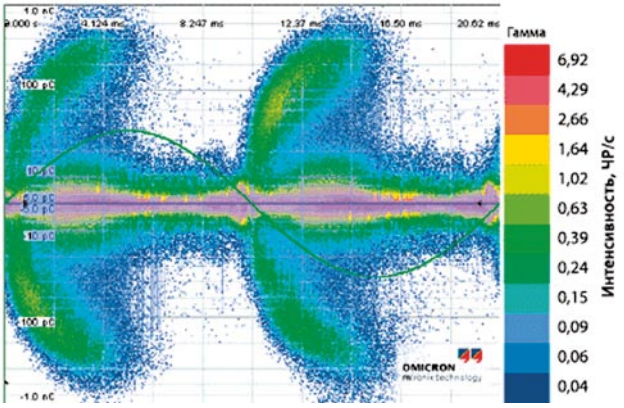


Рисунок 1 — Измерение частичного разряда без фильтрации

Визуальный контроль изоляторов осуществляется при периодических осмотрах, при поиске причин замыканий на землю, во время текущего и капитального ремонта, во время профилактических испытаний. Но в полной мере визуальный осмотр не способен предоставить полноту и объективность информации о состоянии изоляторов. При длительном воздействии многочисленных эксплуатационных факторов происходит изменение свойств изоляторов [2]:

- трекинго-эрозионное старение защитной оболочки под действием термоокислительных и гидрологических процессов;
- воздействие солнечной радиации;
- разрушение стеклопластика и контактных зон длительно существующими частичными разрядами;
- механическое разрушение тела изолятора в результате возникновения микротрещин (в особенности в сочетании с кислотной средой и электрическим полем — так называемый «хрупкий излом»);
- многократные температурные колебания в сочетании со значительной механической нагрузкой.

Контроль изоляции осуществляется посредством испытания ее при повышенном напряжении либо косвенными методами: по сопротивлению изоляции, по величине угла диэлектрических потерь, путем измерения распределения напряжения (по изоляторам гирлянды) и индикации частичных разрядов и др. Дефекты в изоляции развиваются постепенно, причина их во многих случаях связана с проникновением влаги. Профилактические испытания выявляют элементы изоляции с повышенной вероятностью повреждения, что дает возможность своевременно устранить опасность аварии. Профилактика изоляции позволит сократить аварийность электрических установок. Заводы-изготовители

Таблица 1 — Методы контроля фарфоровой изоляции

<table>
<tr><td colspan="4">Методы непосредственной оценки</td><td>Методы косвенной оценки</td></tr>
<tr><td colspan="4">Ультразвуковая импульсная дефекто- и структурометрия</td><td rowspan="3">Методы выявления коронного и частичного разрядов</td></tr>
<tr><td colspan="4">Метод акустической эмиссии</td></tr>
<tr><td colspan="4">Метод фуксиновой пробы под давлением</td></tr>
<tr><td colspan="4">Звуковые и низкочастотные методы</td><td rowspan="2">Методы выявления водонаполненного фарфора</td></tr>
<tr><td>Метод сквозного прозвучивания</td><td>Метод свободных колебаний</td><td>Вибрационный (резонансный) метод</td><td>Ультразвуковой метод</td></tr>
</table>

не предусматривают специальных диагностических средств выявления дефекта.

При появлении тока утечки, который направлен от изолятора к заземленной конструкции, свойства индикатора будут изменяться, что позволит определить дефектный изолятор. Сам индикатор может устанавливаться на каждый изолятор или трехфазную группу. В качестве индикатора могут использоваться блинкер, предохранитель с капсулой, радиоустройства с дистанционным управлением. Недостатки этих устройств:

- временные затраты на специальное техническое обслуживание;
- влияние климатических условий при эксплуатации в районах России.

Мы предлагаем установить необслуживаемый индикатор, встроенный в изолирующую конструкцию, который может выявить дефект на ранней стадии его развития. Это позволяет предотвратить аварии при периодическом контроле со своевременной заменой изоляционных конструкций. Время поиска места повреждения при ОЗЗ значительно сокращается, учитывая, что видимость пробоя изолятора ранее отсутствовала.

В качестве индикаторов при прохождении токов утечки мы советуем использовать электрохромный эффект. В качестве электрохромного материала предлагается применять оксидные вольфрамовые бронзы (ОБВ), которые изменяют свой цвет при поляризации в жидком электролите.

Триоксид вольфрама обладает специфической структурой, позволяющей за счет пустот между элементарными ячейками вмещать в себя различные катионы. Изменение светопускания пленок WO_3 связано с инжекцией в них относительного заряда электронов и протонов и образованием нестехиометрических соединений [3]. Приведено общее описание процесса электрохимической реакции

$$WO_3+xe^-+xM^+ \leftrightarrow M_xWO_3,$$

где M^+ — ион внедрения (H, Li, Na, K, Cs и др).

Процесс окрашивания — обесцвечивания основан на межвалентном переносе заряда. Электроны во время окрашивания захватываются центрами переходных металлов.

Когда на электроде отрицательный потенциал, из него в WO_3 инжектируются электроны, а из электролита — катионы. При этом цвет изменяется от бледно-серого до голубого или синего. Индикаторы можно использовать неоднократно. Изменяя полярность проходящего тока, индикатор обесцвечивается. Таким образом, себестоимость индикатора уменьшится благодаря происходящим процессам.

В результате применения данной технологии можно визуально обнаружить дефект изолирующего устройства, что не только поможет выявить неисправность, но и предупредить ее на ранней стадии развития.

Литература

1. Несенюк Т.А. Методы поиска однофазных замыканий в электрических сетях 6 — 35 кВ // Транспорт Урала. 2011. № 1 (28). С. 77 — 82.

2. Соловьев Э.П., Ярмаркин М.К. Выбор наружной полимерной изоляции на основе опыта длительной эксплуатации // Энергетика и промышленность России. 2005. № 12 (64). [Электронный ресурс]. URL : http://www.eprussia.ru/epr/64/4256.htm

3. Хубулов Б.М., Хоконова Ж.Х. Электрохромные пленки оксидных калий-вольфрамовых бронз // Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы. [Электронный ресурс]. URL : http://www.ptosnm.ru/catalog/i/596

References

1. Nesenyuk T.A. Methods of single-phase circuit search in electric mains 6 — 35 kV //Transport Urala. 2011. № 1(28). S. 77 – 82.

2. Solovjev E. P., Yarmarkin M. K. Choice of external polymer insulation on the base of continuous service experience // Energetika i promyshlennost Rossii. 2005. № 12 (64). http://www.eprussia.ru/epr/64/4256.htm

3. Patent:2012024 Klass(y) patenta:G02F1/17 [Patent: 2012024 Klass(y) patenta:G02F1/17] Nomer zayavki: 4954393/25 Data podachi zayavki:14.06.1991

УДК 614.846.6:621.43.016

Михаил Александрович Савин, кандидат технических наук, доцент, заведующий кабинетом кафедры пожарной безопасности в электроустановках Уральского института ГПС МЧС России (УрИ ГПС МЧС России)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ГАРАЖА

Mikhail A. Savin, PhD, associate professor, head of fire safety office in electrical installations of the Firefighters' Ural Institute of The Ministry of Emergency Situations

The Results Of Experimental Study Of A Special Car's Engine Cooling Dynamics At Garage Conditions

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по вопросу уменьшения темпа охлаждения функциональных систем двигателя внутреннего сгорания после его остановки в условиях пожарного депо. Экспериментально-расчетным путем установлено влияние термостата на динамику охлаждения двигателя. Оценка достоверности результатов экспериментов проведена при помощи t-критерия Стьюдента с использованием возможностей пакета анализа MS Excel.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, радиатор, жалюзи, термостат, темп охлаждения, t-критерий Стьюдента.

Annotation

The research results of cooling rate reduce of internal combustion engine functional systems after it stoppage at a fire station are given. By experimentally-calculated method it is found the influence of thermostat on engine's cooling dynamics. Estimation of experiments' results reliability is carried out by t-test with the use of Packet Analysis MS Excel means.

Key words: internal combustion engine, radiator, blinds, thermostat, cooling rate, t-test.

Актуальность прикладной задачи

Пожары — это мощный фактор, негативно влияющий на социально-экономическую, техногенную и экологическую безопасность государства. В 2002 — 2006 гг. в России ежегодно происходило порядка 220 — 260 тыс. пожаров, в результате которых погибли до 19 тыс. человек. Осенью и зимой в стране от пожаров регистрируется в 1,5 раза больше летальных исходов, чем в другие периоды года.

Гибель почти 96% от общего числа погибших при пожарах происходит непосредственно на месте пожара в его начальной стадии [1]. Поэтому сокращение времени свободного развития пожара весьма актуально для нашей страны [2, 3]. Так, для снижения гибели людей при пожарах примерно на 4 тыс. человек в год необходимо сократить среднее время сообщения о пожаре и среднее время следования на пожар на 15 мин от существующего в настоящее время [2]. Действительно, по расчетам автора, каждая минута среднестатистического пожара в 2007 г. обошлась российскому обществу свыше 2 600 руб. полного ущерба и гибелью более 6,3 человек на каждые 100 пожаров [4]. Последнее в 3,1 раза превышает соответствующий британский показатель середины 70-х гг. прошлого века.

Минимизация летальных исходов в результате пожаров может быть достигнута за счет ряда технических и организационных мер. К ним относятся: обеспечение объектов экономики и жизнедеятельности автоматическими установками извещения; адаптация пожарных автомобилей (ПА) к условиям эксплуатации, совершенствование пожарно-технического оборудования и систем пожарной связи, рациональная дислокация пожарных депо в гарнизонах и т. п.

Так, уменьшить количество жертв на пожарах, особенно в низкотемпературных условиях, возможно посредством улучшения динамических характеристик ПА. Для интенсификации послепускового прогрева двигателя ПА при следовании к месту вызова в условиях низких температур автором предложено применять в дополнение к штатному теплоизолирующему комплексу (термостат, отключаемый вентилятор, чехол на капот и облицовка радиатора), дополнительные жалюзи либо шторку, смонтированные на радиаторе жидкостной системы

e-mail: sawina@mail.ru

Дата поступления рукописи в издательство: 23.09.11

охлаждения (СО) между радиатором и вентилятором двигателя внутреннего сгорания (ДВС) (рис. 1) [5].

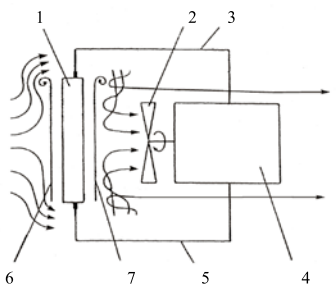


Рисунок 1 — Жидкостная система охлаждения двигателя: 1 — радиатор; 2 — вентилятор; 3 — подводящий трубопровод; 4 — блок цилиндров с рубашкой охлаждения и помпой; 5 — отводящий трубопровод; 6 — штатные жалюзи (шторка); 7 — дополнительный экран радиатора — жалюзи (шторка)

Такое техническое решение позволяет оставить в ДВС практически всю теплоту, выделяющуюся при сгорании топлива. Это обеспечивает сокращение времени оперативного реагирования. Экспериментально установлено, что время следования пожарной автоцистерны АЦ-40(130) по типовому маршруту протяженностью 6 км при температуре окружающего воздуха 243°К (минус 30°С) сократилось на 2,0 мин. Качественно аналогичная картина имела место и при температурах воздуха минус 15°С (258°К) и 0°С (273°К). Сокращение времени следования ПА составило соответственно 1,4 и 0,9 мин.

Таким образом, жидкостная СО с модульным (т. е. оборудованным дополнительным экраном) радиатором обеспечивает ускорение послепускового прогрева ДВС. Однако необходимо выяснить, насколько такая конструкция радиатора с двухсторонним экранированием выполнит не менее важную задачу максимального сохранения теплоты в ДВС, т. е. уменьшения интенсивности охлаждения силового агрегата после его остановки в условиях пожарного депо, поскольку известно, что «горячий» ДВС может немедленно развить номинальную мощность. Это позволяет обеспечить минимальное время следования ПА к месту вызова и тем самым уменьшить количество летальных исходов в результате пожаров (ЧС).

Следовательно, требуется экспериментально исследовать процесс охлаждения двигателя ПА на спокойном воздухе пожарного депо и предложить меры и технические решения, обеспечивающие минимизацию диссипации теплоты для увеличения времени нахождения его силовой установки в «горячем» состоянии.

В качестве объекта исследования был выбран V-образный силовой агрегат — среднеизношенный (приведенный пробег достиг 38 200 км) бензиновый двигатель 8Ч 10/9,5 марки ЗИЛ-508.10 пожарного автомобиля основного назначения марки АЦ-40(130) со сроком эксплуатации 5 лет, поскольку он является наиболее распространенным в оперативных подразделениях противопожарной службы.

Согласно программе было проведено термометрирование ДВС в процессе охлаждения его после остановки в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе пожарного депо при температуре воздуха 291±1°К (18±1°С).

Рассмотрим установку аппаратуры и ее тарировку.

В ходе проведения исследований в ДВС измерялись температуры охлаждающей жидкости (ОЖ) на выходе из головок ДВС вблизи термостата (вместо имеющегося штатного датчика), в верхнем бачке радиатора, а также температура масла в поддоне картера (вместо сливной пробки). Места установки датчиков дистанционных термометров показаны на рис. 2 и 3.

Для измерения температур теплоносителей применялись термометры манометрического типа марки ТКП-60/3М с пределами измерений 273 — 393°К (0 — 120°С) и классом точности 1,5.

Используемые приборы перед измерениями и после окончания опытов проверялись и тарировались посредством образцового термометра с ценой деления 0,1°К (0,1°С) в следующих диапазонах температур: водяные — 273 — 393°К (от 0 до +100°С), для масла — 273 — 353°К (от 0 до +80°С). Тарировочные графики для регистрации вышеуказанных параметров линейны.

В системе охлаждения произвели следующие изменения. В качестве модели указанных выше дополнительных жалюзи (шторки) на двигателе ЗИЛ-508.10 пожарной автоцистерны АЦ-40(130) использовали листовой материал, состоящий из двух частей, поставленных по обе стороны от впускного патрубка

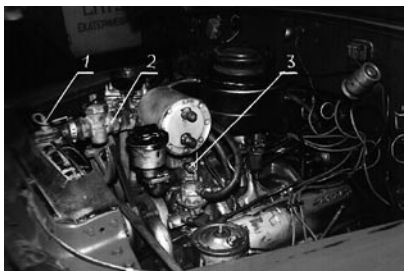


Рисунок 2 — Общий вид моторного отделения автоцистерны АЦ-40(130): 1, 3 — датчики температуры охлаждающей жидкости соответственно в верхнем бачке радиатора и до термостата; 2 — пробковый кран D_y40

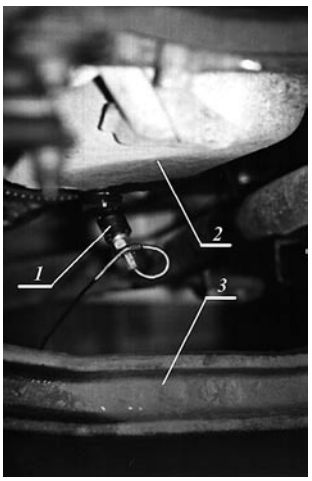


Рисунок 3 — Установка датчика температуры моторного масла: 1 — датчик температуры; 2 — поддон картера ДВС; 3 — балка переднего моста ПА

верхнего бачка радиатора вертикально в зазор между радиатором и кожухом вентилятора таким образом, что ими перекрывался практически весь фронт радиатора, обращенный к вентилятору. Система охлаждения была заполнена водой. Клапаны чехла облицовки радиатора ПА были всегда закрыты.

Для экспериментов по определению темпа охлаждения ДВС его сначала прогревали до оптимального теплового режима. Затем, предварительно загнав ПА в помещение пожарного депо, глушили ДВС, после чего периодически через каждые 1/4 ч в течение 270 мин регистрировали температуры функциональных систем силового агрегата.

Экспериментальные исследования динамики охлаждения двигателя

На рис. 4 приведены кривые охлаждения функциональных систем ДВС пожарной автоцистерны АЦ-40(130) в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе пожарного депо.

На линиях 1 — 4 имеют место максимумы температуры в конце первых 10 мин после остановки силового агрегата ПА. Указанные максимумы соответствуют термосифонным эффектам в системе охлаждения двигателя после прекращения принудительной циркуляции ОЖ.

Природа экстремумов кривых 5 и 6, конечно же, связана с указанным послеостановочным кратковременным саморазогревом СО и имеет следующие объяснения:

- резкое уменьшение отвода теплоты от ДВС (лишь только за счет свободной конвекции) в воздух, окружающий ПА в пожарном депо;
- стекание со стенок гильз цилиндров горячего моторного масла в поддон картера.

Средняя скорость охлаждения (°С/мин) за 4 ч составила:
рубашки охлаждения $(t_{нач}-t_{кон})/\tau=(85-46)/240=0{,}163$;
радиатора $(78-40)/240=0{,}158$.

Изучение материалов дает основания сделать следующие промежуточные выводы.

Динамика охлаждения среднеизношенного двигателя ЗИЛ-508.10 после остановки на спокойном воздухе пожарного депо инвариантна относительно наличия либо отсутствия дополнительного экрана (жалюзи/шторка) радиатора. Это объясняется тем, что полностью снять эффект оребрения радиатора (обеспечить его полное капсулирование) основными/штатными жалюзи и дополнительным экраном не удалось, поэтому не удалось достичь снижения темпа охлаждения ДВС после его останова.

Эквидистантное расположение кривых 3 и 4 по отношению к линиям 1 и 2 указывает на значительную негерметичность термостата ЗИЛ-508.10 при неработающей помпе СО. Другими словами, клапан термостата негерметичен при температуре в СО ниже +71°С (344°К). Следовательно, после остановки ДВС за счет термосифонных эффектов имеет место циркуляция ОЖ по «большому» кругу. Это означает, что рассеивание теплоты происходит не только внешними поверхностями собственно ДВС, но и радиатором его СО. Отсюда следует, что интенсивность охлаждения ДВС можно существенно снизить эффективной теплоизоляцией как радиатора СО [7], так и блока цилиндров двигателя по отдельности, а также моторного отделения ПА в целом.

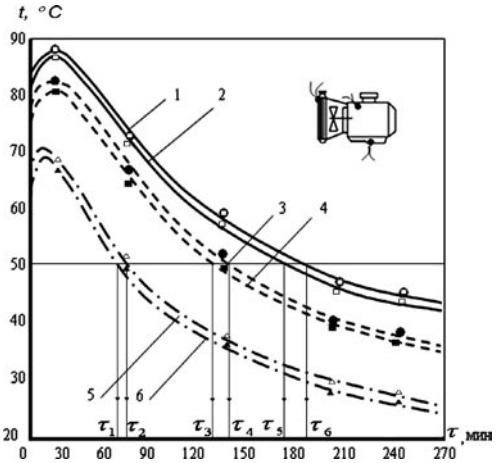


Рисунок 4 — Динамика охлаждения двигателя ЗИЛ-508.10 пожарной автоцистерны АЦ-40(130) после его останова в условиях естественной конвекции пожарного депо (температура воздуха +18 °С):
1, 2 — температура ОЖ в рубашке охлаждения (до термостата) с модернизированным и штатным радиатором соответственно;
3, 4 — температура ОЖ в верхнем бачке радиатора, модернизированного и штатного соответственно;
5, 6 — температура масла в поддоне картера ЗИЛ-508.10 с модернизированным и штатным радиатором соответственно

При охлаждении двигателя ЗИЛ-508.10 подавляющую часть времени изменение температур функциональных систем происходит по экспоненциальному (или близкому к нему) закону.

В конце первых 10 мин после остановки имеет место кратковременный саморазогрев ДВС на 2 — 3°К (2 — 3°С).

ОЖ в блоке ЗИЛ-508.10 охлаждается до температуры +50°С (323°К) примерно за 180 мин. Темп охлаждения масла в поддоне картера еще выше. Моторное масло в поддоне охлаждается до обоснованной А.П. Смолиным [7] температуры +50°С (323°К) за 75 мин. Это объясняется сравнительно небольшим количеством моторного масла и наличием прокладки между поддоном и картером ДВС. Следовательно, для того чтобы замедлить интенсивность охлаждения масла, необходимо поддон ДВС укрывать теплоизолирующим чехлом типа термоса либо подогревать его тем или иным образом (например тэнами). Таким образом, горячее масло после запуска ДВС обеспечит смазку подшипников кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и герметизацию кольцевого зазора кинематической пары «поршень — гильза цилиндра». Это в конечном счете обеспечит форсирование послепускового прогрева ДВС и сократит время прибытия ПА к месту вызова.

Исследование влияния разобщения рубашки охлаждения и радиатора на темп охлаждения двигателя ЗИЛ-508.10

Итак, негерметичность термостата жидкостной СО среднеизношенного двигателя ЗИЛ-508.10 была установлена экспериментально. С целью уменьшения диссипации теплоты радиатором СО после остановки ДВС и замедления охлаждения силового агрегата появилась идея гарантированно разобщить рубашку охлаждения блока и радиатор СО посредством при-

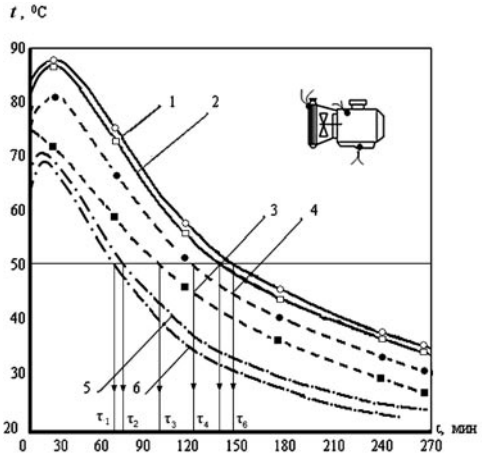


Рисунок 5 — Динамика охлаждения двигателя ЗИЛ-508.10 пожарной автоцистерны АЦ-40(130) после его останова в условиях естественной конвекции пожарного депо (температура воздуха +18 °С):
1, 2 — температура ОЖ в рубашке охлаждения (до термостата) в случае, когда рубашка охлаждения сообщается с радиатором (штатная система охлаждения) и когда они разобщены соответственно; 3, 4 — температура ОЖ в верхнем бачке радиатора, соответственно при сообщении и при разобщении рубашки охлаждения и радиатора; 5, 6 — температура масла в поддоне картера ЗИЛ-508.10 соответственно при сообщении и при разобщении рубашки охлаждения и радиатора.

менения специального перекрывного устройства. Эффективность идеи была проверена в специальном эксперименте.

В соответствии с утвержденной программой экспериментов по изучению динамики охлаждения двигателей ПА в депо в систему охлаждения ЗИЛ-508.10 было внесено следующее изменение. В разрыв резинового трубопровода, соединяющего верхний бачок радиатора с рубашкой охлаждения, сразу после имеющегося термостата был вмонтирован пробковый латунный кран D_y40 мм (см. рис. 2), в результате появилась возможность гарантированного разобщения полости радиатора и рубашки охлаждения ДВС после его остановки.

Управление краном D_y40 осуществлялось вручную. Перед запуском ДВС кран полностью открывали, для того чтобы не препятствовать движению ОЖ по «большому» кругу циркуляции, а по возвращении ПА в подразделение сразу после остановки ДВС его полностью перекрывали. Результаты экспериментов графически интерпретированы на рис. 5, а расчеты сведены в табл. 1.

Анализ полученных данных позволяет утверждать следующее.

Полное или частичное открытие перекрывного устройства, после того как двигатель глушили, никоим образом не влияло на темп его охлаждения. Так, ОЖ в блоке охлаждалась за 4 ч со средней скоростью 0,163°С/мин, а в радиаторе — 0,158°С/мин. Расчеты показывают, что потери теплоты ДВС в окружающую среду при этом составили порядка 15429,4 кДж.

Напротив, применение экспериментальной СО, обеспечивающей перекрытие пробкового крана Dy40, т. е. полное разобщение рубашки охлаждения блока от радиатора ДВС после его остановки, приводило к существенному (на 21,5%) увеличению скорости охлаждения ОЖ в радиаторе — 0,192°С/мин. Также увеличивалась скорость охлаждения ОЖ и в блоке двигателя ЗИЛ-508.10, но в несколько меньшей степени — 0,185°С/мин, т. е. на 13,5%. В целом же диссипация теплоты ДВС выросла на 11,0% и составила 17134,3 кДж (см. табл. 1). Таким образом, произведенные расчеты полностью адекватны первой теореме Г.М. Кондратьева [8], согласно которой материальные тела, имеющие большую массу и теплоемкость, охлаждаются менее интенсивно.

Утечки ОЖ через негерметичный термостат, нежелательные с точки зрения форсирования прогрева двигателя, несомненно, целесообразны с позиции замедления темпов охлаждения ДВС после его остановки. Поскольку негерметичный термостат обеспечивает наряду с гидравлической также теплотехническую связь между приборами его системы охлаждения, т. е. объективно способствует не дроблению (уменьшению), а, напротив, неизменности теплоемкости СО силовой установки автомобиля.

При формулировании технического задания на новую конструкцию термостата (как вариант — клапана СО, управляемого процессором автомобиля) необходимо заложить требования

Таблица 1 — Расчет теплоты, теряемой двигателем ЗИЛ-508.10 после его остановки в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе пожарного депо (температура воздуха +18 °С)

Агрегат (теплоноситель)	Материал/ вещ-во/	Масса агрегата / теплоноситель, кг	Удельная теплоемкость, кДж/(кг К)	Температура, °С		Теплопотери в системе охлаждения, кДж	
				Начальная	Конечная	Штатные	Экспериментальные
Двигатель с коробкой передач	Чугун	500	0,504	85	46	9828,0	
	То же	То же	То же	85	43		10584
Охлаждающая жидкость в рубашке двигателя	Вода	21,3	4,2	85	46	3490,5	
	То же	То же	То же	То же	43		4137,0
Охлаждающая жидкость в радиаторе	То же	7,7	То же	80	40	1293,6	
	То же	То же	То же	То же	34		1487,6
Радиатор	Латунь	16,75	0,378	То же	40	253,3	
	То же	То же	То же	То же	34		291,2
Масло в поддоне картера двигателя	Моторное масло	7,4	1,9	65	25	564,0	
	То же	То же	То же	То же	20		634,5
Итого						15429,4	17134,3

герметичности термостата (клапана) при прогреве двигателя и, напротив, его негерметичности после остановки ДВС.

Оценка достоверности результатов

Достоверность результатов обеспечена статистическими методами обработки результатов исследований. Для доказательства значимости различий был применен *t*-критерий Стьюдента, реализованный в пакете анализа MS Excel [9, 10].

В табл. 2 отражены результаты проверки достоверности экспериментов по охлаждению ОЖ в двигателе АЦ-40(130) в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе пожарного депо. На рис. 5 кривая 3 иллюстрирует динамику охлаждения ОЖ в верхнем бачке радиатора при разобщении, а кривая 4 — при сообщении рубашки охлаждения блока ДВС и радиатора. Как следует из табл. 2, выполняется соотношение $t_{эксп} > t_{крит}$. Таким образом, имеют место значительные различия средних по сопоставляемым выборкам измеряемого параметра, что позволяет принять статистическую гипотезу H_1.

Таблица 2 — Результаты проверки достоверности экспериментов по охлаждению двигателя АЦ-40(130) в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе пожарного депо (температура воздуха плюс 18°С (291°К)

τ, мин	Кривая 3	Кривая 4	P = 0,494	Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
0	75	75				
30	71	80			3	4
60	60	74		Среднее	47,8	53,2
90	55	60		Дисперсия	275,0667	323,2889
120	46	52		Наблюдения	10	10
150	40	45		df	9	9
180	36	42		t-статистика	0,850839	
210	34	37		$P(F<=f)$ одностороннее	0,40689	
240	32	35		t критическое одностороннее	0,31458	
270	29	32				

Примечание. Кривая 3 — при разобщении, кривая 4 — при сообщении рубашки охлаждения блока ДВС и радиатора.

Литература

1. Теребнев В.В., Подгрушный А.В. и др. Пожарная тактика в примерах. Екатеринбург : Калан-Форт, 2007. 635 с.

2. Концепция федеральной целевой программы «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года» : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.10.07 № 1532-р // Пожарное дело. 2008. № 1. С. 34 — 39.

3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.08 № 123-ФЗ. Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2008. 144 с.

4. Савин М.А., Боровских А.М. и др. О влиянии оперативно-динамических качеств пожарных автомобилей на размеры ущерба от пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 18. № 2. С. 49 — 50.

5. Патент 2078954 РФ, МКИ F 01 P 7/10, 7/02. Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания / Савин М.А. (Россия). № 94017181; заявл. 26.04.94; опубл. 10.05.97. Бюл. № 13.

6. Смолин А.П. Эксплуатация строительных машин в зимних условиях. М. : Стройиздат. 1968. 188 с.

7. Патент 2117781 РФ, МКИ F 01 P 3/18 / Система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания / Безбородько М.Д., Скоморохов А.И., Мичуров Г.М., Савин М.А. (Россия). № 97105714; заявл. 10.04.97; опубл. 20.08.98. Бюл. № 23.

8. Исаченко В.П., Осипова В.А. и др. Теплопередача. М. : Энергоиздат, 1981. 416 с.

9. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Exsel : учебное пособие. М. : Финансы и статистика, 2002. 368 с.

10. Стариченко Б.Е. Обработка и представление данных педагогических исследований с помощью компьютера. Екатеринбург : Урал. гос. пед. ун-т, 2004. 218 с.

References

1. Terebnev V.V., Podgrushny A.V. i dr. Fire tactics in examples. Ekaterinburg: OOO «Kalan-Fort», 2007. 635 s.

2. Concept of federal goal-oriented program "Fire safety in Russian Federation for the period till 2012". Utverzhdena raspory-azheniem Pravitelstva Rossiyskoj Federatsii ot 31. 10.2007 g. № 1532-r. // Pozharnoe delo. 2008. № 1. S. 34–39.

3. Technical regulations of fire safety requirements: Federalny zakon ot 22 iyulya 2008g. № 123-FZ. Prinyat Gos. Dumoy 04.07. 2008 g. Odobren Sovetom Federatsii 11.07.2008 g. Novosibirsk : Sib. Univ. Izd-vo. 2008. 144 s.

4. Savin M.A., Borovskikh A.M. i dr. About the influence of operational dynamic qualities of fire engines on the losses from fires // Pozharovzryvobezopasnost. 2009. Tom 18. № 2. S. 49 – 50.

5. Patent 2078954 RF, MKI F 01 R 7/10, 7/02. The system of internal combustion engine cooling / Savin M.A. (Rossiya). № 94017181; Zayavleno 26.04.94; Opubl. 10.05.1997. Byul. № 13.

6. Smolin A.P. Operation of construction machines at winter conditions. M.: Strojizdat. 1968. 188 s.

7. Patent 2117781 RF, MKI F 01 R 3/18 / The system of fluid cooling of internal combustion engine / Bezborodko M.D., Skomorokhov A.I., Michurov G.M., Savin M.A. (Rossiya). № 97105714; Zayavleno 10.04.97; Opubl. 20.08.1998. Byul. № 23.

8. Isachenko V.P., Osipova V.A. i dr. Heat transfer. M.: Energoizdat, 1981. 416 s.

9. Makarova N.V., Trofimets V.Ya. Statistics in Excel : Ucheb. posobie. M.: Finansy i statistika, 2002. 368 s.

10. Starichenko B.E. Processing and data presentation of teaching researches with the help of computer / Ural. gos. ped. un-t. Ekaterinburg, 2004. 218 s.

УДК 621.436

Борис Прокопьевич Жилкин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теоретическая теплотехника» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ, Екатеринбург),
Леонид Валерьевич Плотников, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Турбины и двигатели» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ, Екатеринбург)

СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА В ПРОЦЕССЕ ВЫПУСКА АВТОМОБИЛЬНОГО ПДВС

Boris P. Zhilkin, DSc, professor of "Theoretical heat engineering" department, The Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin (UrFU, Ekaterinburg)
Leonid V. Plotnikov, PhD, senior teacher of the "Turbines and engines" department, The Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin (UrFU, Ekaterinburg)

Velocity Properties Of Flow In Exhaust Process Of Automobile Piston Internal Combustion Engine

Аннотация

Представлены результаты численного и экспериментального исследования влияния режимных факторов на скоростные характеристики потока в процессе выпуска в автомобильном двигателе. Опыты проводились на натурной модели поршневого двигателя. Описаны установка и методика проведения экспериментов. Представлены зависимости изменения мгновенной скорости потока от угла поворота коленчатого вала, полученные с помощью термоанемометра при различных значениях избыточного давления в цилиндре и частоте вращения коленчатого вала. По этим данным были сделаны выводы о динамических особенностях процесса выпуска. Отмечено усиление пульсаций скорости потока в процессе выпуска с уменьшением частоты вращения. Обсуждаются газодинамические эффекты в выпускном канале после закрытия клапана.

Ключевые слова: автомобильный поршневой двигатель, динамика процесса, процесс выпуска, пульсации скорости потока, скоростные характеристики потока, численное и экспериментальное исследование.

Annotation

Computational and experimental investigation results of operation conditions' influence on velocity properties of flow in exhaust process of automobile engine are presented. The experimental investigations were carried out on the mockup of a piston engine. The experimental unit and research methods are described. Changes' dependence of instantaneous velocity flow on crank angle of crankshaft received with the help of hot-wire flowmeter at various excess pressures values in a cylinder and rotation frequencies of a crankshaft are presented. On the basis of this data, conclusions about dynamic features of exhaust process were made. Strengthening of flow velocity pulsations in exhaust process with rotation frequency decrease was noted. Gas-dynamic effects in exhaust port after valve closing were considered.

Key words: automobile piston engine; process dynamics; exhaust process; flow velocity pulsations; velocity properties of flow; computational and experimental investigation

Значительное повышение энергетических и экономических показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) достигнуто в последние годы в результате совершенствования процессов газообмена, смесеобразования, сгорания и тепловыделения. При этом существует значительный резерв повышения технико-экономических показателей двигателей за счет улучшения термогазодинамических характеристик газовоздушных трактов [1 — 4]. Данная статья посвящена численному и экспериментальному исследованию динамики процесса выпуска применительно к двигателю размерности 8,2/7,1.

Перед экспериментальным исследованием газодинамики процесса выпуска было проведено численное моделирование с помощью программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК, разработанного в МГТУ им. Н. Баумана.

Результаты моделирования применительно к двигателю 2Ч 8,2/7,1 (рис. 1) показали, что при низких частотах вращения коленчатого вала (см. рис. 1а) должны существовать значительные флуктуации массового расхода газа $G_в$ за период выпуска, тогда как при высоких частотах вращения n (см. рис. 1б) ожидался более гладкий вид кривой изменения $G_в$. С увеличением частоты вращения n также прогнозировался рост максимальных значений расхода газа. При этом следует отметить, что при всех частотах вращения коленчатого вала расчетный расход газа через выпускные органы после закрытия выпускного клапана (и вплоть до его последующего открытия) равен нулю.

Для экспериментального исследования газодинамики процесса выпуска была разработана и изготовлена установка, представленная на рис. 2.

Механизм газораспределения экспериментальной установки заимствован у двигателя автомобиля ВАЗ-11113 (ВАЗ-ОКА): установлена головка цилиндров 8 в сборе с некоторыми доработками. Фазы газораспределения и подъем клапанов экспериментальной установки соответствуют таковым для двигателя ВАЗ-ОКА.

e-mail: tot@ustu.ru, plotnikovlv@mail.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 22.07.11

Привод распределительного вала осуществлялся через ременную передачу с помощью асинхронного электродвигателя 11, частота вращения которого регулировалась преобразователем частоты Altivar 31 фирмы Shneider Electric (на рис. 2 не показан) в диапазоне $n_{р.в}$=300 — 1500 мин$^{-1}$ с точностью ±0,1%.

В качестве стандартного режимного параметра использовалась частота вращения не распределительного, а коленчатого вала двигателя n, которую получали простым умножением на два частоты вращения распредвала.

На рис. 3 более подробно показана конфигурация выпускного тракта экспериментальной установки и места установки датчиков для измерения мгновенных значений скорости потока воздуха. В связи с ограниченным количеством информации по динамике процесса выпуска в качестве исходной геометрической базы был выбран классический прямой выпускной канал с круглым поперечным сечением: к головке цилиндра 2 была пристыкована на шпильках выпускная труба 4 длиной L=400 мм и диаметром d=30 мм. В трубе имелось три отверстия на расстоянии L_1 = 20, L_2 = 140 и L_3 = 340 мм для установки датчиков термоанемометра 5.

Для измерения локальной скорости потока воздуха w_x использовались термоанемометры постоянной температуры оригинальной конструкции [5], чувствительным элементом которых является нихромовая нить диаметром 5 мкм и длиной 5 мм. Систематическая ошибка измерения скорости потока воздуха составляла 5,4%.

Для замеров частоты вращения распределительного вала применялся тахометрический датчик, состоящий из зубчатого диска, закрепленного на вале, и индуктивного датчика. Датчик формировал импульс напряжения с частотой, пропорциональной скорости вращения коленчатого вала. По этим импульсам регистрировалась частота вращения, условное положение коленчатого вала и соответственно определялся момент расчетного нахождения поршня в ВМТ и НМТ.

Сигналы со всех датчиков поступали в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) фирмы L-Card модели E14-140 и далее передавались в персональный компьютер, где обрабатывались в программе Lgraph 2.0.

Исследования проводились при различных частотах вращения коленчатого вала (от 600 до 3000 мин$^{-1}$) при различных постоянных избыточных давлениях на выпуске (от 0,5 до 2,0 бар) без использования глушителя шума. Температура воздуха в подающей магистрали составляла 22 — 24°С. Среднее избыточное давление в камере p_b перед выпускным клапаном регулировалось вентилем 2 (см. рис. 2).

Результаты определения зависимости w_x от угла поворота коленчатого вала φ для крайних контрольных сечений показаны на рис. 4 и 5. Применение неравномерной шкалы на этих рисунках обусловлено нелинейной тарировочной кривой термоанемометра.

Оказалось, что пульсации скорости потока воздуха наиболее выражены при низких частотах вращения коленчатого вала при всех значениях избыточного давления, что соответствует результатам численного моделирования (см. рис. 1а). Следует отметить, что обратный эффект наблюдался в процессе впуска в поршневом ДВС [6], где динамика процесса, на-

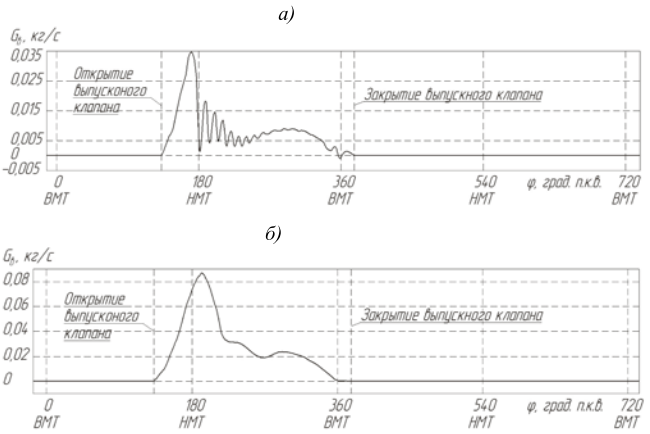


Рисунок 1 — Расчетная зависимость массового расхода воздуха $G_в$ от угла поворота коленчатого вала ϕ при разных частотах вращения коленчатого вала:
а) n = 1000 мин-1; б) n = 3000 мин-1

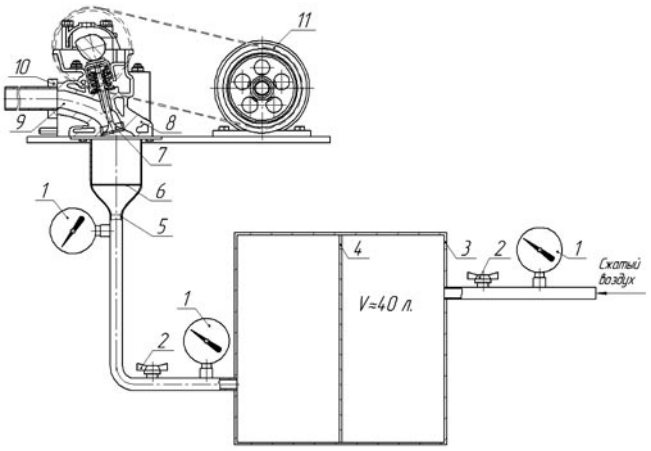


Рисунок 2 — Схема экспериментальной установки:
1 — манометр; 2 — кран; 3 — бак-ресивер; 4 — выравнивающая решетка; 5 — цилиндр; 6 — хонейкомб; 7 — выпускной клапан; 8 — головка цилиндров; 9 — выпускной канал в головке цилиндров; 10 — выпускная труба; 11 — асинхронный электродвигатель

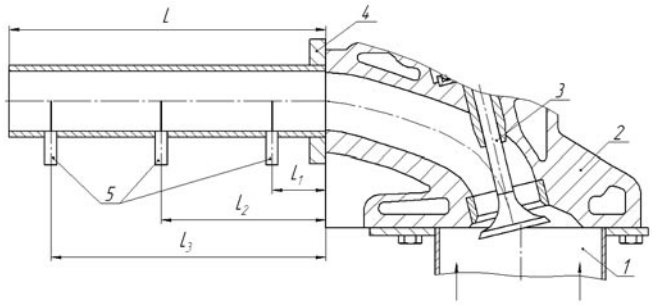


Рисунок 3 — Конфигурация выпускного тракта экспериментальной установки:
1 — цилиндр — дутьевая камера; 2 — головка цилиндров; 3 — выпускной клапан; 4 — выпускная труба; 5 — датчики термоанемометра

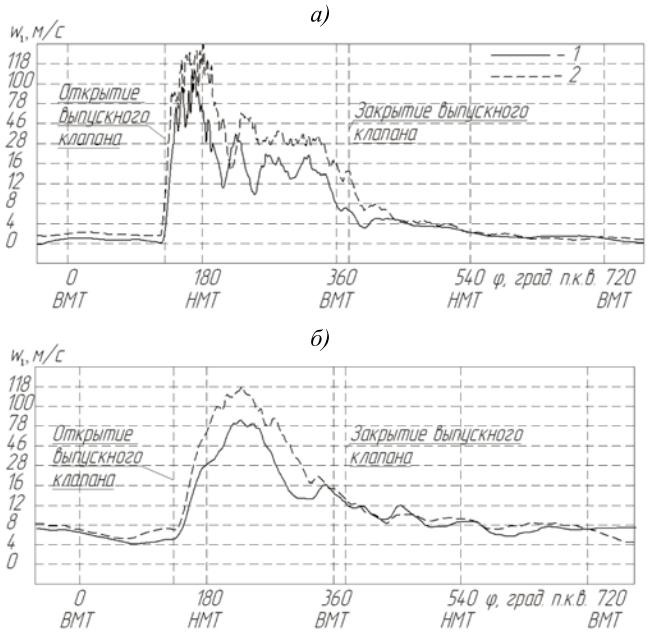


Рисунок 4 — Зависимость местной скорости потока воздуха w_1 в выпускном канале (L_1 = 20 мм) от угла поворота коленчатого вала ϕ при различных частотах вращения коленчатого вала n:
а) 600 мин$^{-1}$; б) 3000 мин$^{-1}$.
1 — избыточное давление на выпуске $p_в$ = 0,5 бар; 2 — $p_в$ = 2,0 бар

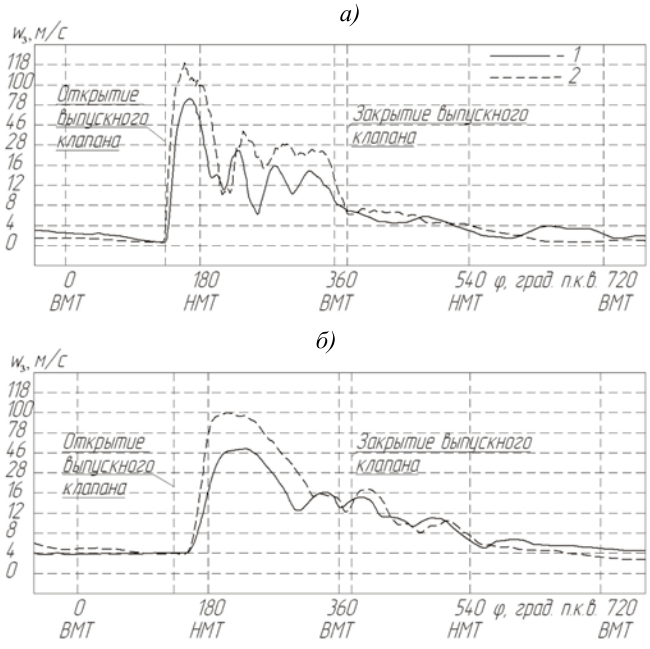


Рисунок 5 — Зависимость местной скорости потока воздуха w_3 в выпускном канале (L_3 = 340 мм) от угла поворота коленчатого вала ϕ при различных частотах вращения коленчатого вала n:
а) 600 мин$^{-1}$; б) 3000 мин$^{-1}$.
1 — $p_в$ = 0,5 бар; 2 — $p_в$ = 2,0 бар

против, усложнялась по мере увеличения частоты вращения коленчатого вала.

Уровень пульсаций w_x на выпуске неодинаков по длине канала. Особенно сильны пульсации при L_1 = 20 мм (см. рис. 4а), т. е. в сечении, максимально близком к головке цилиндров. Это, по-видимому, объясняется тем, что на данном участке поток имеет повышенную турбулентность вследствие прохождения им клапанной щели и движения по криволинейному участку с препятствиями в канале головки цилиндра.

Примечательно, что в фазах закрытого выпускного клапана наблюдаются некоторые колебания скорости и скорость потока воздуха в выпускном тракте (не через щель) не становится равной нулю. Это можно объяснить тем, что при высоких значениях n промежуток между процессами выпуска очень мал, поток воздуха не успевает полностью покинуть выпускной канал и соответственно движется по инерции уже после закрытия выпускного клапана. Подобный эффект проявлялся для всех контрольных сечений (см. рис. 5). Аналогичные явления наблюдались и для процесса впуска [6], где скорость потока воздуха после закрытия впускного клапана также не становилась равной нулю.

По мере удаления контрольного сечения от выходного окна в головке цилиндров вид функции $w_x = f(\varphi)$ становится более гладким (пульсации скорости практически отсутствуют), что говорит о постепенной стабилизации потока (см. рис. 4 и 5).

По рис. 4 и 5 можно проследить следующую тенденцию: максимальные скорости потока воздуха в каждом из сече-

ний возрастают с увеличением давления на выпуске, прирост составляет от 5 до 50%. При этом при более высоких значениях давления пульсационные явления более выражены.

Проведенные «холодные» продувки показали необходимость дальнейшего исследования процесса выпуска в динамике для большего понимания физики колебательных явлений. Следует уточнить факторы, которые наиболее существенно влияют на расход газа за процесс выпуска, и в соответствии с ними определять способы увеличения $G_в$, желательно с минимальными конструктивными изменениями выпускной системы. В качестве отдельной проблемы возникает задача согласования характеристик впускного и выпускного трактов.

Литература

1. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания / Б.Х. Драганов, М.Г. Круглов, В.С. Обухова. Киев : Вища шк., 1987. 175 с.

2. Вихерт М.М., Грудский Ю.Г. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей. М. : Машиностроение, 1982. 151 с.

3. Двигатели внутреннего сгорания : в 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов : учебник / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; под ред. В.Н. Луканина. М. : Высш. шк., 1995. 368 с.

4. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малолитражных грузовиков / А.Д. Блинов, П.А. Голубев, Ю.Е. Драган и др.; под ред. В.С. Папонова и А.М. Минеева. М. : НИЦ «Инженер», 2000. 332 с.

5. Патент 81338 RU, МПК G01P5/12. Термоанемометр постоянной температуры / Плохов С.Н., Плотников Л.В., Жилкин Б.П. № 2008135775/22; заявл. 03.09.08; опубл. 10.03.09. Бюл. № 7.

6. Экспериментальное исследование газодинамических процессов в системе впуска поршневого ДВС / Б.П. Жилкин, Л.В. Плотников, С.А. Корж, И.Д. Ларионов // Двигателестроение. 2009. № 1. С. 24 — 27.

References

1. Induction and exhaust port design of internal combustion engines / B.Kh. Draganov, M.G. Kruglov, V.S. Obukhova. Kiev: Vishcha shk. Golovnoe izd-vo, 1987. 175 s.

2. Vikhert M.M., Grudsky Yu.G. Design of induction system of high-speed diesel engines. M.: Mashinostroenie, 1982. 151 s.

3. Internal combustion engines. V 3 kn. Kn. 1. Teoriya rabochikh protsessov: Uchebnik / V.N. Lukanin, K.A. Morozov, A.S. Hachiyan i dr.; pod red. V.N. Lukanina. M.: Vyssh. shk., 1995. 368 s.

4. Modern approaches to diesel creation for autocars and economy trucks / A.D. Blinov, P.A. Golubev, Yu.E. Dragan i dr. Pod red. V.S. Paponova i A.M. Mineeva. M.: NITS «Inzhener», 2000. 332 s.

5. Pat. 81338 RU, MPK G01R5/12. Thermal anemometer of constant temperature / Plokhov S.N., Plotnikov L.V., Zhilkin B.P. №2008135775/22; zajavl. 03.09.2008; opubl. 10.03.2009. Byul. №7.

6. Experimental research of gas-dynamic processes in the induction system of piston combustion engine / B.P. Zhilkin, L.V. Plotnikov, S.A. Korzh, I.D. Larionov // Dvigatelestroenie. 2009. №1. S. 24–27.

УДК 621.43.016

Борис Александрович Шароглазов, доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск),
Александр Евгеньевич Попов, преподаватель, соискатель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, Челябинск)

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЯХ

Boris A. Sharoglazov, DCs, professor of "Internal combustion engines" department, South Ural State University, Chelyabinsk,
Alexander E. Popov, teacher, PhD applicant, "Internal combustion engines" department, South Ural State University, Chelyabinsk

The Calculation Equations Of Working Medium Thermal Capacity In Transport Diesel Engines

Аннотация

В статье на основании анализа свойств рабочего тела транспортных дизелей, выполненного на базе современных данных по термодинамическим свойствам веществ (газов), приводятся новые уравнения для расчета отношения теплоемкостей рабочего тела. В частности, продуктов сгорания дизельных топлив. Уравнения могут быть использованы при теплотехнических расчетах дизелей для транспорта.

Ключевые слова: транспортный дизель, рабочее тело, продукты сгорания, молярная теплоемкость, отношение теплоемкостей, газовая постоянная, состав топлива.

Annotation

In the article according to the analysis of working medium properties of transport diesel engines executed on the basis of the modern data of substances (gases) thermodynamic properties, the new equations for relation calculation of working medium thermal capacities are presented. In particular, products of diesel fuel combustion. The equations can be used at thermal calculations of diesel engines for transport.

Key words: transport diesel engine, working medium, combustion products, molar thermal capacity, thermal capacities relations, gas constant, fuel composition.

Тепловой расчет транспортного дизеля относится к одной из важных составляющих в работах, связанных с проектированием и доводкой этих двигателей. Точность таких расчетов в значительной степени определяется точностью оценки термодинамических свойств рабочего тела (РТ), которое в течение цикла меняет свой качественный и количественный состав. Изменение компонентного состава РТ, в частности, влияет на численные значения теплоемкостей и, как следствие, — на их соотношение, характеризуемое параметром $k = \mu c_p / \mu c_\upsilon$ (здесь μc_p и μc_υ — молярные теплоемкости РТ при постоянном давлении и объеме соответственно).

До недавнего времени для определения численных значений k (отношения теплоемкостей) в теплотехнических расчетах двигателей использовались уравнения В. Шюле, профессора И.И. Вибе и др. [1 — 3], составленные на основании анализа численных характеристик свойств газов, установленных в первой половине прошлого столетия.

Сегодня благодаря совершенствованию приборов и методов оценки теплотехнических свойств веществ известны более точные данные о термодинамических свойствах газов, в том числе о свойствах компонентов, входящих в состав продуктов сгорания топлив транспортных дизелей (диоксид углерода CO_2, пары воды H_2O, азот N_2, избыточный кислород O_2 и др.) [4 — 6]. Эти новые результаты могут быть использованы для повышения точности теплотехнических расчетов машин, в частности в тепловых расчетах транспортных дизелей.

Сказанное для продуктов сгорания транспортного дизеля (их молярной теплоемкости) позволяет записать

$$\mu c_\upsilon = r_{CO_2}\mu c_{\upsilon CO_2} + r_{H_2O}\mu c_{\upsilon H_2O} + r_{N_2}\mu c_{\upsilon N_2} + r_{O_2}\mu c_{\upsilon O_2}, \qquad (1)$$

где $\mu c_{\upsilon CO_2}$, $\mu c_{\upsilon H_2O}$, $\mu c_{\upsilon N_2}$, $\mu c_{\upsilon O_2}$ — молярные теплоемкости компонентов (соответственно CO_2, H_2O, N_2 и O_2);
r_{CO_2}, r_{H_2O}, r_{N_2}, r_{O_2} — объемные доли соответствующих компонентов в продуктах сгорания.

Для продуктов сгорания топлив транспортных дизелей, когда элементарный химический состав топлива оценивается

e-mail: G389@74.ru
Дата поступления рукописи в издательство: 26.04.11

содержанием основных компонентов, что справедливо для массово используемых дизельных топлив: C = 0,86; H = 0,13; O = 0,01 (здесь C, H и O — массовые доли соответственно углерода, водорода и кислорода в топливе), объемные доли составляющих продуктов сгорания определяются соотношениями [3]:

$$r_{CO_2}=C/12M_z;\ r_{H_2O}=H/2M_z;\ r_{N_2}=0,79\alpha L_0/M_z;\ r_{O_2}=0,21(\alpha-1)L_0/M_z.$$

В записанных соотношениях α — коэффициент избытка воздуха; L_0 — количество воздуха в кг-молях, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива. Оно находится по выражению

$$L_0=\left(\frac{C}{12}+\frac{H}{4}-\frac{O}{32}\right)\Big/0,210.$$

Число килограмм-молей продуктов сгорания вычисляется по формуле

$$M=\alpha L_0+H/4+O/32.$$

В качестве примера применительно к различным режимам нагружения транспортного дизеля, характеризуемым различными α, объемные доли компонентов в продуктах сгорания приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Объемные доли компонентов в продуктах полного сгорания топлива транспортного дизеля

r_k	α							
	1,00	1,75	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
r_{CO_2}	0,13583	0,07974	0,07010	0,04724	0,03562	0,02859	0,02388	0,02050
r_{H_2O}	0,12320	0,07233	0,06358	0,04284	0,03231	0,02593	0,02166	0,01859
r_{N_2}	0,74087	0,76116	0,76465	0,77291	0,77712	0,77966	0,78136	0,78259
r_{O_2}	0,00000	0,08671	0,10163	0,13697	0,15493	0,16580	0,17309	0,17831

Приведенные в табл. 1 результаты с использованием формулы (1) позволяют рассчитать значения молярных теплоемкостей μc_v продуктов полного сгорания дизельных топлив с учетом влияния температуры, что для примера иллюстрируется данными табл. 2.

Таблица 2 — Изменение молярной μc_v теплоемкости продуктов полного сгорания дизельного топлива и воздуха в зависимости от температуры

T, K	α							Воздух α = ∞
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	
258	21,939	21,159	20,886	20,749	20,665	20,609	20,569	20,255
273	22,067	21,284	21,012	20,874	20,790	20,734	20,694	20,379
673	25,856	24,486	24,009	23,767	23,620	23,522	23,451	22,937
1073	28,779	26,945	26,306	25,983	25,786	25,655	25,560	24,884
1473	30,891	28,780	28,046	27,673	27,447	27,296	27,187	26,411
1873	32,432	30,147	29,351	28,948	28,703	28,539	28,422	27,581
2273	33,553	31,147	30,310	29,885	29,628	29,456	29,332	28,446
2473	33,986	31,534	30,681	30,248	29,986	29,811	29,684	28,781
2773	34,504	31,997	31,124	30,681	30,413	30,233	30,104	29,180

Используя известную взаимосвязь молярных теплоемкостей $\mu c_p-\mu c_v=R$ (R — универсальная газовая постоянная) и новые данные по теплофизическим свойствам веществ, можно для продуктов сгорания дизельных топлив, характеризуемых различными значениями α и температурой, рассчитать численные значения k. Результаты влияния α и температуры на отношение теплоемкостей продуктов сгорания топлива графически иллюстрируется рис. 1.

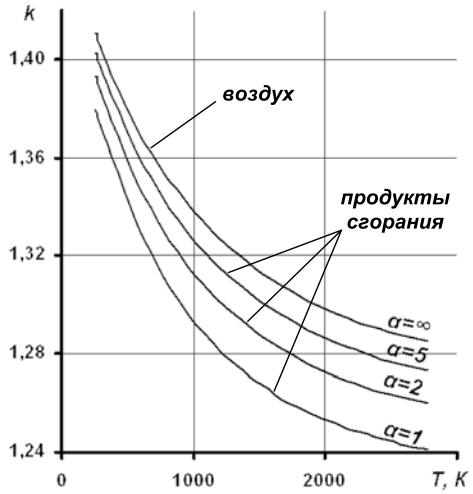


Рисунок 1 — Изменение отношения теплоемкостей k в зависимости от температуры для продуктов сгорания, соответствующих различным α

Отметим, что за период сгорания состав рабочего тела в дизеле изменяется от воздуха (количеством остаточных газов в РТ пренебрежем) в начале процесса до конечных продуктов по завершении сгорания. Таким образом, характер k меняется от $k_в$ (для воздуха в начале сгорания) до $k_г$ (для продуктов сгорания в конце). Можно допустить, что динамика изменения качества РТ в период горения (динамика изменения его химического состава) определяется динамикой выгорания поданного в цилиндр топлива. Значит, для текущего значения k в период горения исходя из этого допущения можно записать

$$k=k_в-(k_в-k_г)x, \qquad (2)$$

где x — текущее значение доли выгоревшего топлива.

Анализ рис. 1 дает основания заключить, что $k_в$ и $k_г$, как функции T в общем случае подчиняются зависимости вида

$$k=a+bT+cT^2,$$

где a, b, c — параметры, являющиеся функциями компонентного состава РТ, определяемого α.

Для повышения точности выводимых уравнений исследуемый интервал температур разбит на два участка: от 258 до 773 К, что может соответствовать интервалу изменения T в процессе сжатия, и 773 — 2773 К — изменению T в процессе сгорания.

Для $k_в$ (воздух, $\alpha = \infty$) применительно к названным интервалам получено:
при $258 \le T \le 773$ К

$$k_в = 1{,}455 - 1{,}967 \cdot 10^{-4} T + 8{,}786 \cdot 10^{-8} T^2; \quad (3)$$

при $773 \le T \le 2773$ К

$$k_в = 1{,}411 - 8{,}692 \cdot 10^{-5} T + 1{,}518 \cdot 10^{-8} T^2. \quad (4)$$

Уравнения для $k_г$ (продукты сгорания) имеют следующий вид:
для интервала температур $258 \le T \le 773$ К

$$k_г = \left(1{,}454 - \frac{0{,}027}{\alpha}\right) - \left(1{,}965 \cdot 10^{-4} + \frac{9{,}136 \cdot 10^{-6}}{\alpha}\right) T + \left(8{,}632 \cdot 10^{-8} - \frac{1{,}646 \cdot 10^{-8}}{\alpha}\right) T^2; \quad (5)$$

для $773 \le T \le 2773$ К

$$k_г = \left(1{,}409 - \frac{0{,}04}{\alpha}\right) - \left(8{,}697 \cdot 10^{-5} + \frac{9{,}735 \cdot 10^{-6}}{\alpha} - \frac{3{,}89 \cdot 10^{-6}}{\alpha^2}\right) T + \left(1{,}519 \cdot 10^{-8} + \frac{2{,}682 \cdot 10^{-9}}{\alpha} - \frac{9{,}26 \cdot 10^{-10}}{\alpha^2}\right) T^2. \quad (6)$$

Используя выражения (3) — (6) с учетом соотношения (2), после соответствующих преобразований получим общие уравнения для расчета k РТ:
для температур $258 \le T \le 773$ К

$$k = 1{,}455 + A_1(\alpha) x + \left[-1{,}967 \cdot 10^{-4} + B_1(\alpha) x\right] T + \left[8{,}786 \cdot 10^{-8} + C_1(\alpha) x\right] T^2; \quad (7)$$

для $773 \le T \le 2773$ К

$$k = 1{,}411 + A_2(\alpha) x + \left[-8{,}692 \cdot 10^{-5} + B_2(\alpha) x\right] T + \left[1{,}518 \cdot 10^{-8} + C_2(\alpha) x\right] T^2. \quad (8)$$

В полученных (7) и (8):

$A1(\alpha) = -0{,}001 - 0{,}027/\alpha$ | $A2(\alpha) = -0{,}002 - 0{,}04/\alpha$
$B1(\alpha) = +0{,}002 \cdot 10^{-4} - 9{,}136 \cdot 10^{-6}/\alpha$ | $B2(\alpha) = -0{,}005 \cdot 10^{-5} - 9{,}735 \cdot 10^{-6}/\alpha + 3{,}89 \cdot 10^{-6}/\alpha^2$
$C1(\alpha) = -0{,}154 \cdot 10^{-8} - 1{,}646 \cdot 10^{-8}/\alpha$ | $C2(\alpha) = 0{,}001 \cdot 10^{-8} + 2{,}682 \cdot 10^{-9}/\alpha - 9{,}26 \cdot 10^{-10}/\alpha^2$

Численная оценка погрешностей, имеющих место при расчете параметра k по полученным соотношениям показала, что они (погрешности) не превышают 0,2% значений этого параметра, рассчитанных с использованием современных данных [4] по теплотехническим свойствам веществ.

Таким образом, новые формулы для определения отношения теплоемкостей РТ (в том числе продуктов сгорания) транспортных дизелей, полученные на базе современных сведений по теплотехническим свойствам веществ, могут быть использованы при выполнении соответствующих теплотехнических расчетов транспортных дизелей на стадии их проектирования и доводки.

Литература

1. Шюле В. Техническая термодинамика. Т. 1. Кн. 1. М. : Главная редакция энергетической литературы, 1935.

2. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателя. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя. М. : Свердловск : Машгиз, 1962. 271 с.

3. Шароглазов Б.А., Фарафонтов 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. Б.А. Шароглазова. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. 382 с.

4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ : справ. изд. В 4 т. / под ред. В.П. Глушко. М. : Наука, 1982.

5. Корепанов М.А., Храмов С.Н. Термодинамические расчеты в учебном процессе // Научные и методические проблемы подготовки конкурентоспособных специалистов : труды науч.-метод. конф., посвященной 50-летию ИжГТУ. Воткинск : Изд-во Воткинского филиала ИжГТУ, 2002. С. 164 — 171.

6. Корепанов М.А. Программа «Термодинамика» // Каталог инновационных разработок Ижевского государственного технического университета / 2-е изд., доп. и перераб. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2001. С. 95.

References

1. Shyule V. Engineering thermodynamics. T. 1, kn. 1. M.: Glavnaja redaktsija energeticheskoj literatury, 1935.

2. Vibe I.I. New about engine's operational cycle. Combustion speed and engine's operational cycle. M., Sverdlovsk: Mashgiz. Uralo-Sibirskoe otdelenie, 1962. 271 s.

3. Sharoglazov B.A., Farafontov M.F., Klementev V.V. Internal combustion engine: theory, simulation, and process calculation: Uchebnik po kursu «Teorija rabochikh protsessov i modelirovanie protsessov v dvigatelyakh vnutrennego sgoranija» / Pod red. zasl. dejat. nauki RF B.A. Sharoglazova. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2006. 382 s.

4. Thermodynamic properties of individual substances: Sprav. izd.: V 4 t./ Pod red. V.P. Glushko. M.: Nauka, 1982.

5. Korepanov M.A., Khramov S.N. Thermodynamic calculations in educational process // Nauchnye i metodicheskie problemy podgotovki konkurento-sposobnykh spetsialistov: Trudy nauchno-metodich. konf., posvyachshyonnoy 50-letiyu IzhGTU. Votkinsk: Izd-vo Votkinskogo filiala IzhGTU, 2002. S.164 –171.

6. Korepanov M.A. Programme « Thermodynamics» // Katalog innovatsionnykh razrabotok Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2-e izd., dop. i pererab. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2001. S.95.

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ СТАТЕЙ

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

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

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

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

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

6. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

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

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

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

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

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

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)

П В место литер

На **Транспорт Урала**

Стоимость подписки переадрессовки руб. коп. руб. коп. Количество комплектов

На 20__ год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

почтовый индекс

город
село
область
район
улица

код улицы

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