



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПІВНІЧНО-СХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 164

Харків 2016

УДК 656.2(062)

У Збірнику наукових праць УкрДУЗТ відображені матеріали та наукові розробки вчених і спеціалістів залізничного транспорту, наукових установ і промисловості з вирішення сучасних задач та проблем організації перевезень та управління на транспорті, рухомого складу і тяги поїздів, транспортного будівництва та залізничної колії, автоматики, телемеханіки та зв'язку.

Збірник наукових праць УкрДУЗТ призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів і науковців залізничного транспорту та промисловості.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща).

З реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com>.

Google Scholar профіль: <https://scholar.google.com.ua>

Веб-сторінка збірника: <http://znp.kart.edu.ua>

Реферативна база

"Наукова періодика України": <http://csw.kart.edu.ua>

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 7 від 27 жовтня 2016 р.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. №1328 (додаток 8)).

Редакційна колегія

Головний редактор – Михалків Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, УкрДУЗТ

Бабаєв М.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Бойнік А.Б., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Буцько Т.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Ватуля Г.Л., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Вовк Р.В., д.фіз.-мат.н., професор, УкрДУЗТ
Воронін С.В., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Ворожбіян М.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Даренський О.М., д.т.н., професор,
УкрДУЗТ
Каграманян А.О., к.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Лаврухін О.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Ломотько Д.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

Мартинов І.Е., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мойсеєнко В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мороз В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Огар О.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Панченко С.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Приходько С.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Плугін А.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Тартаковський Е.Д., д.т.н., професор,
УкрДУЗТ
Тимофєєва Л.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Фалендиш А.П., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.

у ISSN International Centre 20, Rue
Bachaumont, 75002 PAFIS, FRANCE

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2016

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| <i>Кулешов В.В., Камшиніков В.Ю., Рахманов Т.А.</i> Удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій залізниць України в умовах зміни обсягів перевезень | 5 |
| <i>Пархоменко Л.О., Лавренюк В.О.</i> Розроблення нечіткої моделі прогнозування кореспонденцій пасажирів у швидкісному русі на основі принципів просторової взаємодії | 15 |
| <i>Запара Я.В., Морозова А.В.</i> Оптимізація обігу швидкісних і високошвидкісних поїздів на залізницях України | 22 |
| <i>Барановський Д.М., Кебал І.Ю.</i> Динаміка піввагона під час руху колією з нерівностями з урахуванням випадкового і періодичного процесів | 27 |
| <i>Бутько Т.В., Єна А.В., Дідур Т.Д.</i> Формування моделі організації пасажиропотоків на залізничному пересадочному комплексі | 37 |
| <i>Пасько О.В., Зізюк Р.В.</i> Модернізація допоміжних електричних машин електричного рухомого складу | 43 |
| <i>Дацун Ю.М., Кіцелюк А.Ю.</i> Визначення оптимальних маршрутів експертної групи при обстеженні локомотиворемонтних виробництв | 51 |
| <i>Устенко О.В., Кравцов Д.С.</i> Дослідження та удосконалення роботи локомотивних бригад | 55 |
| <i>Мурадян Л.А.</i> Опис відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів | 62 |
| <i>Ловська А.О., Ігнат'єв Б.В., Бабкін А.О.</i> Удосконалення несучої конструкції вагона-платформи з метою підвищення ефективності його експлуатації | 68 |
| <i>Бульба В.І.</i> Оцінка технічного стану тягових передач електропоїздів | 75 |
| <i>Долгополов П.В., Суховецька Д.В.</i> Удосконалення високошвидкісного руху на залізничній дільниці в умовах диспетчерської централізації | 84 |
| <i>Калашнікова Т.Ю., Новіцька І.О.</i> Підвищення якості обслуговування пасажирів за рахунок автоматизації продажу квитків на вокзалах | 89 |
| <i>Калашнікова Т.Ю., Касьянов І.І.</i> Визначення найкращої системи централізації для управління рухом поїздів на сортувальних станціях | 96 |
| <i>Чигирик Н.Д., Найдьон Є.О., Сумцов А.Л.</i> Аналіз схемних рішень та вибір тягового привода швидкісного рухомого складу | 103 |
| <i>Калашнікова Т. Ю., Кравченко Д. О., Звягінцев Я. С.</i> Моделювання процесів взаємодії у роботі підсистем технічної станції між собою та з прилеглими дільницями за умов необхідності зважування вагонів | 112 |
| <i>Труфанова А. В., Шаблій В. В., Гавенда Я. І.</i> Технічне діагностування системи кондиціонування повітря в пасажирських вагонах | 117 |
| <i>Калабухін Ю.Є., Ольховська Т.О., Коваленко С.А., Ткаченко В.О.</i> Оцінка якості сервісного супроводження локомотивів | 126 |
| <i>Бабанін О.Б., Сироватський Є.В., Відіборов Д.О.</i> Підвищення точності комп'ютерної системи для випробування енергетичних систем тепловозів | 136 |
| <i>Чигирик Н.Д., Кошель А.Є., Вихопень І.Р.</i> Дослідження термопружного стану гальмівного диска високошвидкісного поїзда | 145 |

| | |
|--|-----|
| <i>Ковальов А.О., Проплеткіна А.Є., Богатирьова В.Д.</i> Визначення ефективності впровадження і розвитку високошвидкісного руху в Україні | 154 |
| <i>Продащук С.М., Богомазова Г.Є., Пурій Р.А.</i> Нова концепція тарифної політики для внутрішніх залізничних вантажних перевезень | 160 |
| <i>Крашенінін О.С., Костюченко М.М., Соколенко С.І.</i> Обґрунтування резервів ремонтного господарства при переході на утримання ШРС | 169 |
| <i>Головко Т.В., Гусаров С.Е.</i> Удосконалення організації поїздопотоків у межах міжнародних транспортних коридорів | 177 |
| <i>Константинов Д.В., Івань О.М.</i> Удосконалення системи формування раціональних маршрутів прямування міжрегіональних пасажирських поїздів на залізницях України | 183 |
| <i>Малахова О.А., Губіна А.О., Некрасова А.С.</i> Удосконалення пасажирських перевезень на залізничному транспорті на основі використання теорії розкладів | 191 |
| <i>Зіньківський А.М., Беляков М.Л.</i> Аналіз конструктивних рішень і вибір струмоприймачів рухомого складу для експлуатації в умовах швидкісного руху | 201 |
| <i>Константинов Д.В., Дяченко О.О.</i> Формування перспективних напрямів розвитку сучасних пасажирських перевезень | 211 |
| <i>Бауліна Г.С., Левченко В.С.</i> Формування цільової функції експлуатації швидкісних поїздів | 222 |

УДК 656.21.001.57

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Канд. техн. наук В. В. Кулешов, магістранти В. Ю. Камишніков, Т. А. Рахманов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАТОЧНЫХ СТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗОК

Канд. техн. наук В. В. Кулешов, магистранты В. Ю. Камышников, Т. А. Рахманов

IMPROVING INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS OF THE BORDER STATIONS OF RAILWAYS OF UKRAINE IN TERMS OF CHANGES IN TRAFFIC

Ph.D. Candidate of Technical Sciences V. Kuleshov, Masters V. Kamyshnikov, T. Rakhmanov

Виконано аналіз кількості затриманих вагонів з експортними, імпортними та транзитними вантажами, основних причин затримки вагонів на прикордонних передавальних станціях України за 2011-2014 рр. Розглянуто варіанти покращення взаємодії структурних підрозділів, державних органів контролю на прикордонних передавальних станціях залізничного транспорту. Наведено схему інформаційно-керуючої системи взаємодії в умовах різних компаній-власників рухомого складу. Модель діяльності передавальної станції можливо описати ланцюгом Маркова з зворотною траєкторією з кінцевим часом та трьома станами.

Ключові слова: власник рухомого складу, інформаційно-керуюча система, контролюючий орган, оператор перевезень, прикордонна передавальна станція, регіональна філія, структурний підрозділ.

Выполнен анализ количества задержанных вагонов с экспортными, импортными и транзитными грузами, основных причин задержки вагонов на пограничных передаточных станциях Украины за 2011-2014 гг. Рассмотрены варианты улучшения взаимодействия структурных подразделений, государственных органов контроля на пограничных передаточных станциях железнодорожного транспорта. Приведена схема информационно-управляющей системы взаимодействия в условиях разных компаний-владельцев подвижного состава. Модель деятельности передаточной станции возможно описать цепью Маркова с возвратной траекторией с конечным временем и тремя состояниями.

Ключевые слова: владелец подвижного состава, информационно-управляющая система, контролирующий орган, оператор перевозок, пограничная передаточная станция, региональный филиал, структурное подразделение.

The analysis of the number of detained cars with export, import and transit cargoes, the main reasons for delays of wagons at border transfer stations of Ukraine for 2011 – 2014. Reviewed options for improving the interaction of the structural divisions of the state control authorities at border transfer stations of rail transport. The scheme information management system interaction in different companies-owners of rolling stock. The activity model of the transmitting station is described by a Markov chain with recurrent trajectories with a nite time and three states.

Interaction with the nearby areas can be characterized by the total income from freight transportation for the structural division. Unified information management system boundary

transfer station of the transport system of Railways should eventually lead to the establishment of a coordinated system of exchange of information between shippers, consignees, stations, border, customs bodies of the state control, the owners of the cargo, rolling stock, etc.

Keywords: *the owner of the rolling stock, information management system, a Supervisory authority, operator, border transfer station, regional branch, structural subdivision.*

Вступ. Транспортний комплекс являє собою сукупність транспортних систем різних видів транспорту, які постійно розвиваються, технічна і технологічна їх складові постійно ускладнюються. Для забезпечення виконання складних завдань, поставлених перед залізничним транспортом України, необхідно в економічному розвитку дотримуватися відповідних пропорцій [1, 2].

У сучасних умовах для удосконалення організаційно-технологічної моделі [7] перевезення вантажів ефективним є комплексний розвиток і взаємодія всіх видів транспорту, які повинні працювати в оптимальному режимі. Для забезпечення такого режиму й отримання максимальної економічної ефективності організацію перевезень вантажів необхідно здійснювати на підставі результатів розрахунків раціонального технічного оснащення і технології для різних видів транспорту в загальній їх системі взаємодії.

Пропорційність розвитку повинна бути в єдиній транспортній системі, що означає перехід до нового, більш досконалого етапу розвитку складових частин транспорту (видів транспорту). Необхідно враховувати попит у кожному регіоні держави на окремі види транспорту.

Світовий досвід свідчить, що узгоджений і пропорційний розвиток усіх видів транспорту повинен здійснюватися з урахуванням необхідності інтеграції транспортної системи України в європейську і світову системи. Для здійснення такої інтеграції необхідно враховувати світові тенденції та визнані за кордоном різноманітні стандарти розвитку технічних засобів транспорту, узгоджені технологічні процеси прикордонних переходів, сучасні способи підвищення

ефективності використання рухомого складу, забезпечувати злагоджену роботу передавальних станцій транспортної системи залізниць України.

Удосконалення системи надання транспортних послуг вантажовласникам, поліпшення їх якості, залучення додаткових вантажопотоків на принципах «Єдиного вікна» потребує допрацювання, особливо на прикордонних переходах та передавальних станціях. Оскільки на транзитні перевезення припадає 62 % усього вантажопотоку Південної залізниці, а обсяги транзитних перевезень вантажів зменшилися на 14,5 %, то залізниця систематично недоотримує доходи, що на 9,4 % менше, ніж було заплановано.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У нормативних документах [1, 2] при організації перевезень докладно не враховані питання удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій транспортної системи залізниць України в умовах зміни обсягів і структури перевезень. У роботах [3, 4] запропоновані моделі взаємодії інфраструктури залізниць та операторських компаній-власників рухомого складу (ОК) не враховують питання розроблення єдиного технологічного процесу залізничних адміністрацій (ЗА) та ОК. У роботах [5-8] імітаційна модель роботи прикордонної передавальної станції (ППС) не враховує обробку вагонних парків різних операторських компаній. У дослідженнях [9-11] були розглянуті сучасні підходи до організаційно-технологічної моделі керування парком вантажних вагонів різної форми власності, але при організації перевезень не враховані розвинені інформаційні технології, за допомогою яких можливе

вдосконалювання надання залізничних послуг, особливо в міжнародних перевезеннях залізницями України. У дослідженні [12] розроблені лінійні регресійні моделі для прогнозування майбутнього річного обсягу перевезень та транспортного потоку, пропонується розділення норм пасажиро- і вантажопотоків за різними типами конструкції транспортного засобу. У роботі [13] запропонований метод підвищення надійності залізничних великих станцій з урахуванням маршруту, розкладу і платформ, оцінені зміни та неприпустимі рішення. Незважаючи на великий обсяг різних підходів, потребують вирішення питання удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій транспортної системи залізниць України.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета та задачі дослідження – удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій транспортної системи залізниць України в умовах зміни обсягів та структури перевезень.

Основна частина дослідження. У транспортних вузлах у залежності від місцевих умов (природних, історичних, економічних, соціальних) може здійснюватися повна або часткова взаємодія всіх видів транспорту. Найбільш часто зустрічається взаємодія автомобільного і залізничного, автомобільного і водного, залізничного і водного, автомобільного і повітряного.

Залізничний вузол складається із підсистем і елементів. Підсистема залізничного вузла являє собою його частину, яка має певні складові елементи, робота її спрямована на виконання єдиної мети функціонування вузла (залізничний, автомобільний, річний та інші види транспорту).

Елемент залізничного вузла – об'єкт, який більше не ділиться на найменші частини. Залізничний вузол має вхід і вихід, потоки поїздів, пасажирів, вантажів.

При функціонуванні залізничних вузлів існують різноманітні збурювання, для запобігання негативного впливу яких на перевізний процес реалізуються управлінські дії. Управлінські дії формуються на підставі різноманітних даних, які безперервно надходять до служби перевезень регіональних філій ПАТ «Укрзалізниця» (Д), департаменту управління рухом ПАТ «Укрзалізниця» (ЦД), відповідного рівня (підсистеми) по каналах зв'язку про роботу залізничного вузла, його підсистем і елементів. За допомогою зв'язку здійснюється управління його роботою з урахуванням різних збурювань.

Незважаючи на спільність цілей функціонування всіх залізничних вузлів, кожний з них у певному регіоні держави виконує конкретні завдання та обсяги роботи. Ураховуючи загальні тенденції в їх функціонуванні і розвитку, усі транспортні вузли можна розділити на три групи:

- залізничні вузли, які сформувалися, повністю задовольняють перспективні обсяги вантажних і пасажирських перевезень, не потребують подальшого розвитку (вкладання значних інвестицій), вимагають лише удосконалення за рахунок упровадження новітніх досягнень науки і техніки при незначних капітальних вкладеннях;

- залізничні вузли, які перебувають у стадії формування;

- залізничні вузли, які через значні зміни обсягів перевезень і структури транспортних потоків потребують оптимізації своєї структури, зміни спеціалізації підсистем і елементів та їх технічного оснащення і технологічного забезпечення.

У залежності від того, до якої групи належить конкретний залізничний вузол, визначається перспективна програма його розвитку. Залізничні вузли вимагають свого розвитку. Примикання нових ліній тягне за собою перебудову існуючих та будівництво додаткових станцій.

Основна причина збільшення середнього часу користування вагонами на під'їзних коліях – очікування завершення митних операцій. Рухомий склад простоє в середньому від однієї до трьох діб. Важливе значення у митному оформленні має територіальне розміщення митних постів (60 км і більше), карантинної служби та інших державних органів контролю.

Загальна кількість затриманих вагонів з експортними, імпорнтними та транзитними вантажами за 2014 р. склала 45690 ваг, що на 9404 ваг більше, ніж кількість затриманих вагонів за 2013 р. (36286 ваг). Із загальної кількості затриманих вагонів за 2014 р. вагонів з експортними вантажами – 49,3 %, з імпорнтними вантажами – 28 %, з транзитними вантажами – 22,7 %.

Кількість затриманих вагонів на прикордонних передавальних станціях України службами затримки вагонів у відсотковому співвідношенні із загальних 100 % затриманих вагонів усіма службами службою комерційного господарства було затримано 26 % (або 17021 ваг), з яких: транспортно-експедиційні причини (неправильно оформлені перевізні документи, немає перевізних та супровідних документів) – 19,6 % (або 12831 ваг); комерційний брак – 6,4 % (4190 ваг). Через зміну статусу вантажних вагонів із інвентарного на власний вони менше затримуються за кордоном.

Основні причини затримки вагонів на залізницях України: надходження транзитних та експортних вантажів понад узгоджену добову норму; неузгоджене перевезення; немає вчасно оформленої вантажно-митної декларації (ВМД); немає супровідних документів; неповна інформація у перевізних документах або неправильно оформлені нові документи вантажовідправниками; заборона на ввіз вантажу та конвенційні обмеження; приймання вантажних вагонів прикордонними передавальними станціями з порушенням технології приймання працівниками відповідних служб. Аналіз основних

причин затримки вагонів на прикордонних передавальних станціях України за 2011-2014 роки наведений на рис. 1.

Можливо виділити варіанти покращення взаємодії структурних підрозділів ЗА, ОК, вантажовласників та державних органів прикордонного, митного, санітарно-епідеміологічного, екологічного, ветеринарного та фітосанітарного контролю на ППС залізниць України:

1) доповнення технології вимогами забезпечення достовірного обліку передавання вагонів та контейнерів, їх належного технічного та комерційного стану (при «прозорих кордонах») при розвинених інформаційно-керуючих системах (ІКС);

2) доповнення умов технологій митного контролю вантажних вагонів і документів наявністю електронних дозволів, ліцензій, заборон на ввезення та вивезення вантажів;

3) поповнення технологій прикордонного та митного контролю повним натурним контролем вантажних поїздів на базі ІКС;

4) інформатизація на ППС функцій контори передач, ПрикордонТЕК, воєнізованої охорони (НОР), прикордонного, митного, санітарно-епідеміологічного, екологічного, ветеринарного та фітосанітарного контролю при узгодженні технології із міждержавними угодами (від «прозорих кордонів» до «повного контролю») та правилами ввезення на митну територію України й вивезення за її межі у терміни, встановлені Технологічним процесом роботи прикордонної передавальної станції (ТП);

5) сприяння працівників станції контролюючим органам у проведенні огляду та перевірки вантажів на базі інформації про підхід поїздів, вагонів та вантажів, які перевозяться у межах України;

6) забезпечення схоронності вантажів та технічного стану вагонів (супроводження охороною, технічне обслуговування, вимога перевезення до кордону без зупинок

і т. ін.) на підставі рекомендацій залежно від класу станції;

7) вирішення поставлених завдань з урахуванням особливостей роботи

конкретних ППС з найменшою тривалістю перебування вагонів на станції та збереженням вантажів на основі підготовки та передавання інформації засобами АРМ.

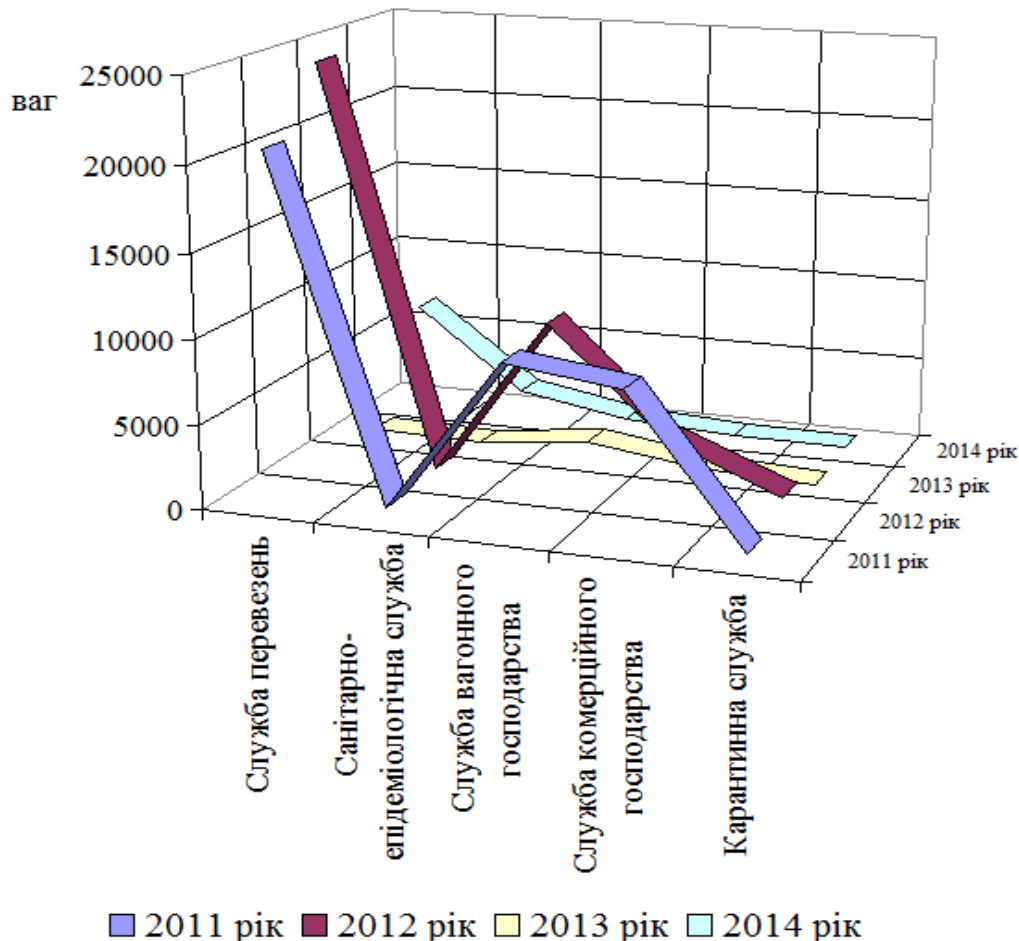


Рис. 1. Аналіз основних причин затримки вагонів на прикордонних передавальних станціях України за 2011-2014 роки

Для позакласної та 1-го класу передавальної станції ТП розробляється за участю начальника і фахівців станції (ДС), дирекції залізничних перевезень (ДН), локомотивного (ТЧ) і вагонного депо (ВЧД), виробничого підрозділу філії «Головний інформаційно-обчислювальний центр» (ВП ГІОЦ), дистанцій колії (ПЧ), дистанції сигналізації та зв'язку (ШЧ), механізованої дистанції навантажувально-розвантажувальних робіт (МЧ), дільниці електропостачання (ЕЧК) та

затверджується начальником залізниці (Н). За необхідності залучаються фахівці науково-дослідних інститутів та вищих навчальних закладів. Для станцій усіх інших класів ТП розробляється ДС із залученням відповідних фахівців та затверджується начальником ДН.

Кожний ТП погоджується з начальниками служб перевезень (Д), комерційної роботи та маркетингу (М), пасажирської (Л), сигналізації та зв'язку (Ш), локомотивного (Т) та вагонного (В)

господарств, електрифікації та електропостачання (Е), воєнізованої охорони (НО), охорони праці (НБТ), а також контролюючими службами на рівні контрольних постів органів виконавчої влади за узгодженням з митною та іншими контролюючими службами.

ТП переглядається через 10 років, а при впровадженні на станції нової техніки, удосконаленні технології роботи, освоєнні прогресивних методів праці до ТП вносяться корективи або він переглядається повністю. Перевірку здійснює організація-розробник через кожні п'ять років. Скасування документа здійснює орган, що

його затвердив, у разі припинення дії або розроблення нового ТП.

Для ППС, розташованих на сухопутних прикордонних переходах ТПРПС ураховує вимоги Статуту залізниць України та інших нормативних документів.

ТП встановлює єдині вимоги до розроблення технології їх роботи. Його вимоги є обов'язковими для виконання всіма підрозділами та працівниками залізничного транспорту при обслуговуванні та експлуатації всіх ділянок роботи станції

Схема інформаційно-керуючої системи взаємодії на ППС залізниць України в умовах різних компаній-власників рухомого складу наведена на рис. 2.

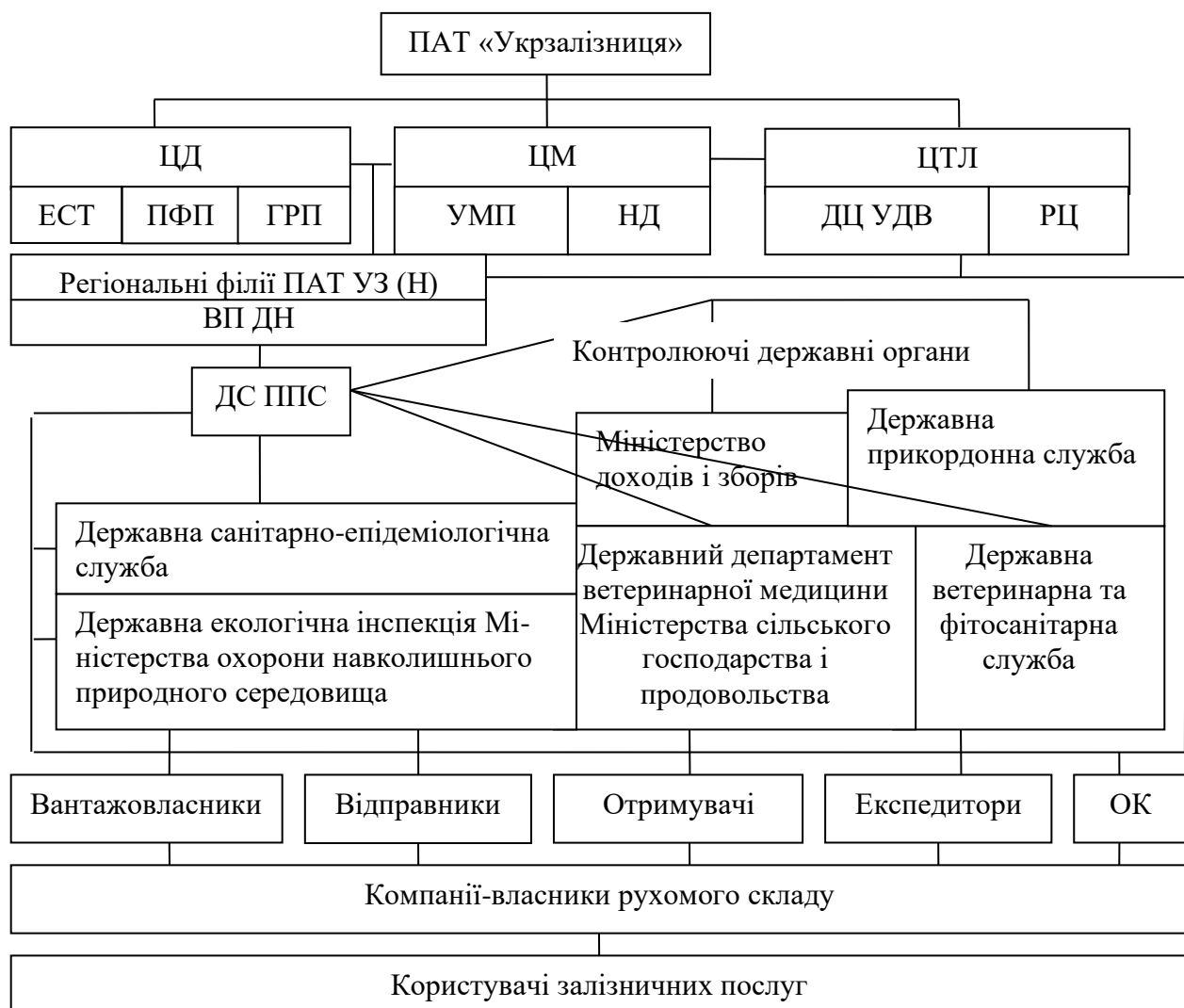


Рис. 2. Схема інформаційно-керуючої системи взаємодії на ППС залізниць України в умовах різних компаній-власників рухомого складу

Інформаційно-керуюча структура взаємодії з компаніями-операторами перевезень дає змогу гнучко виконувати подальше реформування ППС залізниць. Дії системи, що відображає кінцеві стани виходів на основі взаємодії елементів системи, наводяться у вигляді матриць [11]. Моделі організаційно-технологічної системи враховують оптимізацію розрахунків колійного та технічного розвитку, як елементів інфраструктури, за умовою ресурсозбереження із виділенням показників взаємодії ЗА та ОК та залежність експлуатаційних витрат від кількості прийнятих та переданих составів, кількості елементів інфраструктури (колій парків ППС).

Модель діяльності ППС можливо описати ланцюгом Маркова [11] зі зворотною траєкторією з кінцевим часом та трьома станами: робочим (0), передвідмовним (1) та відмовним (2). Стационарні ймовірності $p_j (j = 0, 1, 2)$ знаходять з такої системи рівнянь:

$$p_j = \sum_{i=0}^2 p_i p_{ij} (j = 0, 1, 2), \sum_{j=0}^2 p_j = 1. \quad (1)$$

Оскільки рівняння лінійно залежні, виявимо з них лінійно незалежні складові. Тоді розв'язання даної системи має вигляд:

$$\begin{cases} p_0 = p_0(1 - \varepsilon_1) + p_1(1 - \varepsilon_2); & p_1 = p_0\varepsilon_1 + p_2; & p_0 + p_1 + p_2 = 1; \\ p_0 = \frac{1 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2}; & p_1 = \frac{\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2}; & p_2 = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2}. \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки реальні показники надані із деякою ймовірністю, то ідеальні ймовірності замінюються на істинні за правилом Крамера. Тоді отримаємо при $\Theta_2 = \Theta_3 = 0$ імовірність

$$p_2 = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 - \Theta_1\delta(1 - \varepsilon_1)}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2 - \Theta_1\delta(1 - \varepsilon_1)}. \quad (3)$$

При $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,01$ ймовірність p_2 знаходиться в діапазоні 0-0,01, що відповідає вимогам техніко-економічних досліджень.

Взаємодія ППС з прилеглими напрямками своєї залізниці та ЗА інших держав може характеризуватися

загальними доходами від вантажних перевезень по структурному підрозділу. Слід окремо підрозділити доходи для вагонів різних власників та ОК, а по кожному з власників на доходи від початково-кінцевих, рухомих операцій; користування вагонами та послуг, що пов'язані із перевезенням вантажу і порожніх вагонів на прилеглих дільницях міжнародного транспортного коридора. Запропонована модель ППС доповнена визначенням сумарних доходів від вантажних перевезень, експлуатаційних витрат та витрат державних і власних компаній (ЗА та ОК), використовує визначений період часу (добу, місяць, рік) та має вигляд:

$$\begin{cases} f(D_{вант}) = \sum_{i=1}^I D_{дільн} + \sum_{j=1}^J D_{ст}^{виг} + \sum_{k=1}^K D_{ст}^{нав} + \sum_{l=1}^L D_{дільн}^{місц} + \sum_{m=1}^M D_{корист} + \sum_{n=1}^N D_{операц} - E_{відр}^{нал} \rightarrow \max \\ f(E_{вант}) = \sum_{i=1}^I E_{дільн} + \sum_{j=1}^J E_{ст}^{пр} + \sum_{k=1}^K E_{ст}^{виг} + \sum_{l=1}^L E_{ст}^{нав} + \sum_{m=1}^M E_{дільн}^{місц} + \sum_{n=1}^N E_{дільн}^{рез.лок} \rightarrow \min \end{cases}, \quad (4)$$

де $\sum_{i=1}^I D_{дільн}$ – сумарні доходи за пропуск

транзитних вантажних поїздів по I -дільницях напрямків у межах між технічними станціями, що обмежують дільниці, та ППС, включаючи вантажні, порожні, власні та орендовані вагони;

$\sum_{j=1}^J D_{ст}^{виг}$ – сумарні доходи за виконання

J -кінцевих операцій з місцевими вагонами, включаючи власні вагони, на станціях вивантаження у вузлах та на дільницях;

$\sum_{k=1}^K D_{ст}^{нав}$ – сумарні доходи за виконання

K -початкових операцій з місцевими вагонами, включаючи власні вагони, на станціях навантаження у вузлах та на дільницях;

$\sum_{l=1}^L D_{дільн}^{місц}$ – сумарні доходи на обробку

L -місцевих вагонів, включаючи власні вагони;

$\sum_{m=1}^M D_{корист}$ – сумарні доходи від надання

M -власних вагонів у користування вантажовласників;

$\sum_{n=1}^N D_{операц}$ – сумарні доходи за інші

N -операції, які пов'язані з перевезенням вантажів у вагонах ЗА та ОК;

$E_{вигор}^{нал}$ – сумарні податки та відрахування;

$\sum_{i=1}^I E_{дільн}$ – сумарні витрати, що пов'язані

з пропуском I -дільницею і напрямком транзитних вантажних поїздів із завантажених та порожніх вагонів державних компаній-операторів та власних парків;

$\sum_{j=1}^J E_{ст}^{мп}$ – сумарні витрати, що пов'язані з

обробкою J -передавальними станціями транзитних вантажних поїздів із навантажених та порожніх вагонів державних компаній-операторів та власних парків;

$\sum_{k=1}^K E_{ст}^{виг}$ – сумарні витрати, що пов'язані

з вивантаженням K -місцевих вагонів ЗА та власного парків;

$\sum_{l=1}^L E_{ст}^{нав}$ – сумарні витрати, що пов'язані

з навантаженням L -місцевих вагонів ЗА та власного парків;

$\sum_{m=1}^M E_{дільн}^{місц}$ – сумарні витрати, що пов'язані

з проходженням M -дільницею місцевих вантажних поїздів (збірних, передавальних, інших категорій) із вагонів різних парків;

$\sum_{n=1}^N E_{дільн}^{рез.лок}$ – сумарні витрати, що

пов'язані з пропуском N -поїзних локомотивів, депо приписки ЗА та ОК.

При дослідженні експлуатаційних витрат ЗА та ОК на перевезення вантажів в умовах запровадження принципів технологічно-економічної моделі перевізного процесу поряд із відомими витратними ставками додатково враховуються одиночні витратні ставки:

$C_{перегон\ e(m)j}$ – використання 1 км головних колій у межах міжстанційних перегонів дільниці протягом однієї години, грн;

$C_{управл\ j}$ – вартість використання засобів управління інфраструктурою (будівель, обладнання та управлінського персоналу дирекції залізничних перевезень, управління залізницею, структурних підрозділів залізниць, ОК) протягом години на 1 км розгорнутої довжини колій залізниці, грн.

У загальному вигляді комплексна модель ефективного використання інфраструктури ППС зведена до визначення прибутковості Π_j і набуває вигляду

$$F(\Pi_j) = [D_{вант}, E_{вант}, D_{подат}, D_{вигор}] \rightarrow \max. (5)$$

При лінгвістичних змінних у межах (min, max):

$$\left\{ \begin{array}{l} 3 \leq I \leq 12, \langle P_1, T_1, I \rangle \rightarrow \langle \text{кількість прилеглих ділянок}, T_1, [I_1^{\min}, I_1^{\max}] \rangle; \\ 12 \leq J \leq 36, \langle P_2, T_2, J \rangle \rightarrow \langle \text{кількість кінцевих операцій}, T_2, [J_2^{\min}, J_2^{\max}] \rangle; \\ 12 \leq K \leq 36, \langle P_3, T_3, K \rangle \rightarrow \langle \text{кількість початкових операцій}, T_3, [K_3^{\min}, K_3^{\max}] \rangle; \\ 3 \leq L \leq 4, \langle P_4, T_4, L \rangle \rightarrow \langle \text{кількість перероблюваних вагонів}, T_4, [L_4^{\min}, L_4^{\max}] \rangle; \\ 6 \leq M \leq 18, \langle P_5, T_5, M \rangle \rightarrow \langle \text{кількість вагонів різних власників}, T_5, [M_5^{\min}, M_5^{\max}] \rangle; \\ 4 \leq N \leq 18, \langle P_6, T_6, N \rangle \rightarrow \langle \text{кількість інших операцій}, T_6, [N_6^{\min}, M_6^{\max}] \rangle. \end{array} \right.$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Єдина інформаційно-керуюча система прикордонних передавальних станцій транспортної системи залізниць України повинна з часом привести до становлення злагодженої системи обміну інформаційними даними між вантажовідправниками, вантажоодержувачами, станціями, прикордонними, митними та іншими органами державного контролю, власниками вантажів, рухомого складу тощо.

Упровадження запропонованої моделі ефективного використання інфраструктури

прикордонних передавальних станцій дає змогу знизити втрати на стиках між філіями ПАТ «Укрзалізниця»; покращити показники експлуатації парків вагонів державного, інших операторів-власників рухомого складу та перевезень. За рахунок указаних чинників покращиться використання поїзних і маневрових локомотивів, ємності колійного розвитку станцій; скоротяться витрати на логістику перевезення вантажів, прискориться тривалість їх доставки вантажоотримувачам.

Список використаних джерел

1. Про Комплексну програму розбудови державного кордону України [Електронний ресурс]: указ президента України № 596/93 від 16 грудня 1993 р. із змінами, внесеними згідно з Указами Президента №70/99 від 27.01.1999 р., №963/2009 від 24.11.2009 р. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/596/93](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/596/93). - Загол. з екрана.
2. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: [схвал. розпорядженням КМУ № 1555-р від 16.12.2009 р.]. – Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/> 10.12.2009.
3. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта за счет создания транспортно-логистических кластеров [Текст] / Е.С. Алешинский, В.В. Мещеряков, Е.И. Рябовол, И.А. Лапушкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №5/3 (65). – С.39-45.
4. Бутько, Т. В. Подходы к усовершенствованию технологии работы пограничных станций на основе разработки системы поддержки принятых решений [Текст] / Т.В. Бутько, Г.С. Баулина // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2008. – Вып. 24. – С. 153-157.
5. Губарь, М. В. Разработка имитационной модели работы пограничной передаточной станции [Текст] / М.В. Губарь, Е.Н. Кособокова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом: сб. науч. тр. – СПб.: ПГУПС, 2006. – Вып. 6. – С. 58-65.

6. Данько, М. І. Побудова моделі оцінки інвестицій у залізничну інфраструктуру при взаємодії залізничних адміністрацій та операторів перевезень [Текст] / М.І. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 7-13.

7. Данько, Н. И. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной формы собственности [Текст] / Н.И. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Инновационный транспорт: научно-публицистическое издание. – 2012. – № 4 (5). – С. 8-13.

8. Кулешов, В. В. Удосконалення технології роботи операторів рухомого складу на передавальних станціях залізниць України [Текст] / В. В. Кулешов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 35-42.

9. Ломотько, Д. В. Удосконалення технології роботи прикордонних станцій в умовах єдиного інформаційного простору [Текст] / Д.В. Ломотько, А.Л. Обухова, О.В. Ковальова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 5-10.

10. Функционирование систем управления безопасностью движения на железных дорогах Украины и России [Текст] / А. Н. Огарь, Ю. О. Пазойский, А. В. Розсоха [и др.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 18-28.

11. Калашников, В. В. Сложные системы и методы их анализа [Текст] / В.В. Калашников // Новое в жизни, науке, технике. – М.: Знание, 1980. – №9. – 64 с. – Сер. Математика, кибернетика.

12. Sathaporn Opasanon, Songyot Kitthamkesorn Border crossing design in light of the ASEAN Economic Community: Simulation based approach // Transport Policy. Volume 48, May 2016, 1–12.

13. Thijs Dewilde, Peter Sels, Dirk Cattrysse, Pieter Vansteenwegen Robust railway station planning: An interaction between routing, timetabling and platforming// Journal of Rail Transport Planning & Management. Volume 3, Issue 3, August 2013. 68-77.

Кулешов Валерій Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: valerijkuleshov2015@gmail.com.
Камишніков Владислав Юрійович, Рахманов Тогрул Афлатун огли, магістранти Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Kuleshov Valeriy Vaycheslavovich, PhD. Sc., assistant professor of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: valerijkuleshov2015@gmail.com.
Kamyshnikov Vladislav Yuryevich, Rakhmanov Togrul Aflatoun oglu. Masters of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Стаття прийнята 01.09.2016 р.

УДК 656.2

РОЗРОБЛЕННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ ПАСАЖИРІВ У ШВИДКІСНОМУ РУСІ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ ПРОСТОРОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Канд. техн. наук Л. О. Пархоменко, В. О. Лавренюк

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПАССАЖИРОВ В СКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Канд. техн. наук Л. А. Пархоменко, В. А. Лавренюк

DEVELOPMENT OF FUZZY MODEL FOR FORECASTING OF PASSENGERS CORRESPONDENCE IN HIGH-SPEED MOVEMENT ON THE BASIS OF SPATIAL INTERACTION

Assistant professor L. A. Parkhomenko, V. O. Lavreniuk

Запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій пасажирів на основі нечітких реляційних обчислень, яка, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати населеність міст, тривалість подорожі, транспортну доступність, вплив агломераційного ефекту в структурі кореспонденцій, що підвищить точність прогнозування та в подальшому надасть можливість проводити більш точні розрахунки щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті.

Ключові слова: швидкісний пасажирський рух, нечітка модель прогнозування, просторова взаємодія, гравітаційні моделі, кореспонденція пасажирів.

Предложена математическая модель прогнозирования корреспонденций пассажиров на основе нечетких реляционных вычислений, которая, в отличие от существующих, позволяет учесть населенность городов, продолжительность путешествия, транспортную доступность, влияние агломерационного эффекта в структуре корреспонденций, что повысит точность прогнозирования и в дальнейшем позволит проводить более точные расчеты экономической целесообразности реализации инновационных проектов повышения скорости движения на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: скоростное пассажирское движение, нечеткая модель прогнозирования, пространственное взаимодействие, гравитационные модели, корреспонденция пассажиров.

High-speed passenger transport is one of the priorities of Ukrainian railways. Mechanism of improving rail system passenger traffic is formalizing procedures for rational distribution of high-speed trains in the long term with further integration into the information management system based on the formation of a decision support system for strategic planning speed passenger traffic on the railways of Ukraine. To determine the efficient rail network topologies and high-speed transport and the rational distribution of high-speed trains managers taking management decisions need to provide a modern system of forecasting passenger flows. The mathematical model predicting correspondence passengers based on fuzzy relational calculations that the difference

from the existing, allow for the habitability of cities, travel time, transport accessibility, the impact of agglomeration effect in the structure of correspondence, which will improve the accuracy of forecasting, and later will allow for more accurate calculations on the economic feasibility of innovative projects increasing the speed of traffic on the railways.

Keywords: *high-speed passenger traffic, fuzzy forecasting model, spatial interaction, gravitational model correspondence passengers.*

Вступ. В умовах здійснення структурних змін у залізничній транспортній мережі країни постають питання щодо пошуку збалансованого існування маршрутів прямування поїздопотоків швидкісного і звичайного руху з урахуванням розвитку топології залізничної мережі.

Проведений аналіз кількості відправлених пасажирів на залізничному транспорті України за період 2009-2013 рр. свідчить про сталу тенденцію падіння інтенсивності пасажиропотоку з середньою величиною в 1,09 % протягом 2011-2013 рр. На фоні незначного падіння кількості перевезених пасажирів загострюється конкуренція між залізничним і автомобільним транспортом. Аналіз досвіду залізниць світу показує, що найбільш значне підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту можливе при впровадженні швидкісного або високошвидкісного руху пасажирських поїздів.

Подальший розвиток проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України потребує проведення наукових досліджень щодо вибору стратегії розвитку залізничної системи пасажирських перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз реалізації останніх проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України довів ряд недоліків: рішення щодо розвитку залізничної мережі приймаються розрізнено, не взаємопов'язано між собою та без комплексної оцінки їх впливу в довгостроковому періоді функціонування мережі; не існує теоретично обґрунтованих техніко-економічних розрахунків щодо ефективності впровадження різних

варіантів розвитку мережі залізничних пасажирських перевезень. Наведені вище недоліки доводять необхідність проведення наукових досліджень щодо формування системи стратегічного управління пасажирськими перевезеннями з можливістю проведення прогнозування попиту на перевезення в довгостроковому періоді планування та визначення раціональної топології залізничної мережі швидкісних перевезень у взаємодії зі звичайними пасажирськими поїздами.

Підвищення швидкості руху поїздів у залізничних системах світу створило фундаментальні зміни в просторовій взаємодії віддалених територій. Високі темпи розвитку швидкісних (від англ. Speed Rail, SR) і високошвидкісних залізниць (від англ. High Speed Rail, HSR) значною мірою зумовлені їх підвищеною безпекою руху, більш високою продуктивністю за рахунок здатності покривати великі географічні відстані за короткий час, зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище та значної соціально-економічної ефективності [1-3].

Досвід експлуатації швидкісних і високошвидкісних залізниць свідчить про значний соціально-економічний ефект, що досягається підвищенням мобільності населення і, як наслідок, зростанням ділової активності населення в колись ізольованих регіонах [4]. Взагалі економічні і соціальні наслідки після впровадження високошвидкісних магістралей дуже складно передбачити і кількісно оцінити [5]. Так, до більш широких економічних переваг можна віднести підвищення ринкової доступності (від англ. market accessibility) [4]; агломераційні переваги (від англ. agglomeration benefits), що

приводять до збільшення ринку праці шляхом підвищення транспортної доступності територій [6, 7]; підвищення якості життя тощо. Такі результати можуть бути вимірні збільшенням ВВП країни, що відбувається в результаті зміни економічної активності [4].

Перелічені вище переваги швидкісних і високошвидкісних залізниць призвели до їх значного поширення у світі [8]. Так, по всьому світу в період з січня 2008 р. по січень 2011 р. майже в 1,5 разу збільшилась кількість високошвидкісних поїздів – з 1737 поїздів до 2517. Дві третини цієї кількості знаходиться у п'яти країнах: Франція, Китай, Японія, Німеччина та Іспанія. За прогнозами до 2025 р. очікується, що кількість високошвидкісних поїздів по всьому світу складе до 5600 одиниць [9].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є проведення аналізу пасажиропотоків в умовах звичайної та прискореної швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України; розроблення моделі прогнозування кореспонденцій пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення.

Виконані дослідження базуються на процедурі аналізу ринку швидкісних перевезень пасажирів, теорії імовірностей та математичної статистики. Використано методи нечіткої алгебри, генетичних алгоритмів для формування математичної моделі прогнозування кореспонденцій пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення; методи статистичної фізики, теорії графів, метод Дейкстри та мультиагентний метод оптимізації на основі моделювання переміщення бактерій для формування ентропійної математичної моделі пошуку раціональної топології залізничної мережі для курсування швидкісних і звичайних пасажирських поїздів; методи дослідження інформаційних потоків при формуванні інформаційно-

керуючої системи з реалізацією СППР для стратегічного планування.

В основі формування математичної моделі запропоновано використати підхід на основі використання моделей просторової взаємодії. Найбільш поширеними моделями такого класу є “гравітаційні” моделі [10, 11]. В основі даних моделей лежить сформульована більше ста років тому теорія, за якою обсяги перевезень між двома містами підпорядковуються закону обернених квадратів відповідно до закону гравітації [10]. На сучасному етапі наукових досліджень найбільш популярні версії гравітаційних моделей використовують імовірнісну постановку, крім того, моделі доповнюються різними варіантами показників, що підвищують точність прогнозування [12].

Враховуючи відсутність реалізації гравітаційних моделей з прийнятною точністю (похибка складає понад 20 %), для залізничного транспорту дане дослідження присвячено створенню і реалізації моделі прогнозування кореспонденцій в умовах впровадження швидкісних пасажирських поїздів на основі нечітких реляційних обчислень.

Відповідно до застосування у транспортних системах у гравітаційних моделях у якості тіл виступають пункти зародження-погашення потоків, за масу тіл приймаються обсяги відправлень з одного транспортного району і прибуття в інший за період прогнозування, фізичну відстань можна замінити на транспортну відстань, яку доцільно інтерпретувати як узагальнену функцію транспортних витрат [12, 13]. У найпростішій формі гравітаційна модель має вигляд

$$\rho_{ij} = \kappa \frac{s_i d_j}{c_{ij}^2} \Rightarrow \rho_{ij} = \kappa s_i d_j f(c_{ij}), \quad (1)$$

де ρ_{ij} – прогноз кореспонденції з пункту i в пункт j , пас., $i \in R, j \in R$;

R – множина пунктів прибуття;

s_i – загальний обсяг відправлення з пункту i , пас./доба;

d_j – загальний обсяг прибуття в пункт j , пас./доба;

c_{ij} – показник опору між двома пунктами (тариф на перевезення), грн.

Враховуючи неможливість отримання точних значень наведених вище параметрів моделі прогнозування та слабку структурованість процесу, у роботі запропоновано використати методи нечіткої алгебри, зокрема нечіткі реляційні обчислення [18], що засновані на описі систем у термінах простору станів для визначення залежності (1). Такий опис ґрунтується на матричній формі уявлення залежностей, що досить зручно для практичної реалізації. Згідно з вказаним вище модель прогнозування кореспонденцій в умовах впровадження швидкісних пасажирських поїздів можна записати за допомогою системи нечітких

реляційних рівнянь (від англ. Fuzzy Relational Equation, FRE) [14]:

$$R \circ S = T, \quad (2)$$

де $R_{m \times p}$ – матриця нечітких входів;

$S_{p \times n}$ – матриця нечітких відношень;

$T_{m \times n}$ – матриця нечітких виходів на дискретних чітких множинах X, Y, Z кінцевих потужностей m, p, n відповідно, правило композиції \circ засновано на максимінному критерії.

Індекс відвідуваності тим більше, чим більше і ближче до району відвідування розташовані альтернативні райони відправлення.

Даний фактор дозволяє моделювати ефект, при якому обсяги прибуття потоків пасажирів до міста, яке розташоване в агломерації деякої кількості інших міст, меншого значення породжує більшу кореспонденцію, ніж це диктується факторами транспортного зв'язку [15, 16] (рис. 1).

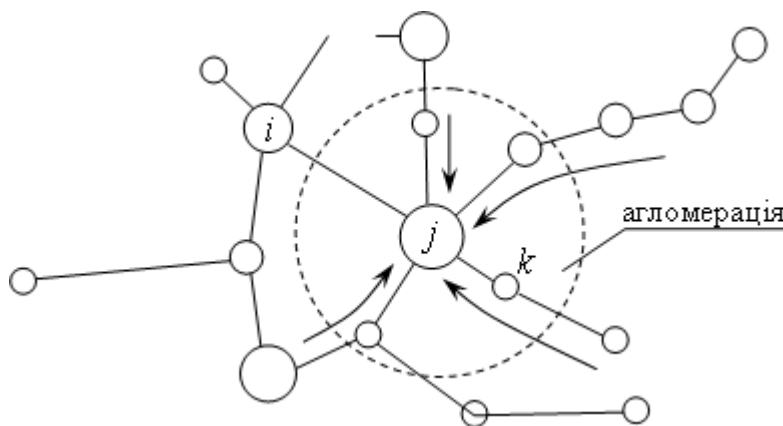


Рис. 1. Схематичне подання агломераційного ефекту при прогнозуванні пасажиропотоку

Викладення основного матеріалу. Вихідні дані моделі запропоновано формалізувати також у вигляді ЛЗ $\Omega = \{\text{обсяги кореспонденції пасажирів із міста } i \text{ до міста } j\}$ з терм-множиною $T_\Omega \forall \{\text{“низькі”} - t_1, \text{“середні”} - t_2, \text{“високі”} - t_3\}$ з

трикутними функціями належності. За таких умов вихідний вектор має розмірність $n = 3$, тобто

$$T = (\underbrace{\mu_{(t_1)}, \mu_{(t_1)}, \mu_{(t_1)}}_\Omega), m = 1, n = 3. \quad (3)$$

Для визначення залежності між вхідними параметрами та виходом моделі необхідно знайти матрицю нечітких відношень $S_{p=15 \times n=3}$. Отже, у рівнянні (2) є невідомим S . За аналогією з матричною алгеброю дане рівняння можна назвати лівим нечітким реляційним рівнянням [14], розв'язання якого зводиться до розв'язання системи нечітких реляційних рівнянь (від англ. fuzzy linear system equations), для чого необхідним є пошук основи і всіх відгалужень. Основа в структурі множини розв'язків такого рівняння являє собою максимальний розв'язок, тоді як відгалуженням є множина мінімальних розв'язків. Для того щоб система була розв'язуваною, необхідно і достатньо, щоб розв'язком цієї системи було $G = \bigcap G_j$, де G_j – максимальний розв'язок j -го рівняння. Для того щоб система мала мінімальні розв'язки,

необхідно і достатньо, щоб мінімальні елементи (а також незрівнянні ні з одним з решти) множини

$$\left\{ \bigcup_j M_{\beta_j}^j \mid M_{\beta_j}^j \in M^j \wedge M_{\beta_j}^j \leq G \right\},$$

де M – множина мінімальних розв'язків системи рівнянь, взяті з об'єднання мінімішень всіх рівнянь, що входять у систему, були розв'язком системи [14, 17].

Знайдене нечітке відношення $S_{p \times n}$ дозволяє розв'язати пряму задачу розв'язання рівняння (2), тобто знаходити прогнози кореспонденції між містами. Схему реалізації моделі прогнозування кореспонденцій в умовах впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на основі нечітких реляційних обчислень наведено на рис. 2.

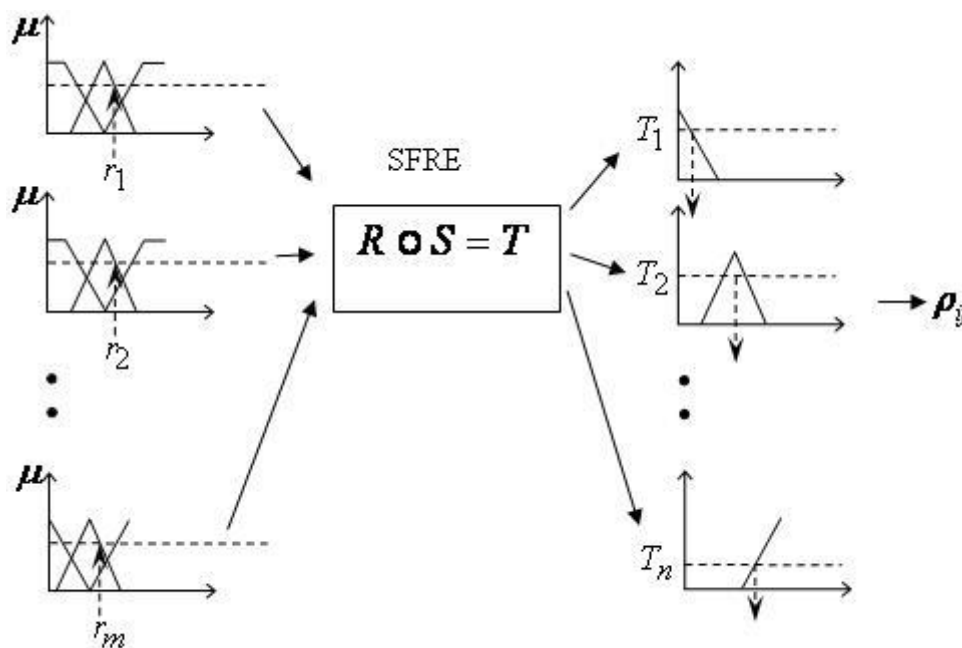


Рис. 2. Схеми моделі прогнозування кореспонденцій на основі системи нечітких реляційних рівнянь

Результат прогнозування моделі ρ_{ij} запропоновано знаходити на основі операції дефазифікації нечіткої множини,

що відповідає вектору T , який отримано на основі прямого розв'язання рівняння (3) з нечітким вхідним вектором з навчальної

вибірки R_i та знайденим відношенням $S_{15 \times 3}$. На першому етапі приведення до чітких значень виходу рівняння (3) проводиться операція знаходження мінімального зрізу нечітких множин відповідно до значень вектора T . Після цього за допомогою операції максимум проводиться об'єднання усічених нечітких множин трьох термів лінгвістичних змінних (ЛЗ) $\Omega = \{\text{обсяги кореспонденції пасажирів із міста } i \text{ до міста } j\}$. На останньому етапі над знайденою об'єднаною нечіткою множиною проводиться

операція дефазифікації на основі методу центра тяжіння [18].

Отримані залежності можна записати лінгвістичними змінними $\Lambda_3 = \{\text{індекс тривалості подорожі}\}$, $\Lambda_4 = \{\text{індекс транспортної доступності}\}$ та $\Lambda_5 = \{\text{індекс відвідуваності міста прибуття}\}$ із наступними терм-множинами $T_{3,4,5} \forall \{\text{“низький”} - t_1, \text{“середній”} - t_2, \text{“високий”} - t_3\}$ і відповідними трикутними функціями належності. Схематичну візуалізацію графіків функцій належності нечітких термів вхідних змінних $\Lambda_{1 \div 5}$ наведено на рис. 3.

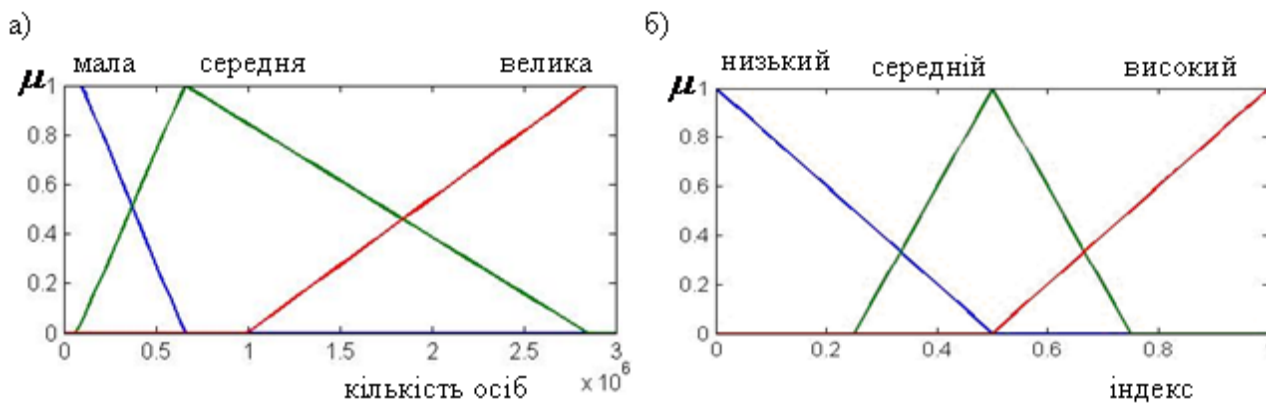


Рис. 3. Графіки функцій належності нечітких термів вхідних змінних:
а – терм-множина ЛЗ $\Lambda_{1 \div 2}$; б – терм-множина ЛЗ $\Lambda_{3 \div 5}$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На основі аналізу існуючих моделей прогнозування пасажиропотоків в умовах впровадження швидкісних пасажирських поїздів доведено доцільність використання гравітаційних моделей.

1. Загальну гравітаційну модель прогнозування адаптовано до умов перевезення пасажирів залізничним транспортом з урахуванням існуючого агломераційного ефекту.

2. Враховуючи неможливість оцінювання точних значень параметрів гравітаційної моделі, запропоновано

використання підходу на основі системи нечітких реляційних рівнянь для знаходження прогнозних кореспонденцій пасажиропотоків між містами в рамках розв'язання прямої задачі. Вхідні та вихідні дані моделі представлено як нечіткі множини з функціями належності у вигляді кусочно-лінійних апроксимацій, які враховують фактори щодо населеності міст, тривалості подорожі, транспортну доступність, наявність агломераційного ефекту в структурі кореспонденцій, що забезпечує підвищення точності прогнозування. Приведення до чіткості функціону-

вання моделі прогнозування проведено на основі процедури дефази́кації.

3. Процедура формування адаптивної моделі прогнозування пасажиропотоків до умов розподілу поїздпотоків на мережі

дозволяє вирішувати завдання як щодо стратегічного планування, так і для управління з урахуванням впливу сезонного фактора при застосуванні моделі змішаного руху.

Список використаних джерел

1. High speed rail. Fast track to sustainable mobility. This brochure is a publication of the INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC) 16 rue Jean Rey, F-75015 Paris, NOVEMBER 2010. – 18 p.

2. Vickerman, R. High-speed rail in Europe: experience and issues for future development [Текст] / R. Vickerman // The Annals of Regional Science, 1997. – 31.– P. 21-38.

3. Givoni, M. Development and impact of the Modern High-Speed Train: A Review [Text] / M. Givoni // Transport Review. – 2006. –Vol.26, No.5. – P.593-611.

4. Ginés, de Rus Economic Analysis of High Speed Rail in Europe [Text] / Ginés de Rus, Ignacio Barrón, Javier Campos, Philippe Gagnepain, Chris Nash, Andreu Ulied, Roger Vickerman //Fundación BBVA, 2009 Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao. – 140 p.

5. Amos, P. High speed Rail: The Fast Track to Economic Development? The World Bank [Text] / P. Amos, D. Bullock, J. Sondhi // Beijing, – 2010. – 28 p.

6. Preston, John Impact of High Speed Trains on Socio-Economic Activity: The case of Ashford (Kent) [Text] / John Preston, Adam Larbie, Graham Wall// 4th Annual Conference on Railroad Industry Structure, Competition and Investment, Universidad Carlos III. Madrid, 2006. – 18 p.

7. Graham, Daniel J. Agglomeration Economies and Transport Investment [Text] / Daniel J. Graham // Discussion Paper No. 2007-11, International Transport Forum, Joint Transport Research Centre, OECD, 2007. – 23 p.

8. Анисимов, П. С. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда [Текст]: монография / П.С. Анисимов, А.А. Иванов. — М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 542 с.

9. Global Expansion of High-Speed Rail Gains Steam [Електронний ресурс] / Supriya Kumar // 2013 Worldwatch Institute – 2013. – Режим доступа: <http://www.worldwatch.org/global-expansion-high-speed-rail-gains-steam>.

10. Carrothers, G. A. P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction [Text] / G. A. P. Carrothers // J. of the American Instit. Planners. – 1956. –V. 22. – P. 94-102.

11. Doganis, R. Traffic forecasting and the gravity model [Text] / R. Doganis // Flight International. – 1966. – P.547–549.

12. Погребняк, Е. Б. Анализ методов формирования матрицы корреспонденций транспортной сети города [Текст] / Е. Б. Погребняк, Н. И. Самойленко // Коммунальное хозяйство городов; [Харьковская национальная академия городского хозяйства]. – 2006. – № 69. – С. 121-126.

13. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст]: учеб. пособие / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, [и др.]; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.

14. Peeva, K. Fuzzy Relational Calculus Theory: Applications and Software [Text] / Ketty Peeva, Yordan Kyosev // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 2005. – 291 p.

15. Fotheringham, A.S. A new set of spacial-interaction models: the theory of competing destinations [Text]// *Envir. & Plan. A.* – 1983. – V. 15. – P 15-36.
16. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В.И. Швецов // *Автоматика и телемеханика.* – 2003. – № 11. – С. 3–46.
17. Блюмин, С. Л. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения [Текст]: монография / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова, П. В. Сараев, И. В. Черпаков. – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – 111 с.
18. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия: Телеком, 2004. – 452 с.
19. Удосконалення підходів щодо розрахунку кореспонденцій потоків пасажирів в умовах впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів [Текст] / Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Тезиси XXXVI науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства 24-26 апреля 2012 г. – Харьков, 2012. – Ч.2. – С. 64-65.

Пархоменко Лариса Олексіївна, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.

Лавренюк Вадим Олександрович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту.

Larisa Oleksiiivna Parkhomenko, assistant professor of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport.

Vadym Oleksandrovych Lavreniuk, master student, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 01.09.2016 р.

УДК 656.022

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБІГУ ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Я. В. Запара, А. В. Морозова

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЯ СКОРОСТНЫХ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук Я. В. Запара, А. В. Морозова

OPTIMIZATION OF TREATMENT EXPRESSWAY AND HIGH-SPED TRAINS OF RAILWAYS OF UKRAINE

Cand. of techn. sciences Y. Zapara, A. Morozova

Визначено оптимальний обіг швидкісних і високошвидкісних поїздів на залізницях України, що дозволяє відповідно ефективно використовувати рухомий склад та інфраструктурні об'єкти. При застосуванні запропонованої методики отримано, що ув'язка пар поїздів у загальний обіг групами составів дала значну економію порівняно з тими, які оберталися до ув'язки.

Ключові слова: оптимізація, обіг, пасажирські перевезення, швидкісні поїзди, високошвидкісні поїзди.

Определен оптимальный оборот скоростных и высокоскоростных поездов на железных дорогах Украины, что позволяет соответственно эффективно использовать подвижной состав и инфраструктурные объекты. При применении предложенной методики получено, что увязка пар поездов в общий оборот группами составов дала значительную экономию в сравнении с обращающимися до увязки.

Ключевые слова: оптимизация, обращение, пассажирские перевозки, скоростные поезда, высокоскоростные поезда.

Prospects of development and high-speed passenger traffic. Examined scientific developments in this field. Formed purpose and research problems. To solve the problem taken special mathematical apparatus, the essence of which is that generalized concept introduced variations of sets, which allowed to offer original design feature sets and based on it to get the necessary conditions of extremum function set. The method of linking warehouse passenger trains in total turnover is dedicated to the reduction of excess downtime awaiting dispatch warehouse passenger train. The simulation results determined optimal circulation of high-speed and high-speed trains on the railways of Ukraine, which allows efficient use under the rolling stock and infrastructure facilities. When using the proposed method obtained that linking pairs of trains in general circulation groups formulations gave significant savings that turned to linking.

Keywords: optimization, circulation, passenger transportation, high-speed trains, high-speed trains.

Вступ. Велика провізна спроможність залізниць, стабільність їх роботи і порівняна дешевизна перевезень сприяли тому, що залізничний транспорт був і залишається у країні основним перевізником пасажирів у міжміському (далекому) і приміському сполученні [1]. Однак сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок.

Радикальним заходом, який дасть залізницям змогу зберегти передові позиції у сфері пасажирських перевезень, є розвиток мережі швидкісних магістралей, що забезпечить значне зростання обсягів залізничних перевезень, у тому числі за рахунок залучення пасажирів з інших видів транспорту. Це підтверджує і досвід країн Західної Європи, де завдяки підвищенню швидкості руху поїздів залізниці мають перевагу перед авто- та авіатранспортом на відстані 250-500 кілометрів і на рівних конкурують з авіацією в діапазоні 500-1000 кілометрів.

Залученню залізницями додаткових обсягів міжміських і міжнародних перевезень сприятиме також підвищення мобільності населення в результаті позитивних змін в економіці та соціальній сфері, розширення міжнародного співробітництва [2].

Привабливість залізничних перевезень зростатиме і завдяки тому, що з впровадженням швидкісного руху з'явиться можливість організації руху денних поїздів, значно зручніших для поїздок порівняно зі звичайними пасажирськими поїздами, які перебувають у дорозі переважно в нічний час.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку швидкісного та високошвидкісного руху приділено достатньо уваги в останні роки [3, 4]. Відповідні наукові праці вчених стосувались широкого спектра питань: підвищення якості обслуговування пасажирів, удосконалення технології роботи вокзальних комплексів, диспетчерське керування швидкісним і

високошвидкісним рухом тощо. Слід відзначити напрацювання таких вчених: Т.В. Бутько, В.Л. Дикань, С.С. Жабров, Г.М. Кірпа, А.В. Прохорченко, Е.А. Сотніков та ін. [5-8]. Серед наукових праць недостатньо уваги приділено математичному обґрунтуванню вибору оптимального обігу використання швидкісних і високошвидкісних поїздів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є розроблення оптимального обігу швидкісних і високошвидкісних поїздів в Україні, який би дозволив ефективно використовувати рухомий склад та інфраструктурні об'єкти.

Основна частина дослідження. У якості математичної моделі мережі ліній приймаємо неорієнтований граф з вершинами, що відповідають містам, які будуть охоплені високошвидкісним пасажирським рухом поїздів, і ребрами графа, відповідними лініям мережі.

Якщо ми бажаємо охопити високошвидкісним рухом N міст, то перелік ребер E буде відповідати тій чи іншій мережі ліній регіональних філій.

Витрати на будівництво мережі можна обчислити за формулою

$$Z(E) = \sum_E C(e), \quad (1)$$

а час перебування пасажирів у дорозі пердставити у вигляді:

$$T(E) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{P_{ij} R_{ij}(E)}{U_{ij}}, \quad (2)$$

де $C(e)$ – витрати на будівництво лінії;

$R_{ij}(E)$ – найкоротша відстань між містами i та j на мережі, відповідно набору ребер T ;

P_{ij} – пасажиропотік між містами i та j ;

U_{ij} – маршрутна швидкість між містами i та j .

Бажання зробити якомога меншими витрати коштів і часу призводить до задачі

$$\begin{pmatrix} Z(E) \\ T(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (3)$$

що являє собою задачу векторної оптимізації, обтяжену тим, що функції $Z(E)$ і $T(E)$ є функціями множини $E \subseteq E; E$ – набір ребер.

Зазначимо, що будемо розуміти під розв'язанням задачі. Мережа E^* буде називатися ефективною, якщо будь-яка її варіація призводить до збільшення Z або T .

Для розв'язання задачі використано спеціальний математичний апарат, суть якого полягає в тому, що введено узагальнене поняття варіації множин, яке дозволило запропонувати конструкцію похідної функції множин і на її основі отримувати необхідні умови екстремуму функції множини. Очевидно, що ввівши функції множин

$$F_1(E) = \sum_E l(e), \quad (4)$$

$$F_2(E) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N P_{ij} R_{ij}(E), \quad (5)$$

ми, з одного боку, значно скорочуємо інформаційне забезпечення задачі, з іншого боку, має місце співвідношення

$$Z(E) \leq C F_1(E), \quad (6)$$

$$T(E) \leq \frac{1}{v} F_2(E), \quad (7)$$

де C – максимальна вартість одиниці довжини шляху;

v – мінімальна маршрутна швидкість.

Тоді замість задачі (1) можна розглядати таку задачу (2):

$$\begin{pmatrix} F_1(E) \\ F_2(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (8)$$

Якщо множина E доставляє мінімум функції $F(E)$, то з необхідністю має місце

при $E \leq \bar{E}$.

$$\text{sign} \left(D_{B_n} F(E_*) \right) = \text{sign} \left(D_{B_n} F(E_*) \right) \leq 0, \quad (9)$$

а у випадку

$$\left(D_{B_n} F(E_*) \right) = \left(D_{B_n} F(E_*) \right) \leq 0 \quad (10)$$

внутрішня похідна по мірі μ

$$\frac{dF(E)}{d\mu} \Big|_{B_n} \leq 0, \quad (11)$$

де B_n – послідовність множин, що сходяться до внутрішньої точки множин (E) ;

$D_{B_n} F(E)$, $D_{B_n} F(E)$ – верхні і нижні похідні числа на послідовності (B_n) .

Для швидкісного руху прогнозувати капітальні вкладення на розвиток власної та залізничної інфраструктури значно легше, оскільки в Україні накопичено значний досвід підготовки інфраструктури до швидкісного руху. Проте додатково слід додати витрати ПАТ «Укрзалізниця» на розподіл вантажних і пасажирських перевезень по різних напрямках. У той же час слід враховувати те, що реконструкція колій для швидкісного руху зі швидкістю до 200 км/год потребує значно більше капітальних вкладень, ніж на попередніх етапах реформування [9].

Методика ув'язки составів пасажирських поїздів у загальний обіг присвячена скороченню наднормативного часу простою в очікуванні відправлення составів пасажирського поїзда. У ній обґрунтовано вибір часових зон для ув'язки составів з різним часом знаходження на шляху прямування та їх взаємозв'язок з моментами закінчення підготовки до рейсу

і готовності до відправлення. Варіанти обслуговування поїздів зв'язаними в загальний обіг складами залежать від конфігурації мережі, схем обігу поїздів між цими станціями, комбінацій маршрутів прямування складів, станцій приписки і обігу, приналежності рухомого складу.

Проведені дослідження показали: якщо відстані між станціями однакові і всі поїзди належать до однієї годинної зони, тоді застосування методики ув'язки составів у єдиний обіг може дати ефект тільки в разі наявності великої кількості поїздів, щоб отримати сумарну економію непродуктивного простою у вигляді 24 годин.

Якщо всі поїзди належать до різних годинних зон, тоді максимальний ефект може бути досягнутий за рахунок застосування комплексу заходів: як ув'язки составів пасажирських швидкісних і високошвидкісних поїздів у єдиний обіг, так і коригування розкладів прибуття і відправлення поїздів при суворому дотриманні всіх встановлених обмежень, у тому числі технологічних.

Якщо при ув'язці в загальний обіг состави мають різні композиції, то їх необхідно перевірити на відповідність попиту пасажирів за кількістю місць, за типами вагонів на різних призначеннях. Завдання зводиться до того, щоб на відомому полігоні мережі при заданому плані формування швидкісних і високошвидкісних поїздів і наявному вагонному парку визначити такі композиції схем формування составів, які б максимально відповідали попиту пасажирів на місця за класами вагонів, забезпечували перевезення запланованого пасажиропотоку і заданий прибуток залізничному транспорту

при обмеженнях, за коефіцієнтом використання місткості вагонів, за величиною состава поїзда, за величиною

наявного парку вагонів. Критерієм є мінімум відмов від поїздки

$$F_{om} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [a_x x_{ij} (a_{ij}^{y \rightarrow x} + a_{ij}^{z \rightarrow x}) + a_y y_{ij} (a_{ij}^{x \rightarrow y} + a_{ij}^{z \rightarrow y})] \rightarrow \min \quad (12)$$

де x_{ij}, y_{ij} – шукана кількість відповідно вагонів 1-го, 2-го класу;

a_x, a_y – місткість відповідно вагонів 1-го, 2-го класу;

$a_{ij}^{y \rightarrow x}, a_{ij}^{z \rightarrow x}$ – вірогідність відмови пасажирів від поїздки при незадоволенні попиту на місце у вагоні 1-го класу (у такому разі надати місце у 2-му класі);

$a_{ij}^{z \rightarrow x}, a_{ij}^{z \rightarrow y}$ – вірогідність відмови пасажирів від поїздки при незадоволенні попиту на місце у вагоні 2-го класу (у такому разі надати місце в 1-му класі).

При застосуванні запропонованої методики були отримані такі результати: ув'язка восьми пар поїздів у загальний обіг трьома групами составів дала економію

чотирьох составів з 24, що оберталися до ув'язки.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Визначено аспекти розвитку високошвидкісного і швидкісного пасажирського руху на залізничних магістралях України. На основі математичного моделювання визначено оптимальний обіг зазначених категорій поїздів, що дозволяє відповідно ефективно використовувати рухомий склад та інфраструктурні об'єкти. У подальшому ефективне керування швидкісним (а в перспективі високошвидкісним) пасажирським залізничним рухом на Україні виведе транспортну систему на новий якісний європейський і світовий рівень.

Список використаних джерел

1. Босов, А. А., Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине [Текст] / А.А. Босов, Г.Н. Кирпа. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2004. – 144 с.
2. Железные дороги мира в XXI веке [Текст] / под общ. ред. Г.Н. Кирпы. – Днепропетровск: ДНУЖТ им. ак. В. Лазаряна, 2004. – 224 с.
3. Бутько, Т. В. Удосконалення підходів щодо розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – №4 (Дод.). – С.14.
4. Жабров, С. С. Реформування залізничного транспорту України в контексті світового досвіду [Текст] / С.С. Жабров, Е.А. Сотников, В.И. Ковалев // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №4. – С. 39-42.
5. Дикань, В. Л. Скоростное движение железнодорожного транспорта в мире и перспективы развития в Украине [Текст] / В.Л. Дикань, И.В. Корнилова // Вісник економіки транспорту та промисловості. – 2010. – №32. – С. 15-25.
6. Момот, А. В. Економічна ефективність високошвидкісних пасажирських залізничних перевезень в Україні [Текст]: дис...канд. екон. наук / А.В. Момот. – Дніпропетровськ, 2014. – 192 с.

7. Запара, Я. В. Дослідження та аналіз причин недостатнього розвитку швидкісного залізничного руху в Україні [Текст] / Я.В. Запара, О.В. Биков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С.58-62.

8. Watling, D.P. Cordon toll competition in a network of two cities: Formulation and sensitivity to traveler route and demand responses [Text]: I. Shepherd, A. Koch // Transportation Research Part B: Methodological. – Vol. 76, June 2015. – P. 93-116.

9. Підтримка інтеграції України до Транс-європейської транспортної мережі ТЕМ-Т: РК.2 Швидкісний залізничний транспорт. Заключний звіт 2.1, 2010 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ten-t.org.ua/ua/>.

Запара Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara@gmail.com.
Морозова Альона Вікторівна, магістр кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: cataley@ukr.net.

Zapara Yaroslav, Ph.D., lecturer of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara@gmail.com.
Morozova Alona, master department of trucks and commercial work Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: cataley@ukr.net.

Стаття прийнята 02.09.2016 р.

УДК 629.463.65.015.001.5

ДИНАМІКА ПІВВАГОНА ПІД ЧАС РУХУ КОЛІЄЮ З НЕРІВНОСТЯМИ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО І ПЕРІОДИЧНОГО ПРОЦЕСІВ

Д-р техн. наук Д. М. Барановський, І. Ю. Кебал

ДИНАМИКА ПОЛУВАГОНА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ПУТИ С НЕРОВНОСТЯМИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО И ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОВ

Д-р техн. наук Д. Н. Барановский, И. Ю. Кебал

DYNAMIC GONDOLA CARS WHILE DRIVING ON THE ROAD WITH IRREGULARITIES, TAKING INTO ACCOUNT THE RANDOM AND PERIODIC PROCESSES

Doct. of techn. sciences D. Baranovsky, I. Kebab

У роботі запропонована модель у вигляді диференціальних рівнянь, що описують коливання піввагона під час руху колією з нерівностями з урахуванням випадкового і періодичного процесів. На основі наведеної моделі в подальшому можна імітувати рух піввагонів різних моделей з урахуванням випадкового і періодичного процесів нерівностей колії, використовуючи існуючі прикладні пакети програмного забезпечення.

Ключові слова: піввагон, модель, динаміка, випадковий і періодичний процеси.

В работе предложена модель в виде дифференциальных уравнений, описывающих колебания полувагона при движении по пути с неровностями с учетом случайного и

периодического процессов. На основе приведенной модели в дальнейшем можно имитировать движение различных полувагонов с учетом случайного и периодического процессов неровностей пути, используя существующие прикладные программные пакеты.

Ключевые слова: полувагон, модель, динамика, случайный и периодический процессы.

More efficient use of the rolling stock is inextricably linked with the study of the dynamics of railway vehicles, research in this area, as well as improving the design of specialized freight wagon to adapt them to transport specific cargo and reduction of dynamic load components of wagon and the track superstructure. The paper was prepared as a model of differential equations gondola car vibrations when driving on uneven path, taking into account the random and periodic processes. This model is the basis for the simulation of spatial fluctuations gondola car with reduced metal content in the viscoelastic and inertial train track. In determining the natural frequencies of the different types of vibrations are single inequality wheels mimic the reset process with wedges. Four identical bumps under the wheels of one side of the gondola car and four isolated irregularities under the wheels of a truck excite their own angular body movements about the horizontal transverse axis of symmetry. On the basis of the given model in the future is possible to simulate the motion of different gondola cars, taking into account the random and periodic processes, the rough ways, using the existing application software packages to modify or develop new packages.

Key words: gondola car, model, dynamic, random and periodic processes.

Вступ. Дослідження, наведені в роботі, належать до галузі залізничного транспорту, а саме до динаміки вагонів.

Динаміка вагонів вивчає коливання вагонів і переміщення окремих їх елементів у різних умовах експлуатації (рух у складі поїзда з постійною або змінною швидкістю, співудар при маневрах тощо) і виникаючі при цьому сили [1-10].

Основними завданнями динаміки вагонів є [1, 3, 5, 8]:

- вивчення процесів коливань вагонів, викликаних взаємодією вагона і колії, встановлення на цій основі найкращих параметрів ресорного підвішування та інших конструктивних рішень у загальному компонуванні конструкції вагона;

- встановлення умов безпечного руху вагона (максимально допустимі швидкості, режими гальмування тощо) у складі поїзда за його дією на колію, стійкістю в колії, стабільністю колії, витисканні з состава тощо;

- визначення заходів, що дозволяють забезпечити плавність ходу, тобто збережуватись вантажів;

- визначення поздовжніх зусиль у складі поїзда між вагонами і при зіткненні на маневрах;

- визначення впливу несправностей, недосконалостей і особливостей конструкцій вагона і шляхи їх взаємодії.

Усі ці завдання є дуже складними, а для їх вирішення зараз залучаються надсучасні розділи науки і технічні засоби: теорія ймовірностей (в останніх дослідженнях – теорія випадкових процесів), нелінійна теорія коливань, аналогові і цифрові електронні обчислювальні машини, а в експериментальних дослідженнях – засоби сучасної тензометрії, телеметрії та обчислювальної техніки.

Підвищення ефективності використання рухомого складу [11] нерозривно пов'язане з вивченням питань динаміки рейкових екіпажів, проведенням досліджень у даній галузі, а також з удосконаленням конструкцій спеціалізованих вантажних вагонів з метою їх адаптації для перевезення конкретних видів вантажів і зменшення динамічної навантаженості елементів вагонів і верхньої будови колії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделі руху рейкових екіпажів і їх компонентів створені різними науковими школами, у рамках лінеаризованих і нелінійних моделей руху основа покладена такими вченими [1-10]: Белоусов В.М., Блохін Є.П., Бурчак Г.П., Веріго М.Ф., Вершинський С.В., Де Патер А., Данилов В.М., Дьомін Ю.В., Жолі Р., Зінченко В.І., Коган А.Я., Корольов К.П., Коротенко В.А., Куценко С.М., Лазарян В.А., Левінзон М.А., Медель В.Б., Попов А.А., Радченко Н.А., Ромен Ю.С., Соколов М.М. та ін. При цьому, відпрацьовані методи дослідження стійкості на колії без нерівностей і коливань обрєсорених частин рейкових екіпажів при русі по нерівностях.

Серед компонентів ходових частин особливе місце займає рух колеса по рейці: перші моделі були створені Картером Ф. [2]; докладному опису взаємодії присвячені роботи Калкера Д., Джонсона К., Кіка В., Кноте К. та ін. [2, 4]; сучасні уявлення про рух колісної пари по рейках розроблені Вікенс А. і Труе Х. [2, 6].

Вивчення процесів взаємодії вагонів і залізничної колії є складним для дослідження завданням [3]. Результати досліджень їх взаємодії необхідні для створення надійних і довговічних конструкцій вагонів і колії, визначення норм їх будови, правил ремонту і технічного обслуговування [4]. Забезпечення безпеки руху поїздів [1], надійності роботи вагонного парку і залізничної колії за умови максимальної продуктивності, мінімальних витрат праці та енергетичних ресурсів не може бути успішно здійснено без знання процесів взаємодії рухомого складу та інфраструктури [3], які в кінцевому підсумку зводяться до взаємопов'язаних випадкових коливань різних елементів вагонів і колії. У результаті цього можуть виникнути значні залишкові деформації колії, втрата стійкості вагонів на рейках, втомні або крихкі злами окремих елементів і деталей. Дослідження плоских і

просторових коливань вагонів [3] під час руху їх по детермінованих нерівностях колії [4] є науковою базою раціонального конструювання та експлуатації вагонного парку і залізничної колії, а також засобом інтенсифікації їх використання, підвищення пропускної та провізної спроможності залізничних ліній, забезпечення безпеки руху поїздів з точки зору стійкості колеса на рейці і стійкості від поперечного перекидання кузова вагона при русі кривими ділянками колії. У реальних умовах рейки і колеса мають нерівності на поверхні кочення, а також інші технологічні особливості, у результаті чого в елементах залізничної колії і рухомого складу виникають коливання. Однією з найбільш важливих проблем у динаміці рухомого складу є дослідження вимушених коливань залізничних екіпажів [3], викликаних нерівностями рейкових ниток. При вивченні процесів взаємодії рухомого складу і залізничної колії досліджуються коливання вагонів, колії і динамічні сили, що розвиваються в єдиній динамічній системі «вагон – колія». Для теоретичного дослідження коливань такого виду прийнято будувати розрахункові схеми і моделі, у яких даний складний коливальний процес поділений на окремі складові: вертикальні, поперечні і поздовжні горизонтальні. При цьому слід брати до уваги, що обрєсорена маса вагона може здійснювати також і кутові коливання [5].

Аналіз, виконаний на підставі огляду робіт [1-10], показав, що найбільш відпрацьованим є дослідження руху рейкових екіпажів на лінеаризованих моделях, але недостатньо уваги приділялося взаємозв'язку результатів, отриманих на лінеаризованих і нелінійних моделях.

Мета та задачі дослідження. Запропонувати математичну модель коливань чотирирівного піввагона з суцільнометалевим кузовом при русі колією з нерівностями з урахуванням випадкового і періодичного процесів. Для

цього необхідно розглянути динаміку піввагонів, скласти диференціальні рівняння коливань і розглянути випадковий і періодичний процеси при русі колією з нерівностями.

Основна частина дослідження. Математична модель просторових коливань вантажного вагона [3, 5, 8] передбачає розгляд коливань чотиривісного

вантажного піввагона з суцільнометалевим кузовом, що виникають внаслідок його руху по ізольованій нерівності колії. При цьому вважаємо, що на обох нитках рейкової колії є нерівності, і тому розглядаємо коливання піввагона в його поздовжній площині симетрії. Схему механічної взаємодії піввагона і колії наведено на рис. 1.

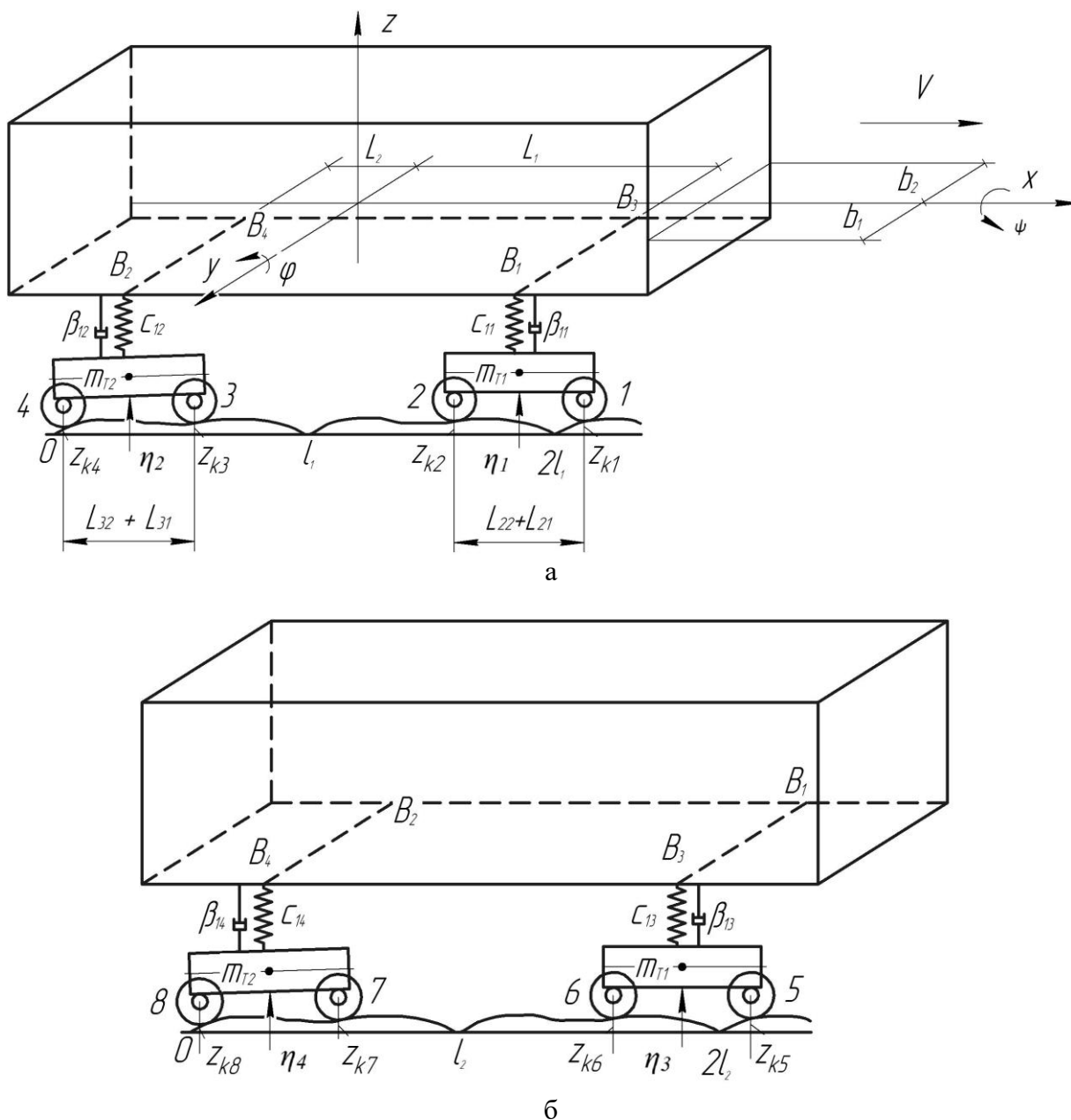


Рис. 1. Схема механічної взаємодії піввагона і колії: а – права рейкова нитка і права частина піввагона за ходом руху; б – ліва рейкова нитка за ходом руху і лівий бік підвіски піввагона

На рис. 1, а показана права рейкова нитка і права частина піввагона за ходом руху, а на рис. 1, б – ліва рейкова нитка за ходом руху і лівий бік підвіски піввагона. Точки В1...В4, наведені на рисунку, є точками кріплення підвіски, яка складається з кузова і візків піввагона. З наведеної схеми взаємодії піввагона і колії можна прийняти, що кузов піввагона і його візки будуть здійснювати вертикальні і кутові коливання, де будуть спостерігатися підстрибування, галопування і бічне хитання.

З наведеного рис. 1 видно, що на правій і лівій рейкових нитках є вертикальні нерівності колії.

Усі нерівності (включаючи недосконалість рейок і основ) можна подати у вигляді суми випадкового і періодичного процесів:

$$\eta_{\epsilon} = \eta_{\epsilon}^c + \eta_{\epsilon}^n, \quad (1)$$

де η_{ϵ}^c – випадкова складова;

η_{ϵ}^n – періодична складова нерівностей.

Головними причинами появи збурень періодичної складової є рейкові стики, що з'являються через хвилеподібний знос рейок, періодичні нерівності на поверхні рейок. Найчастіше стикові нерівності описуються зсунутою косинусоїдою [3]:

$$\eta_i = \begin{cases} \frac{d}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi Vt}{l_H} \right) + \frac{d}{l_H} \exp(-kx) \cos(\pi kx), & |x| \leq l_H / 2, \\ \frac{d}{l_H} \exp(-kx) \cos(\pi kx), & |x| > l_H / 2. \end{cases} \quad (4)$$

Відповідно до рис. 1 складемо модель динаміки чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом з урахуванням нерівностей колії, у якій два колеса візка будемо розглядати як одне. У цьому випадку еквівалентне збурення буде середнім значенням збурень, які

$$\eta(x) = \begin{cases} \frac{d}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi x}{l_H} \right), & |x| \leq l_H / 2, \\ 0, & |x| > l_H / 2. \end{cases} \quad (2)$$

У виразі (2) d – глибина нерівності, l_H – довжина цієї нерівності.

Визначити статистичні характеристики випадкової складової як часового процесу через велику кількість факторів, що впливають на них, досить важко. Як зазначається в роботі [7], на різних ділянках залізниць статистичні та спектральні характеристики випадкової складової вертикальних нерівностей можуть значно розрізнятися між собою. Випадкову складову нерівностей задамо у вигляді загасального процесу:

$$\eta(x) = \frac{d}{l_H} \exp(-kx) \cos(\pi kx), \quad (3)$$

де k – коефіцієнт загасання нерівності.

Підсумовуючи рівняння (2) і (3) з урахуванням того, що переміщення колією $x = Vt$, отримаємо сумарні вертикальні нерівності верхньої будови колії випадкового і періодичного процесів у такому остаточному вигляді:

передаються на кожне колесо і тоді коливальним процесом – галопуванням візків – можна буде знехтувати.

Визначити ізольовані збурення можна виходячи з таких міркувань. Друге колесо візка піввагона проходить ту саму точку

нерівності колії, яку в момент часу буде проходити перше колесо в момент часу:

$$t_2 = t + \frac{L_{21} + L_{22}}{V}.$$

Тоді

$$z_{k1} = f_1(t); \quad z_{k2} = f_1\left(t + \frac{L_{21} + L_{22}}{V}\right), \quad (5)$$

де L_{21} , L_{22} – відстані між нерівностями.

За аналогією третє колесо піввагона буде проходити ту саму точку нерівності в момент часу t_3 :

$$t_3 = t + \frac{L_1 + L_2 + L_{21} - L_{31}}{V},$$

а четверте колесо піввагона – у момент часу

$$t_4 = t + \frac{L_1 + L_2 - L_{21} - L_{32}}{V},$$

де $L_1 + L_2$ – поздовжня база кузова піввагона.

Подібні вирази для інших коліс, точніше для п'ятого – восьмого коліс, також можна записати, а відповідно до виразу (5) також запишуться аналогічні залежності.

У результаті отримаємо систему рівнянь для восьми коліс піввагона:

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{k1} = f_1(t); \\ z_{k2} = f_1\left(t + \frac{L_{21} + L_{22}}{V}\right); \\ z_{k3} = f_1\left(t + \frac{L_1 + L_2 + L_{21} - L_{31}}{V}\right); \\ z_{k4} = f_1\left(t + \frac{L_1 + L_2 + L_{21} + L_{32}}{V}\right); \\ z_{k5} = f_2(t); \\ z_{k6} = f_2\left(t + \frac{L_{21} + L_{22}}{V}\right); \\ z_{k7} = f_2\left(t + \frac{L_1 + L_2 + L_{21} - L_{31}}{V}\right); \\ z_{k8} = f_2\left(t + \frac{L_1 + L_2 + L_{21} + L_{32}}{V}\right). \end{array} \right. \quad (6)$$

Тоді відповідно до вище прийнятих припущень еквівалентні збурення для візків піввагона задамо як

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_1 = \frac{z_{k1} + z_{k2}}{2}; \\ \eta_2 = \frac{z_{k3} + z_{k4}}{2}; \\ \eta_3 = \frac{z_{k5} + z_{k6}}{2}; \\ \eta_4 = \frac{z_{k7} + z_{k8}}{2}. \end{array} \right. \quad (7)$$

Відповідно до наведеної системи (7) візки піввагонів будуть здійснювати тільки вертикальні переміщення, тобто здійснювати коливальний процес у вигляді підстрибування.

Швидкість еквівалентних збурень буде визначатися похідними від членів системи (7).

Далі запишемо диференціальні рівняння вимушених коливань чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом:

- для поступального руху:

$$\begin{aligned} m_K \ddot{z}_K + (c_{11} + c_{12} + c_{13} + c_{14})z_K + (c_{11}L_1 - c_{12}L_2 + c_{13}L_1 - c_{14}L_2)\varphi_K + \\ + (-c_{11}b_1 - c_{12}b_1 + c_{13}b_2 + c_{14}b_2)\psi_K - c_{11}z_{T1} - c_{12}z_{T2} - c_{13}z_{T3} - c_{14}z_{T4} + \\ + (\beta_{11}L_1 - \beta_{12}L_2 + \beta_{13}L_1 - \beta_{14}L_2)\dot{\varphi}_K + (-\beta_{11}b_1 - \beta_{12}b_1 + \beta_{13}b_2 - \beta_{14}b_2)\dot{\psi}_K - \\ - \beta_{11}\dot{z}_{T1} - \beta_{12}\dot{z}_{T2} + \beta_{13}\dot{z}_{T3} - \beta_{14}\dot{z}_{T4} = 0; \end{aligned} \quad (8)$$

- для поступального руху першого візка піввагона:

$$\begin{aligned} m_{T1} \ddot{z}_{T1} - c_{11}z_K - c_{11}L_1\varphi_K + c_{11}b_1\psi_K + c_{11}z_{T1} - \beta_{11}\dot{z}_K - \beta_{11}L_1\dot{\varphi}_K + \\ + \beta_{11}b_1\dot{\psi}_K + \beta_{11}\dot{z}_{T1} = \eta_1 + \eta_3; \end{aligned} \quad (9)$$

- для поступального руху другого візка піввагона:

$$\begin{aligned} m_{T2} \ddot{z}_{T2} - c_{12}z_K + c_{12}L_2\varphi_K + c_{12}b_1\psi_K + c_{12}z_{T2} - \beta_{12}\dot{z}_K + \beta_{12}L_2\dot{\varphi}_K + \\ + \beta_{12}b_1\dot{\psi}_K + \beta_{12}\dot{z}_{T2} = \eta_2 + \eta_4; \end{aligned} \quad (10)$$

- для обертального руху кузова піввагона:

$$\begin{aligned} I_y \ddot{\varphi}_K + (c_{11}L_1 - c_{12}L_2 + c_{13}L_1 - c_{14}L_2)z_K + (c_{11}L_1^2 + c_{12}L_2^2 + c_{13}L_1^2 + c_{14}L_2^2)\varphi_K + \\ + (-c_{11}L_1b_1 + c_{12}L_2b_1 + c_{13}L_1b_2 - c_{14}L_2b_2)\psi_K - c_{11}L_1z_{T1} + c_{12}L_2z_{T2} - c_{13}L_1z_{T3} + c_{14}L_2z_{T4} + \\ + (\beta_{11}L_1 - \beta_{12}L_2 + \beta_{13}L_1 - \beta_{14}L_2)\dot{z}_K + (\beta_{11}L_1^2 + \beta_{12}L_2^2 + \beta_{13}L_1^2 + \beta_{14}L_2^2)\dot{\varphi}_K + \\ + (-\beta_{11}L_1b_1 + \beta_{12}L_2b_1 + \beta_{13}L_1b_2 - \beta_{14}L_2b_2)\dot{\psi}_K - \beta_{11}L_1\dot{z}_{T1} + \\ + \beta_{12}L_2\dot{z}_{T2} - \beta_{13}L_1\dot{z}_{T3} + \beta_{14}L_2\dot{z}_{T4} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

З останніх виразів випливає, що на частоті і амплітуді вимушених коливань особливий вплив мають довжина нерівностей колії, їх вертикальний розмір і

швидкість руху екіпажної частини піввагона.

Для отримання аналітичного рішення комплексу рівнянь (8)-(12), яке є досить

складним навіть у разі використання головних координат, можна застосувати математичні пакети прикладних програм, у яких існують набори вбудованих функцій для чисельного розв'язання диференціальних рівнянь. При цьому значення η_i приймаємо з рівняння (4), у результаті будемо мати систему диференціальних рівнянь, що описують коливання чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом при русі

колією з нерівностями з урахуванням випадкового і періодичного процесів. Далі з використанням обраних нерівностей виконано розрахунки динамічних показників для чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом.

Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка і кузова піввагона у визначеному діапазоні швидкостей руху вантажних поїздів при моделюванні наведено на рис. 2.

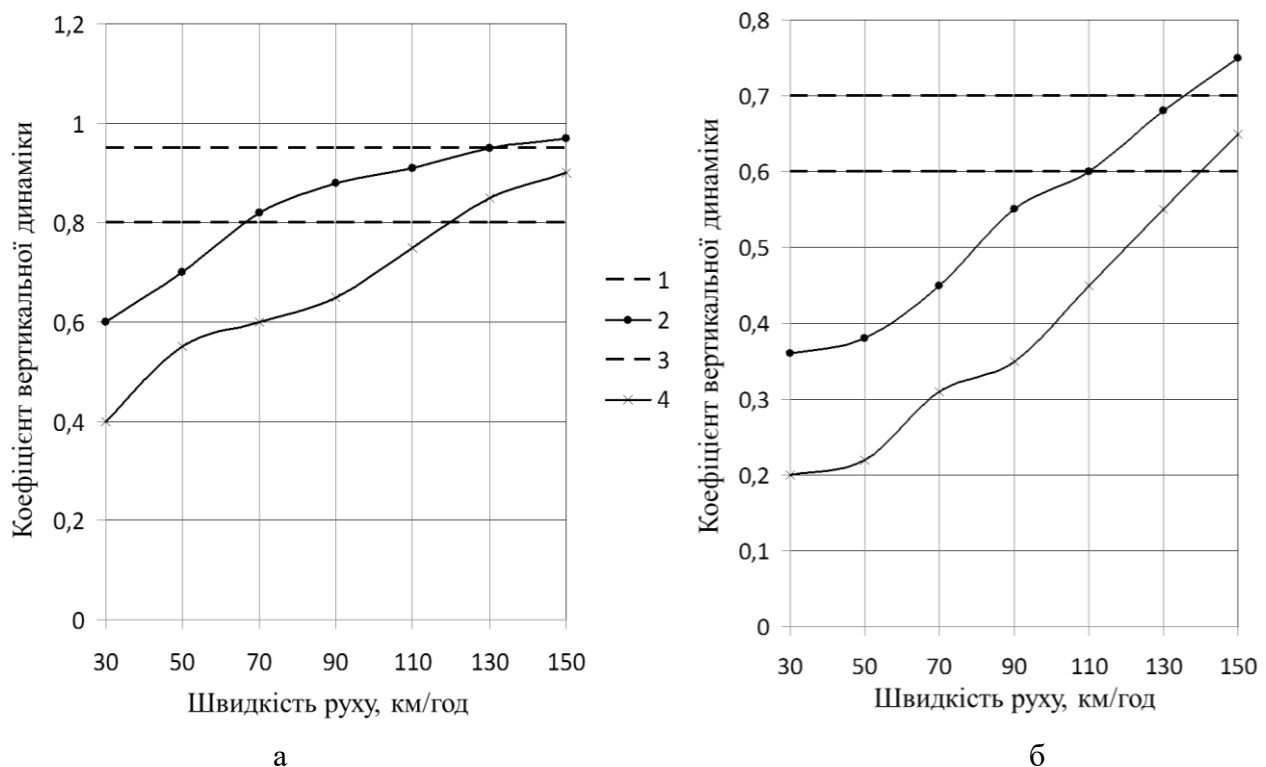


Рис. 2. Коефіцієнт вертикальної динаміки візка (а) і кузова (б) піввагона залежно від швидкості руху при моделюванні:
1, 3 – нормовані значення для порожнього і навантаженого режимів відповідно;
2, 4 – отримані значення для порожнього і навантаженого режимів відповідно

Моделювання показало, що коефіцієнт вертикальної динаміки як візка, так і кузова піввагона знаходиться на допустимому нормованому рівні в інтервалі швидкостей до 120 км/год.

Значення коефіцієнта горизонтальної динаміки чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом у визначеному діапазоні швидкостей руху вантажних поїздів при моделюванні наведені на рис. 3.

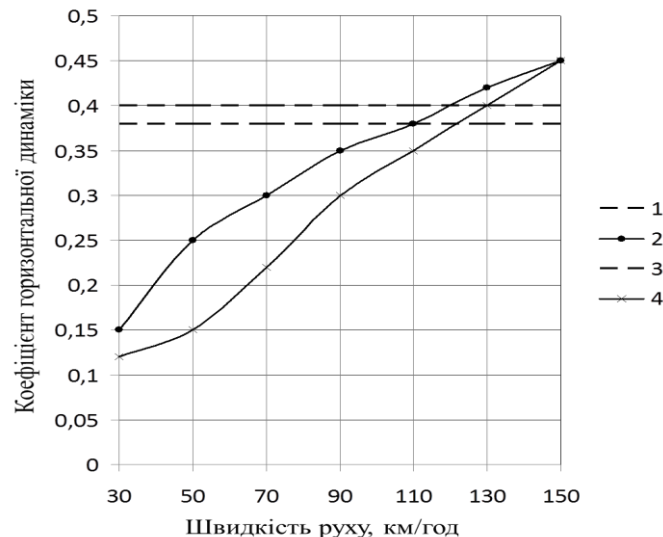


Рис. 3. Коефіцієнт горизонтальної динаміки чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом залежно від швидкості руху при моделюванні:

- 1, 3 – нормовані значення для порожнього і навантаженого піввагонів відповідно;
2, 4 – отримані значення для порожнього і навантаженого піввагонів відповідно

В інтервалі швидкостей руху поїздів до 120 км/год забезпечується значення коефіцієнта горизонтальної динаміки чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом нижче за гранично нормовані як для порожнього, так і для навантаженого режимів.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У роботі була отримана модель у вигляді диференціальних рівнянь, що описують коливання піввагона під час руху колією з нерівностями з урахуванням випадкового і періодичного процесів. Дана

модель є основною для виконання моделювання просторових коливань піввагонів зі зниженою металоємністю на пружно-в'язкій та інерційній залізничній колії. На основі розробленої моделі було визначено коефіцієнти вертикальної та горизонтальної динаміки чотиривісного піввагона з суцільнометалевим кузовом.

На основі наведеної моделі в подальшому можна імітувати рух різних піввагонів з урахуванням випадкового і періодичного процесів нерівностей колії, використовуючи існуючі прикладні пакети програмного забезпечення.

Список використаних джерел

1. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body [Текст] / F. Zhao, J. Xie // J. of Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 10. – P. 121–126. doi: 10.3901/jme.2014. 10.121.
2. Myamlin, S.V. Experimental research of dynamic qualities of freight cars with bogies of different designs [Текст] / S.V. Myamlin, O.O. Ten, L.O. Neduzha // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – №3(51). – С. 136-145.
3. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body [Текст] / F. Zhao, J. Xie, Y. Yuan, X. Shi // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 652–654. – P. 1357–1361. doi: 10.4028 / www.scientific.net/AMR.652-654.1357.

4. Блохин, Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) [Текст] / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
5. Мямлин, С. В. Улучшение динамических качеств рельсовых экипажей путем усовершенствования характеристик рессорного подвешивания [Текст]: дисс... д-ра техн. наук: 05.22.07 / С. В. Мямлин. – Днепропетровск, 2003. – 455 с.
6. Винокуров, М. В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов [Текст] / М.В. Винокуров // Научн. тр. ДИИТ. – 1989. – Вып. 12. – 292 с.
7. Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies [Текст] / S. V. Myamlin, V. M. Bubnov, Ye. O. Pysmennyi // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – №5(53). – С. 126-137.
8. Вершинский, С. В. Динамика вагона [Текст]: технический справочник железнодорожника / С.В. Вершинский. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – Т.6. – С. 651–712.
9. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей [Текст] / С.В. Мямлин. – Днепропетровск: Новая идеология, 2002. – 240 с.
10. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie [Текст] / Sergey Myamlin, Leonas Povilas Lingaitis, Stasys Dailydka, Gediminas Vaiciunas, Marijonas Bogdevicius & Gintautas Bureika // Transport. – 2015. – Vol. 30, Iss. 1. - P. 88-92.
11. Myamlin S.V., Baranovskiy D.M. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Текст] // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2014. – № 7. – С. 61-66.

Барановський Денис Миколайович, д-р техн. наук, доцент, проектно-конструкторське технологічне бюро з проектування та модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (056) 371-51-07.

Кебал Іван Юрійович, магістр, проектно-конструкторське технологічне бюро з проектування та модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Baranovsky Denis, Doct. of techn. sciences, Associate Professor, Project Design and Technological Bureau for design and modernization of rolling stock, track and man-made, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel. (056) 371-51-07.

Kebal Ivan, master, Project Design and Technological Bureau for design and modernization of rolling stock, track and man-made, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan.

Стаття прийнята 06.09.2016 р.

УДК 656.027(477)

**ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРОПОТОКІВ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПЕРЕСАДОЧНОМУ КОМПЛЕКСІ**

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, А. В. Єна, Т. Д. Дідур

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПЕРЕСАДОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ**

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, А. В. Ена, Т. Д. Дидур

**FORMING A MODEL OF PASSENGER TRAFFIC AT THE INTERCHANGE COMPLEX
ZALIZNYANOMU**

Doc. techn. sciences T. V. Butko, A. V. Yena, T. D. Didur

У даній статті розглянуто умови інвестиційно-інноваційного розвитку економіки України, які мають забезпечити перехід до постіндустріального суспільства з характерною зміною структури транспортного ринку та необхідністю створення на базі існуючих залізничних вокзалів системи інтегрованих пересадочних комплексів.

Зазначена необхідність удосконалення залізничної транспортної системи дасть змогу залізницям надавати послуги нової якості, а отже, виграти конкурентну боротьбу особливо в галузі пасажирських перевезень.

Запропоновано подати мету пасажирів та район пересадки у вигляді картографічної інформації, яка може бути подана у вигляді статичного потенційного поля φ у двовимірному просторі. Таким чином, розповсюдження пасажиропотоку відбувається в інформаційному полі.

Формалізовано процес організації пасажиропотоків при пересадках на основі мікрорівневої моделі організації потоків пасажирів з використанням мультиагентних методів, що на відміну від існуючих, дає змогу на рівні залізничного пересадочного комплексу забезпечити комфортні умови переміщення пасажирів з мінімальними витратами часу на пересадку, сформувані вимоги до технологічного процесу роботи пересадочного комплексу та визначити пропускну спроможність.

Ключові слова: залізничні вокзали, пасажирські перевезення, транспортний ринок, пересадочні комплекси, комфортні умови, пропускну спроможність.

В данной статье рассмотрены условия инвестиционно-инновационного развития экономики Украины, которые должны обеспечить переход к постиндустриальному обществу с характерным изменением структуры транспортного рынка и необходимостью создания на базе существующих железнодорожных вокзалов системы интегрированных пересадочных комплексов.

Указанная необходимость усовершенствования железнодорожной транспортной системы позволит железным дорогам предоставлять услуги нового качества, а также выиграть конкурентную борьбу, особенно в области пассажирских перевозок.

Предложено представить цель пассажира и район пересадки в виде картографической информации, которая может быть предложена в виде статического потенциального поля φ в двумерном пространстве. Таким образом, распространение пассажиропотока происходит в информационном поле.

Формализовано процесс организации пассажиропотоков при пересадке на основе микроуровневой модели организации потоков пассажиров с использованием мультиагентных методов, что в отличии от существующих, позволяет на уровне железнодорожного пересадочного комплекса обеспечить комфортные условия перемещения пассажиров с минимальными расходами времени на пересадку, сформировать условия к технологическому процессу работы пересадочного комплекса и определить пропускную способность.

Ключевые слова: железнодорожные вокзалы, пассажирские перевозки, транспортный рынок, пересадочный комплекс, комфортные условия, пропускная способность.

This article deals with the terms and conditions of investment and innovative development of Ukrainian economy, it should ensure the transition to a postindustrial society with the changes in the structure of the transport market and the necessary to build existing railway stations, integrated transit systems.

Identified the necessity to improve the rail transport system, that will enable railroads to provide service new quality, and win the competition, especially in the passenger transport.

It was presented the passenger's purpose and the place of transplanted in the form of map information that can be represented in a static potential field in two-dimensional space. Thus, the distribution of passenger traffic occurs in the information system.

Formalized the organization process of passenger's flows in transit on the basis of micro-level model of organization passenger's flows using multi-agent methods, which allows for a level railway interchange complex to provide comfortable conditions of passengers' travel with minimal time for transplanted, to generate requirements for technological process of the interchange of the complex and to determine the capacity.

Key words: railway stations, passenger transportation, transportation market, transit systems, comfort, capacity.

Вступ. В умовах інвестиційно-інноваційного розвитку економіки України, який має забезпечити перехід до постіндустріального суспільства з характерною зміною структури транспортного ринку, необхідним є вдосконалення залізничної транспортної системи на концептуальному рівні, що дасть змогу залізницям надавати послуги нової якості, а отже, виграти конкурентну боротьбу між видами транспорту за неосвоєний сегмент ринку, особливо в галузі пасажирських перевезень [1].

Актуальність теми. Упровадження програми швидкісного руху пасажирських поїздів між основними містами-мегаполісами потребує перегляду зони покриття і системи організації маршрутів прямування пасажирських поїздів з необхідністю створення на базі існуючих залізничних вокзалів системи інтегрованих

пересадочних комплексів. Обмежена дальність прямування швидкісних та високошвидкісних поїздів передбачає організацію швидкісних сполучень між вузлами (хабами) у всіх регіонах країни та перевезення на коротких плечах у зоні тяжіння хабів. Така система організації перевезень призведе до збільшення навантаження на інфраструктуру залізничних вокзалів та потребує ефективного вирішення завдання реалізації подорожі пасажирів з пересадками «за єдиним квитком» з урахуванням мінімізації загального часу прямування.

Для ефективного вирішення науково-прикладного завдання організації пасажирських перевезень швидкісними та високошвидкісними поїздами в умовах інтегрованих залізничних пересадочних комплексів необхідним є ув'язка їх роботи на сітьовому рівні з можливістю

проведення досліджень завантаження інфраструктури пересадочних комплексів для удосконалення технологій управління пасажиропотоками та координації різних видів міського транспорту в зоні тяжіння вокзалу. Механізмом реалізації цього завдання є створення структури управління на основі системи логістичних центрів з упровадженням сучасних інформаційно-керуючих систем, що пов'язано з необхідністю реалізації в об'єднаному комплексі автоматизованих робочих місць (АРМ) – системи підтримки прийняття рішень.

Аналіз попередніх наукових досліджень. Раціональне формування системи організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті, а також її удосконалення ґрунтується на дослідженнях у галузі теорії організації пасажирських перевезень. Перші теоретичні та практичні дослідження з формування близьких до сучасних підходів організації залізничних пасажирських перевезень та технологічної роботи залізничних вокзалів почалися вже на початку 60-х років минулого сторіччя, зокрема в роботах Кочнева Ф. П. [2].

У подальший розвиток результатів досліджень у галузі організації пасажирських перевезень, а саме: розроблення плану формування пасажирських поїздів, удосконалення роботи залізничних вокзалів, застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі, зробили значний внесок такі вчені та практики: Т. В. Бутько, П. С. Грунтов, О. О. Журба, Ф. П. Кочнев, А. В. Прохорченко та ін. [2-5].

У перших дослідженнях професора Ф. П. Кочнева [2] запропоновано спосіб розрахунку плану формування пасажирських поїздів (ПФПП) для полігона мережі із семи станцій на основі техніко-економічних розрахунків. Із більш практично прийнятих комбінацій пунктів обертю пасажирських поїздів запропоновано визначити умовно

оптимальний варіант плану формування на основі мінімізації приведених витрат шляхом формування графоаналічної моделі. Дана постановка задачі з причин складності проведення ручних розрахунків не передбачає подання залізничного вокзалу, як інтегрованого елемента єдиної системи пасажирських перевезень, що призводить до спрощення поставлених умов і не дає змоги врахувати обмеження на пропускну спроможність залізничних станцій та вокзалів, а знайдене рішення визначає доцільність лише безпересадочних сполучень і є близьким до оптимального.

Більш точним та ефективним підходом до визначення пропускну спроможності вокзалу є імітаційний метод. Так, у дослідженні Б. І. Торопова [6] на основі застосування методів математичної статистики та імітаційного моделювання з використанням методу ймовірнісного автоматного моделювання, запропонованого через визначення розподілу величини щільності потоку пасажирів, встановлювати значення найбільш імовірної щільності переміщення потоків по тих чи інших пішохідних комунікаціях і в подальшому використовувати знайдені параметри при розрахунках необхідної пропускну спроможності. Такий підхід дає змогу визначити найбільш придатне значення швидкості пересадочних потоків, яке використовується для визначення радіуса зони пішохідної доступності вузлів пересадки. Але запропонований метод передбачає проведення дуже складних статистичних досліджень параметрів пасажиропотоків, які на різних залізничних вокзалах можуть значно відрізнятися. Для аналізу завантаження площ залізничного вокзалу Гуанчжоу (Китай) у роботі [8] запропоновано спосіб моделювання організації пасажиропотоків на основі клітинних автоматів з використанням генетичного алгоритму.

Викладення основного матеріалу. Окрім перевірки на можливість організації

пересадки, при її плануванні необхідним є визначення параметрів, які характеризують процес пересадки. До таких параметрів належить маршрут переміщення потоків пасажирів при здійсненні пересадки та його тривалість, що визначає якісний показник реалізації пересадки – комфортність пересадки.

Для формалізації руху пасажирів на залізничному пересадочному комплексі необхідним є дослідження умов його роботи на основі статистичних даних щодо динаміки і параметрів пасажиропотоків. Ці дослідження були проведені в умовах станції Харків-Пасажирський протягом 2015 року. Результати дослідження наведені на рис. 1, 2.

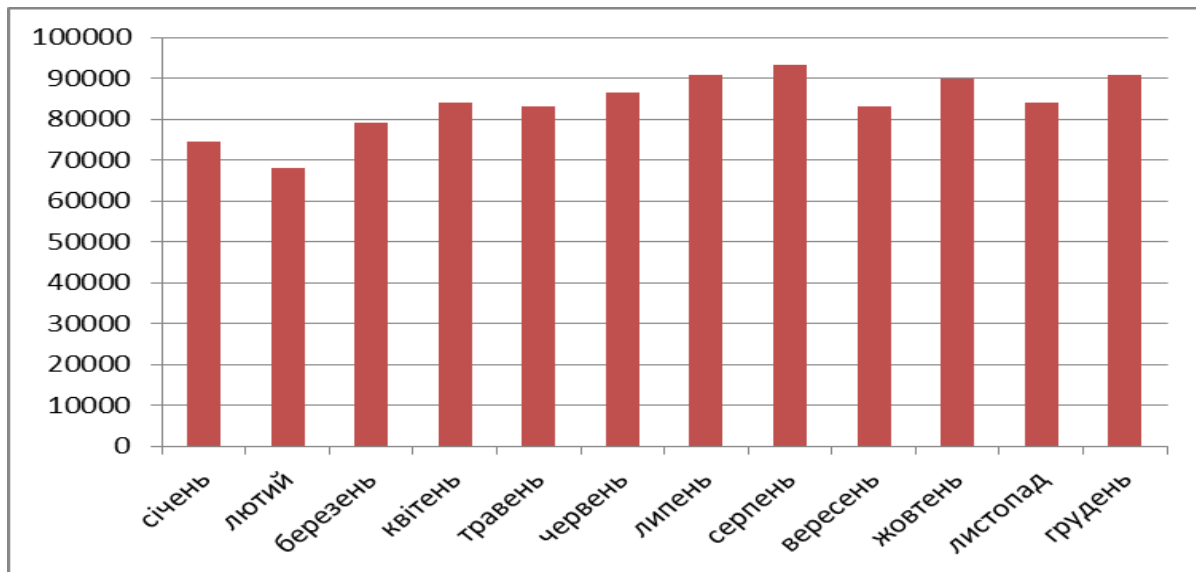


Рис. 1. Динаміка розподілу пасажиропотоку за місяцями року в умовах станції Харків-Пасажирський за 2015 рік

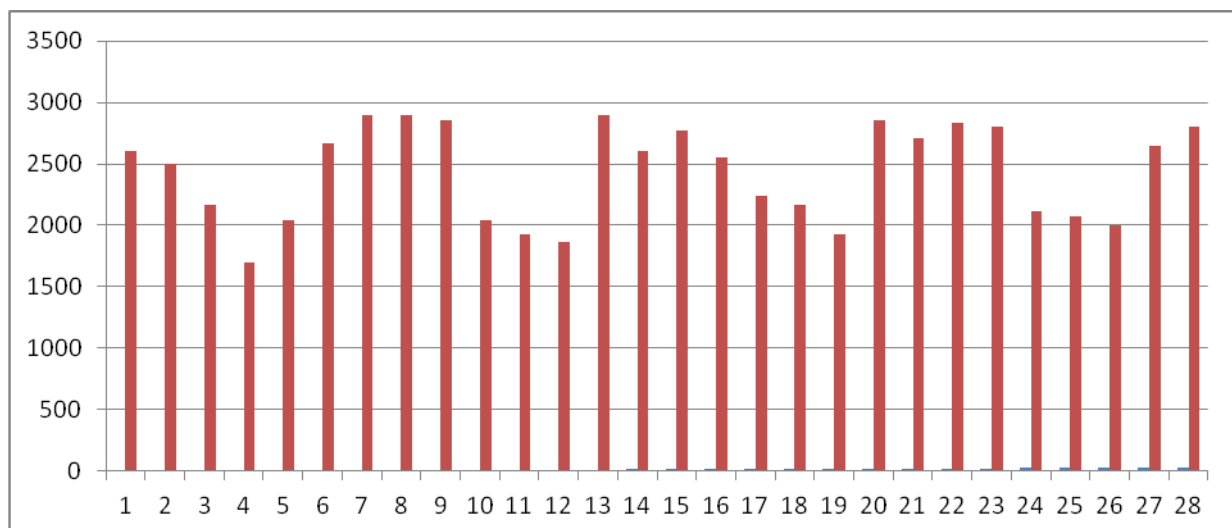


Рис. 2. Динаміка розподілу пасажиропотоку за днями місяця в умовах станції Харків-Пасажирський за лютий 2015 року

Для кількісної оцінки пасажиропотоку були розраховані основні показники, а саме: середнє значення – $\overline{N_{nac}} = 83954$ пас.; середнє квадратичне відхилення – $\delta_1 = 7008$ пас.; коефіцієнт нерівномірності – $k_i = 1,11$.

За цими спостереженнями на діаграмі доведено незначний вплив сезонного фактора розподілу пасажиропотоку за місяцями року.

Для кількісної оцінки пасажиропотоку були розраховані основні показники, а саме: середнє значення – $\overline{N_{nac}} = 2434$ пас.; середнє квадратичне відхилення – $\delta_1 = 381$ пас.; коефіцієнт нерівномірності – $k_i = 1,2$.

На основі аналізу цієї динаміки спостерігається вплив ефекту вихідного дня.

Ці фактори необхідно враховувати при формуванні моделі процесу розповсюдження пасажиропотоку з урахуванням статичних параметрів району пересадки.

Приймаючи за умову, що геометрія простору району пересадки та мета пасажира не змінюються протягом всього сценарію здійснення пересадки, для спрощення розрахунків можна визначити дану інформацію до початку моделювання динаміки руху пасажирів. Як наслідок, з початку моделювання процесу пересадки у кожного пасажира ця інформація повинна існувати підсвідомо, що дає змогу йому виконувати послідовність дій згідно із заданим глобальним маршрутом, що записується у скрипті сценарію поведінки пасажира (існуюча система орієнтування на вокзалі).

Для реалізації зазначеної умови в роботі запропоновано подати мету пасажира та район пересадки у вигляді картографічної інформації, яка може бути подана у вигляді статичного потенціального поля φ у двовимірному просторі. Таким чином, розповсюдження пасажиропотоку відбувається в

інформаційному полі. Ураховуючи фактори, яким надають перевагу пасажир при виборі маршруту пересадки, умовою формування потенціальної функції поля на всій області визначення району пересадки є найкоротша відстань до глобальної мети та відчуття дискомфорту біля перешкод. Така потенціальна функція $\varphi(X, t)$ ($X = \{x, y\}$ – координати простору, t – час) у точці мети X_j дорівнює нулю, а на всьому іншому проміжку задовольняє рівняння Ейконала:

$$\|\nabla\varphi(X, t)\| = \frac{\alpha f + \gamma g}{f}, \quad (1)$$

де $\nabla\varphi(X, t)$ – градієнт функції $\varphi(X, t)$;

f – вектор швидкості;

g – статичне поле дискомфорту біля перешкод (стіни вокзалу, краї платформи, турнікети, огорожі тротуару тощо);

α, γ – вагові коефіцієнти факторів відстані до глобальної мети та відчуття дискомфорту біля перешкод. Для розв'язання отриманого рівняння (1) використано числовий метод Fast Marching Method, FMM [8].

Ідея так званого алгоритму швидкого маршування або FMM [9] полягає у перетворенні рівняння (1) у рівняння, що подано у частинних похідних

$$\nabla\varphi(X) = \left(\frac{\partial\varphi(X)}{\partial x}, \frac{\partial\varphi(X)}{\partial y} \right).$$

Розв'язання цих рівнянь виконується за процедурою

$$\begin{cases} x_l^{k+1} = x_l^k + f \cdot t \cdot \frac{\partial\varphi(X^k)}{\partial x} \\ y_l^{k+1} = y_l^k + f \cdot t \cdot \frac{\partial\varphi(X^k)}{\partial y} \end{cases}$$

де $\{x, y\} \in \Omega$, де Ω – множина що описує район пересадки; $f \cdot t$ – величина кроку моделювання.

Таким чином, розв'язання виконується за рахунок розширення межі з постійним модулем одиничної швидкості ($f = 1$) у напрямку нормалі до неї. За своєю суттю це є метод хвильової схеми обходу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Формалізовано процес організації пасажиропотоків при пересадках на основі мікрорівневої моделі організації потоків пасажирів з використанням мультиагентних методів, що на відміну від існуючих, дає змогу на рівні залізничного пересадочного комплексу забезпечити комфортні умови переміщення пасажирів з мінімальними витратами часу на пересадку, сформувані вимоги до технологічного процесу роботи пересадочного комплексу та визначити пропускну спроможність.

Для забезпечення взаємодії пересадочних комплексів на макро- та мікрорівнях необхідно розробити дворівневу структуру, що включає систему логістичних центрів, на верхньому рівні якої повинен бути створений головний логістичний центр для вирішення завдань стратегічного й тактичного планування. Тоді як на нижньому рівні пропонується створення в структурі управління залізничних пересадочних комплексів регіональних логістичних центрів для управління пасажиропотоками та координації взаємодії роботи залізничного та суміжних видів транспорту в зоні їх тяжіння. Реалізація такої системи дає змогу підвищити ефективність прийняття рішень щодо управління роботою залізничних пересадочних комплексів за рахунок ув'язки їх роботи на сітьовому рівні.

Список використаних джерел

1. Древаль, И. В. Градоформирующая роль железнодорожных вокзальных комплексов [Текст] / И. В. Древаль // Научный вестник строительства. – Харьков: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 47. – С. 115-119.
2. Кочнев, Ф. П. Пассажирские перевозки на железных дорогах [Текст]: учеб. пособие для ин-тов инж. ж.-д. трансп. / Ф.П. Кочнев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 351 с.
3. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст] / под ред. П. С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 544 с.
4. Бутько, Т. В. Моделирование розділу пасажиропотоків по поїздам на основі колективного інтелекту [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохоренко, О.О. Журба // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 2/4(44). – С. 44 – 47.
5. Журба, О. О. Моделирование процесу пересадки пасажирів на залізничному вокзалі Харків-Пасажирський за варіантом “пасажирський поїзд – міський транспорт” [Текст] / О.О. Журба // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 60-66.
6. Тропов, Б. І. Розвиток пасажирських комплексів на основі закономірностей формування пасажиропотоків [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 / Тропов Б.І.; Київський ін.-т залізнич. тр-ту Харківської держ. акад. залізнич. транспорту. – К., 2001. – 21 с.
7. Y. S. Yan, W. X. Li, Optimization Simulation of Passenger Organization at Passenger Station during Passenger – flow Rush Hours / Y. S. Yan, W. X. Li // Computer Simulation, 21. – 2004. – p. 167- 170.
8. Sethian J. A. Fast marching methods / J. ASethian // SIAM Review. - 1999. - V. 41 (2). – P. 199 – 235.

9. Гончаров, Д. А. Анализ методов построения объемных дистанционных карт [Текст] / Д.А. Гончаров, А.М. Недзьведь, С.В. Абламейко // Штучний інтелект. – 2009. – № 4. – С. 513-519.

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.
Єна Аліна Василівна, студентка групи МЗ – TEMPUS – ОПУТ – Б – 15. Тел.: 0939731661.
Дідур Тетяна Дмитрівна, студентка групи МЗ – TEMPUS – ОПУТ – Б – 15.

Tatiana Butko, Dr. technical sciences, professor Head of management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-88.
Jena Alina V., student group MR - TEMPUS - OPUT - B - 15. Tel. 0939731661.
Didur Tatiana D., student groups -TEMPUS- OPUT MR-B-15.

Стаття прийнята 15.09.2016 р.

УДК 004.942: 621.313

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЕЛЕКТРИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Канд. техн. наук О. В. Пасько, Р. В. Зізюк

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Канд. техн. наук О. В. Пасько, Р. В. Зизюк

MODERNIZATION OF SUBSIDIARY ASYNCHRONOUS MACHINE ELECTRIC ROLLING STOCK

Cand. of tehn. sciences O. V. Pasko, R. V. Zizyuck

У даній статті розглядається можливість модернізації асинхронного електричного двигуна НВА-55. Ефективним способом зниження втрат у роторі є зниження активного опору стержня за рахунок збільшення його поперечного перерізу. Тільки такий спосіб придатний для двигунів, що працюють на вентиляторне навантаження, тому що їхній пусковий момент може виявитися значно меншим від номінального робочого моменту.

Ключові слова: асинхронний двигун, електричне поле, геометричні параметри.

В данной статье рассматривается возможность модернизации асинхронного электрического двигателя НВА-55. Эффективным способом снижения потерь в роторе является снижение активного сопротивления стержня за счет увеличения его поперечного сечения. Только такой способ пригоден для двигателей, работающих на вентиляторные нагрузки, так как их пусковой момент может оказаться значительно меньше номинального рабочего момента.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электрическое поле, геометрические параметры.

This article discusses the possibility of upgrading the ASN-55 asynchronous electric motor HBA-55r. An effective way to reduce the losses in the rotor is to reduce the active rod resistance by increasing its cross-section. Only such a method is suitable for engines operating on the fan load, as their starting point may be much lower than the rated operating torque. To compare the experimental results and simulations made the calculation of voltages and currents during motor start. Modeling these modes was carried out under the same given conditions, as a practical experiment. The results showed the following. The engine has a low starting torque $107\text{N} \cdot \text{m}$ at 2178mkF launcher capacity and lowest possible single-phase voltage 280V . The values of starting torque is not enough, since according to the specifications it must be at least $130\text{N} \cdot \text{m}$ at 280V single-phase power. In the course of a single engine start occurring electrical surge between the pole clamps (Figure 3.8). The magnitude of the surge exceeds the permissible value of 660V applied for engine isolation and a nominal operating voltage of 380V .

Keywords: induction motor, the electric field, the geometrical parameters.

Вступ. Значущість допоміжних електричних машин на електровозах останнім часом істотно зростає. Це пов'язано зі збільшенням навантаження на двигуни, інтенсивності експлуатації, технічного стану та віку експлуатації.

У 20-х роках 20-го століття одержав популярність метод дослідження асинхронних двигунів з несиметричним живленням, розроблений американським ученим С.Л. Фортезкуе. Розвиток цього методу дали у своїх роботах Ю.С. Чет і І.М. Камінь. Для дослідження електричних машин методом симетричних складових використовується принцип накладення, і струми фаз розкладаються на складовій прямій і зворотній послідовності, які задають кругові обертові поля. На схемах заміщення асинхронного двигуна для напруг прямої й зворотної послідовностей ротор замінюється еквівалентним трифазним. Крондль у 1934 році створив метод двох координат і застосував його до асинхронних машин із двома взаємно перпендикулярними обмотками, виконаними з нерівною кількістю витків. Вони виходять із трифазних обмоток, якщо дві послідовно увімкнені фази розглядати як одну. Тому надалі з'явилася можливість моделювання асинхронних машин у нерухомій або обертовій системах координат. У 50-х роках Б. Геллер і В. Гамата показали можливість обліку вищих гармонічних полів, які можуть

створювати додаткові обертаючі моменти й втрати, у результаті чого погіршуються механічні характеристики асинхронної електричної машини. Я.Б. Данилевич і Є.Г. Кашарський розглядали питання виникнення додаткових втрат в асинхронних двигунах унаслідок наявності вищих гармонік магнітного поля в повітряному зазорі, у результаті чого знижується ККД цих електричних машин.

Проведений аналіз існуючих методів дослідження й моделювання асинхронних двигунів з несиметричним живленням дає змогу зробити висновок про необхідність розроблення математичних моделей для дослідження роботи групи допоміжних асинхронних двигунів електровозів в умовах несиметричного й несинусоїдального живлення при наявності дефектів у роторі [2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для дослідження особливостей роботи групи трифазних асинхронних двигунів від однофазної мережі доцільно взяти за основу методіку, розроблену А.В. Івановим-Смоленським, Е.М. Лопухіною, Г.С. Сомихіною. Ця методіка застосовувалася тільки для випадку роботи одного трифазного двигуна від однофазної мережі. Методіка складається із трьох етапів. На першому етапі розрахунку складається система рівнянь рівноваги потенціалів за другим законом Кірхгофа для трифазної машини. На другому етапі в отримані

рівняння підставляються співвідношення для симетричних складової прямої й зворотної послідовностей напруг і струмів. На третьому етапі отримана система рівнянь прив'язується до співвідношень механічної рівноваги.

Визначення цілі й задачі дослідження. В економічних умовах, які склалися, та керуючись Стратегічним планом розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, Програмою модернізації та оновлення рухомого складу, метою статті є можливість упровадження прогресивних технологій з модернізації асинхронних електричних машин електровозів. Задачею дослідження є обґрунтування модернізації конструкції допоміжного асинхронного двигуна електровоза.

Основний матеріал статті. Конструктивно допоміжні машини виконані в сталевому гладкому корпусі виконання IP20. Уважається, що вентилятор на валу двигуна повинен забезпечувати достатній повітряний потік для охолодження в номінальному режимі роботи. Роль вентилятора у цих допоміжних електродвигунах виконують вентиляційні лопатки ротора. Охолодне повітря надходить у двигун з торців

підшипникових щитів через вхідні отвори й повітряні дифузори, і, нагнітаючись вентиляційними лопатками ротора, направляється уздовж статора машини, далі виходить із неї через вихідні отвори в корпусі [4].

В асинхронному двигуні НВА-55 при збільшенні довжини активної частини на 20 % і більше з'являється необхідність повної зміни конструкції підшипникових щитів для забезпечення необхідної ізоляційної відстані між лобовими частинами обмотки статора й повітряних дифузорів (рис. 1, 2).

Крім того, необхідно подовжувати опорні ребра машини, зберігаючи при цьому габаритні розміри двигуна. У такому випадку між внутрішньою підшипниковою кришкою й короткозамикальним кільцем з'являється можливість насадки осьового вентилятора, що може забезпечити односпрямований рух повітря з боку вхідних отворів заднього підшипникового щита вздовж повітряного зазора й поверхні статора між опорними ребрами у бік вентиляційних отворів переднього підшипникового щита. При цьому вихідні отвори на зовнішній корпусній оболонці (рис. 3) повинні бути закриті для запобігання втрати охолодного повітря.

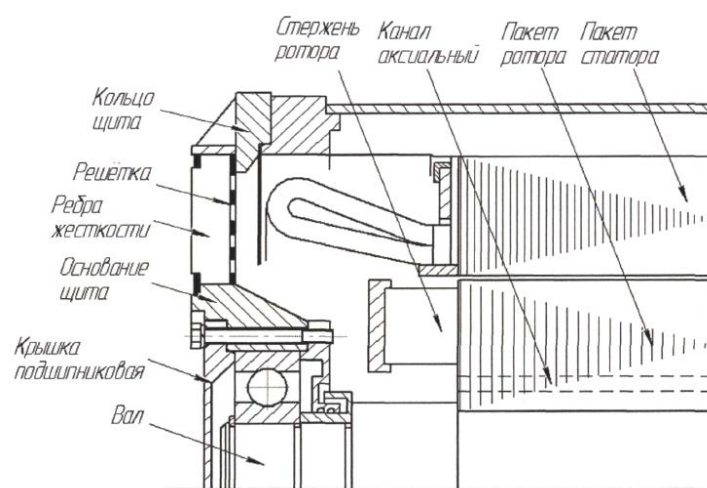


Рис. 1. Змінена частина підшипникового щита двигуна НВА-55 при відносно великому подовженні активної частини

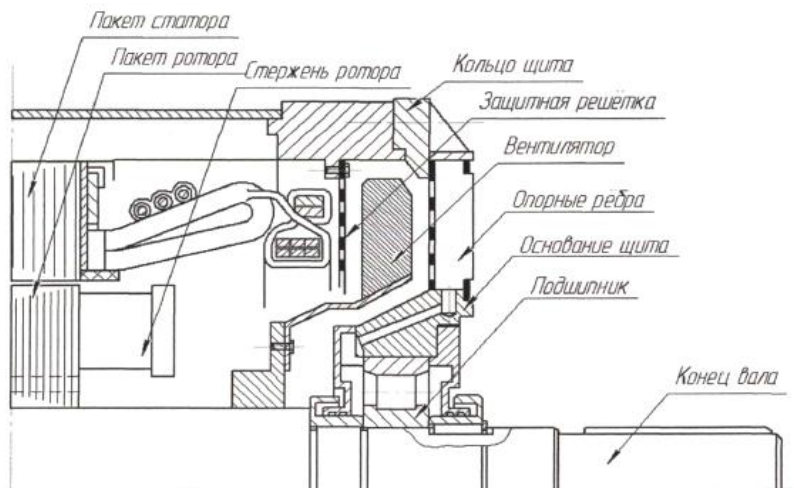


Рис. 2. Змінена частина підшипникового щита в кінці вала двигуна НВА-55 при відносно великому подовженні активної частини

Крім того, у всіх змінених варіантах двигуна передбачені аксіальні вентиляційні канали в роторі. Застосування осьового вентилятора може бути обумовлено можливістю одержання більшої площі захоплення повітря вентиляційними лопатками за рахунок їхнього нахилу й збільшеної ширини в порівнянні з радіальним вентилятором. При цьому необхідно строго витримувати напрямок обертання ротора машини. Крім того, діаметр такого вбудованого вентилятора більший від діаметра окружності навколо вентиляційних лопаток ротора, що забезпечить більший напір охолодного

повітря й тим самим створюватимуться поліпшені умови охолодження двигуна.

Конструкція ротора, запропонована заводом ВЭЛНИИ, в останній модифікації НВА-55 застосовується, як показано на рис. 2. У цій конструкції мідні шини, виконані як стрижні ротора, на кінцях зазнають вигину при складанні, після чого приварюються до короткозамикальних кілець. Така конструкція забезпечує достатню механічну міцність роторної клітки й зручність складання. Крім того, у випадку посадки вентилятора на вал необхідно передбачити додатковий щабель із фіксацією шпонкою [5, 6].

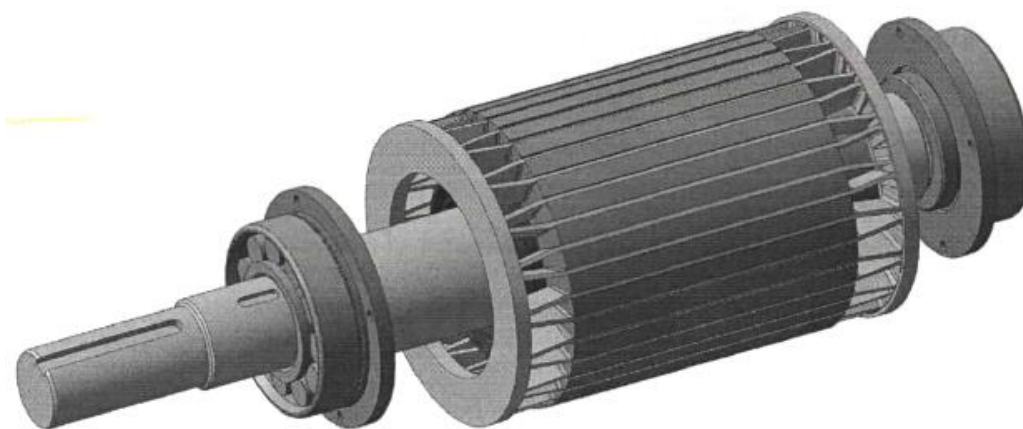


Рис. 3. Ротор зміненої конструкції для двигуна НВА-55

Для оцінки результатів модернізації конструкції допоміжного асинхронного двигуна НВА-55 проводилося моделювання теплових полів різних варіантів конструкції цієї машини при однакових умовах електричного живлення. У таблиці наведено дані про температури різних варіантів двигуна при різних умовах живлення й можливій наявності ділянки стрижня ротора зі

зменшеним у дев'ять разів перерізом, а також величина зниження температури нагрівання різних точок у процентному співвідношенні. На рис. 4 та 5 наведені картини теплових полів для початкового варіанта асинхронної машини й для її першого модернізованого варіанта (таблиця) при несиметричному й несинусоїдальному живленні [7-9].

Таблиця

Картини теплових полів для різних видів двигуна НВА-55

| Режим | Температура найбільш нагрітих точок статора й ротора для різних варіантів двигуна НВА-55, °С | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|
| | Оригінал | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Матеріал клітки ротора | Al | Cu | Cu | Cu | Cu |
| Симетричне живлення | 130 | 107 | 101 | 96 | 92 |
| Несиметричне живлення 6,3 % з тимчасовими гармоніками до 12 % | 175 | 143 | 136 | 139 | 122 |
| Один стрижень ротора з ділянкою зменшеного перерізу | 278 | 225 | 217 | 202 | 195 |
| Середнє зменшення температури, % | | | | | |
| - | - | 18 | 22 | 26 | 30 |
| Зменшення активного опору ротора, % | | | | | |
| - | - | 43 | 53 | 58 | 62 |
| Зміна геометричних розмірів, % | | | | | |
| Збільшення глибини паза ротора | - | 90 | 120 | 150 | 175 |
| Подовження активної частини | - | 15 | 20 | 23 | 25 |
| Збільшення внутрішнього діаметра статора | - | 0 | 2 | 5 | 8 |
| Енергетичні показники | | | | | |
| ККД, % | 90,2 | 91,7 | 92,0 | 92,5 | 93,0 |
| $\cos \varphi$, о. е. | 0,820 | 0,798 | 0,788 | 0,780 | 0,771 |

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямі. На етапах модернізації допоміжного двигуна були отримані картини теплового поля різних варіантів машини, що працює при несинусоїдальному й несиметричному електричному живленні. Методика одержання теплових полів асинхронного двигуна полягає в такому:

1. Моделювання режимів роботи асинхронного двигуна в умовах несиметричного й несинусоїдального живлення, одержання даних про струми, що протікають у статорі й роторі.

2. На підставі отриманих даних статорних і роторних струмів визначення електричних втрат на нагрівання в обмотках статора й ротора. Одержання даних про магнітні втрати в різних ділянках двигуна.

3. Визначення граничних умов для моделювання теплового поля двигуна в середовищі Elcut. До даних умов належать:
- визначення об'ємної щільності тепловиділення у всіх ділянках двигуна;

- визначення коефіцієнтів тепловіддачі з різних поверхонь двигуна.
Уведення граничних умов у програмний продукт Elcut і моделювання теплового поля електричної машини.

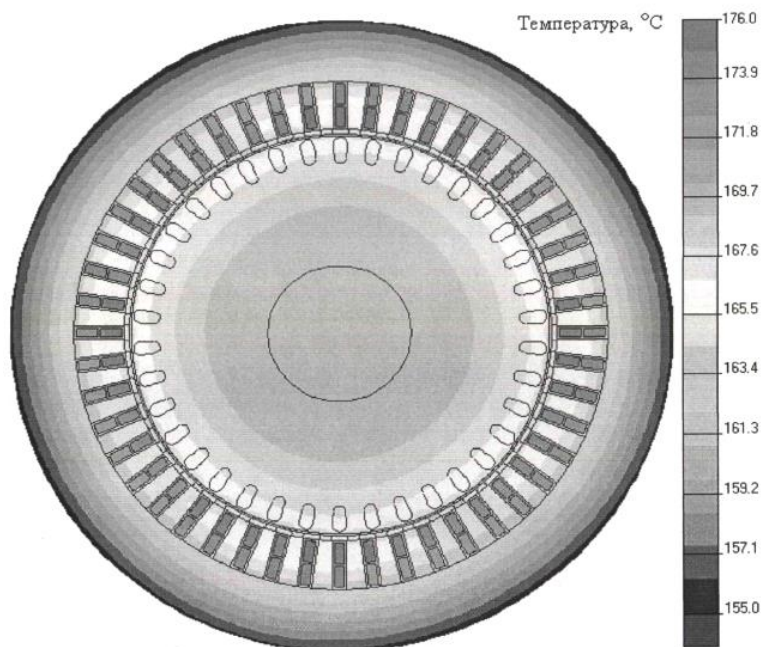


Рис. 4. Теплове поле двигуна НВА-55 при несиметричному і несинусоїдальному живленні

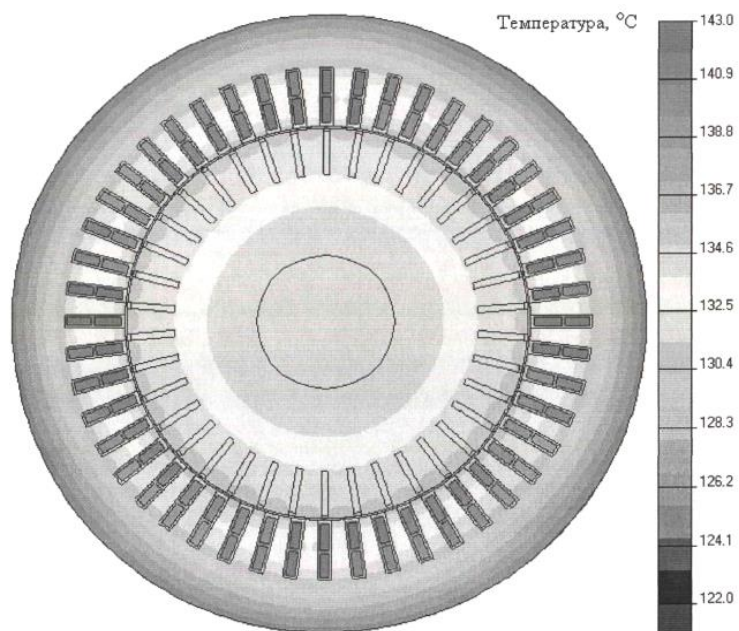


Рис. 5. Теплове поле двигуна 1-го зміненого варіанта НВА-55 при несиметричному й несинусоїдальному живленні

Список використаних джерел

1. Адаменко, А. И. Методы исследования несимметричных асинхронных машин. [Текст] / А.И. Адаменко. – К.: Наукова думка, 1969. – 356 с.
2. Адаменко, А. И. Несимметричные асинхронные машины [Текст] / А.И. Адаменко. – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 212 с.
3. Пасько, О. В. Аналіз електромагнітних процесів у тягових електроприводах із ШІМ напруги інвертора. [Текст] / О.В. Пасько // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 3/(26). – С. 97-99.
4. Гусевський, Ю. І. Розрахунок фазних струмів двофазної системи «автономний інвертор напруги – асинхронний двигун» [Текст] / Ю.І. Гусевський, О.В. Пасько, В.П. Шаповал // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2000. – №44. – С. 59.
5. Jakob, M.: Global Electric Motor Market Study - a first trial, in: conference proceedings, Motor Summit 2010, Zurich Switzerland, 2010.
6. Бернштейн, Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения [Текст] / Л.М. Бернштейн. – М: Энергоиздат, 1981. – 376 с.
7. Вольдек, А. И. Электрические машины [Текст] / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
8. Гемке, Р. Г. Неисправности электрических машин [Текст] / Р.Г. Гемке. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.
9. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 [Текст] / С.Г. Герман-Галкин. – Спб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

Пасько Ольга Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 057-730-10-20.

Зісюк Руслан Вікторович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту, оглядач ВЧДЕ 2, Батуринська, Кривий Ріг. Тел.: 096-40-87-881.

Pasko Olga Vladimirovna, Ph.D., associate professor of the department of operation and repair podvyzhnoho composition of Ukrainian state-owned railroad transport University. Tel. 057-730-10-20.

Zyzyuk Ruslan Viktorovich, Browser VCHDE 2 Baturynskaya, Krivoy Rog. Tel. 096-40-87-881.

Стаття прийнята 16.09.2016 р.

УДК 629.4.027

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ЕКСПЕРТНОЇ ГРУПИ ПРИ ОБСТЕЖЕННІ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНИХ ВИРОБНИЦТВ

Канд. техн. наук Ю. М. Дацун, А. Ю. Кицелюк

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Канд. техн. наук Ю. Н. Дацун, А. Ю. Кицелюк

DETERMINATION OF THE BEST ROUTE EXPERT GROUP IN SURVEY OF THE LOCOMOTIVE REPAIR PRODUCTIONS

Cand. of techn. sciences Y. Datsun, A. Kitselyuk

Роботи з атестації локомотиворемонтних виробництв виконуються технічними експертами при обстеженні відповідних підприємств. В умовах широкого полігона розташування локомотиворемонтних підприємств, обмеженої кількості експертів і щільного графіка проведення атестаційних процедур виникає необхідність планування оптимальних маршрутів експертів. Математичне формулювання такої задачі широко відоме як задача маршрутизації транспорту. Унаслідок невеликої розмірності задачі, визначення оптимальних маршрутів експертів з обстеження локомотиворемонтних виробництв проводилось методом «гілок і меж».

Ключові слова: локомотиворемонтне виробництво, задача, експерт, маршрут, витрати, вплив, обстеження.

Работы по аттестации локомотиворемонтных производств выполняются техническими экспертами при обследовании соответствующих предприятий. В условиях широкого полигона расположения локомотиворемонтных предприятий, ограниченного количества экспертов и плотного графика проведения аттестационных процедур возникает необходимость планирования оптимальных маршрутов экспертов. Математическая формулировка такой задачи широко известна как задача маршрутизации транспорта. Вследствие небольшой размерности задачи, определение оптимальных маршрутов экспертов по обследованию локомотиворемонтных производств проводилось методом «ветвей и границ».

Ключевые слова: локомотиворемонтное производство, задача, эксперт, маршрут, расходы, влияние, обследование.

When certification of locomotive repairs productions, technical experts conduct enterprise surveys. Repair productions have a large location area. The number of technical experts is limited. Schedule of certification is often tight. In these conditions, there is an urgent task planning optimal routes experts. The mathematical formulation of this problem is widely known as the Vehicle Routing Problems. Analysis of enterprise certification schedules for the month shows a small dimension of the problem. This allowed applying for its decision the method of "branch and bound". For most reasonable results, calculations were carried out according to three different routes motion experts. It can be noted from the results of calculations that the optimization expert's traffic routes to reduce transport costs to 33-38%, with the work of one of the expert's group. The disadvantage of the work of one of the expert group is a significant residence time of experts on

mission. If in the survey program 6-7 destinations, than experts staying on mission is 11,6-13,4 days. In cases when there is a need to reduce the timing of the surveys, it is advisable to route partition into two areas and the parallel operation of two expert groups. This option allows reducing the time of inspection 42-44%, but the increased transport costs.

Keywords: locomotive repair production, problem, expert, route, costs, impact, survey.

Вступ. При ремонті тягового рухомого складу (ТРС) якість проведених робіт істотно залежить від ряду факторів, що визначаються організаційно-технічним рівнем ремонтного виробництва. У ПАТ «Українська залізниця» департаментами локомотивного господарства та приміських пасажирських перевезень проводиться процедура атестації, що ставить за мету встановлення єдиних вимог до локомотиворемонтних виробництв, комплексного підвищення їх технічного рівня та зміцнення ремонтної бази, підвищення якості ремонту та технічного рівня ТРС. Процедура атестації ремонтного виробництва складається з кількох етапів. Найбільш важливим та відповідальним етапом атестації є експертне обстеження виробництва, що здійснюється технічними експертами за дорученням відповідних департаментів. В умовах широкого полігона розташування локомотиворемонтних підприємств, обмеженої кількості експертів та щільного графіка проведення атестаційних процедур виникає необхідність планування оптимальних маршрутів експертів за рядом критеріїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним критерієм оптимізації маршрутів експертів у теперішніх умовах стають мінімальні транспортні витрати [1]. Математичне формулювання такої задачі широко відоме як задача маршрутизації транспорту (ЗМТ) [2]. ЗМТ є узагальненням відомої задачі комівояжера (ЗК), коли будується відразу декілька замкнутих маршрутів, що проходять через деяку загальну вершину, що має назву депо. ЗМТ і ЗК належать до класу задач дискретної оптимізації і є NP-складними [3]. Для задач невеликої розмірності (не більше 25-30 вершин) часто

застосовують точні методи розв'язання: «гілок і меж» та динамічного програмування. Для розв'язання задач великої розмірності останнім часом успішно застосовують приблизні алгоритми. До групи евристичних методів відносять: конструктивні, двофазні, покращувальні методи. Метаевристичні методи розв'язання задач включають: пошук з виключеннями, відпал, що моделюється, детермінований відпал, генетичні алгоритми, нейронні мережі [4].

Отже, для визначення оптимальних маршрутів експертної групи необхідно оцінити розмірність задачі, обрати метод розв'язання та на основі даних щодо реальних маршрутів отримати розв'язок.

Визначення мети та задачі дослідження. На основі даних щодо реальних маршрутів експертної групи при обстеженні локомотиворемонтних виробництв визначити оптимальні маршрути за критеріями вартості проїзду та часу.

Основна частина дослідження. Аналіз річних планів графіків проведення атестацій локомотиворемонтних виробництв, дав змогу визначити, що середньомісячне навантаження експертної групи не перевищує 6-7 відвідувань різних виробництв. За вихідні дані бралась вартість проїзду залізницею між містами з ремонтними підприємствами. Дані подано у вигляді матриці (табл. 1).

Виїжджаючи з міста Харків, експерти мають відвідати всі пункти матриці (табл. 1) по одному разу та повернутись до Харкова. Розв'язання задачі полягає в знаходженні такого маршруту, що буде характеризуватись мінімальною вартістю проїзду. Для побудови математичної моделі вводяться булеві змінні [5]:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо експерт із пункту } i \text{ переїжджає в пункт } j, \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (1)$$

де $i, j = \overline{1, n}; i \neq j$.

Таблиця 1

Матриця вартості проїзду між пунктами маршруту

| Місто | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 Харків | ∞ | 532 | 338 | 256 | 187 | 232 | 441 |
| 2 Львів | 530 | ∞ | 217 | 263 | 328 | 466 | 172 |
| 3 Фастів | 368 | 406 | ∞ | 286 | 329 | 245 | 210 |
| 4 Одеса | 256 | 261 | 288 | ∞ | 324 | 274 | 451 |
| 5 Полтава | 188 | 326 | 312 | 321 | ∞ | 104 | 380 |
| 6 Гребінка | 235 | 342 | 241 | 276 | 105 | ∞ | 296 |
| 7 Коростень | 441 | 220 | 195 | 460 | 375 | 261 | ∞ |

Цільова функція в такому випадку матиме вигляд

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де C_{ij} – вартість транспортних переміщень між пунктами маршруту;

n – кількість пунктів у маршруті.

При таких обмеженнях:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, & j &= \overline{1, n}, \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, & i &= \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$U_i - U_j + n x_{ij} \leq n - 1,$$

$$i, j = \overline{1, n}; i \neq j,$$

де U_i, U_j – довільні речові значення.

Невелика розмірність поставленої задачі дає змогу розв'язувати її точними методами. При застосуванні методу «гілок і меж» [6] виконується розбиття множини допустимих розв'язків. На кожному кроці методу елементи розбиття (підмножини) підлягають аналізу: має ця підмножина оптимальний розв'язок чи ні.

Розбиття множин розв'язків (розгалуження) часто подають у вигляді дерева розв'язків. Розв'язання поставленої задачі проводилось із застосуванням односторонньої схеми розгалуження (рисунок). Кожна вершина дерева відповідає деякій підмножині розв'язків. Дуги, які виходять із вершини, означають, що на певному етапі цю підмножину відсікти не вдалося і вона була розбита на підмножини. Вершини, в які входять ці дуги, відповідають підмножинам, отриманим у результаті розгалуження.

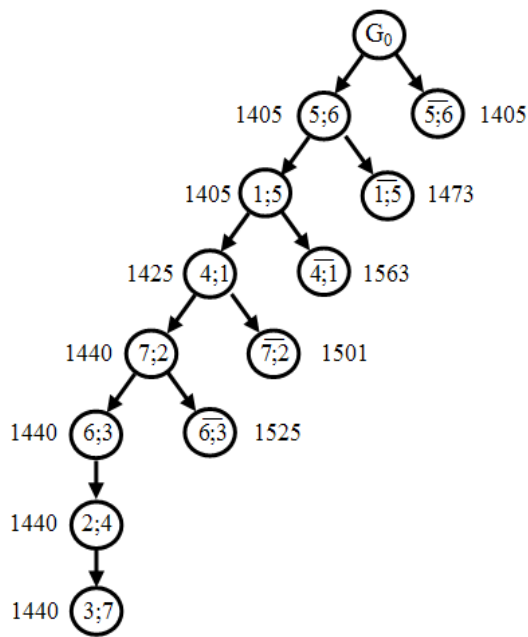


Рис. Дерево розв'язків задачі методом «гілок і меж»

Для отримання найбільш обґрунтованих результатів проводились обчислення за даними трьох різних маршрутів руху експертів. Результати розрахунку наведені в табл. 2, згідно з якими можна зазначити, що оптимізація маршрутів руху експертів дає змогу зменшити транспортні витрати на 33-38 % за умови роботи однієї експертної групи. Недоліком роботи однієї експертної групи є значний час перебування експертів у відрядженні. Так, при наявності в програмі обстежень 6-7 пунктів призначення час перебування експертів у відрядженні складає 11,6-13,4 доби. У випадках, коли є необхідність скорочення термінів проведення обстежень, доцільне розбивання маршруту на два райони та паралельна робота двох експертних груп. Такий варіант дає змогу скоротити час обстеження на 42-44 %, однак при цьому збільшуються транспортні витрати.

Таблиця 2

Параметри оптимальних маршрутів експертів з обстеження локомотиворемонтних виробництв

| Номер маршруту | Одна експертна група | | | Дві експертні групи | |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------|--|-----------------------------------|--|
| | Вартість проїзду по маршруту, грн | | Час відрядження при русі за маршрутом, доб | Вартість проїзду по маршруту, грн | Час відрядження при русі за маршрутом, доб |
| | Базовий маршрут | Оптимальний маршрут | | | |
| Маршрут 1 (n=7) | 6376 | 4244 | 13,4 | 2088 | 6,3 |
| | | | | 4372 | 7,6 |
| Маршрут 2 (n=6) | 5128 | 3192 | 11,6 | 2456 | 6,8 |
| | | | | 3056 | 5,7 |
| Маршрут 3 (n=7) | 8800 | 5924 | 12,3 | 3496 | 6,1 |
| | | | | 4520 | 6,7 |

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Унаслідок невеликої розмірності задачі визначення оптимальних маршрутів експертів з обстеження локомотиворемонтних виробництв проводилось методом «гілок і меж». Результати розрахунків вказують на

можливість зменшення транспортних витрат на 33-38 % при прямуванні експертів за оптимізованими маршрутами. Зменшення часу на обстеження виробництв на 42-44 % можливе за рахунок розбивання маршруту на два райони та паралельної роботи двох експертних груп.

Список використаних джерел

1. Тартаковский, Э. Применение экспертных методов для оценки организационно-технического уровня локомотиворемонтных предприятий [Текст] / Э. Тартаковский, В. Пузырь, Ю Дацун // Transport problems. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 87–91.
2. Braekers, K. The vehicle routing problem: State of the art classification and review [Text] / K. Braekers, K. Ramaekers, I. Nieuwenhuys // Computers & Industrial Engineering. – 2016. – 99. – P. 300–313
3. Пожидаев, М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Пожидаев Михаил Сергеевич. – Томск, 2010. – 134 с.
4. Archetti C. The Vehicle Routing Problem with Occasional Drivers [Text] / C. Archetti, M. Savelsbergh, M. Speranza // European Journal of Operational Research. – 2016. – 254. – P. 472-480.
5. Самойленко, Н. И. Транспортные системы большой размерности [Текст]: монография / Н. И. Самойленко, А. А. Кобец; под ред. Н. И. Самойленко. – Харьков: НТМТ, 2010. – 212 с.
6. Жесткова, С. А. Использование метода "ветвей и границ" при решении задач маршрутизации транспорта [Текст] / С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – №1. – С. 94-100.

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.
Кіцелюк Андрій Юрійович, слухач групи МЗ-TEMPUS – Б – 15 – Л Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.:(050)819-69-94. E-mail: andrey28286@gmail.com.

Datsun Yurii cand. of techn. sciences, associate professor department of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.
Kitselyuk Andrey listener gr. MZ-TEMPUS - B - 15 - L Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.:(050)819-69-94. E-mail:remlocomot@gmail.com.

Стаття прийнята 16.09.2016 р.

УДК 629.42.083

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД

Д-р техн. наук О. В. Устенко, Д. С. Кравцов

ИССЛЕДОВАНИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД

Д-р техн. наук А. В. Устенко, Д. С. Кравцов

RESEARCH AND DEVELOPMENT WORK LOCOMOTIVE CREWS

Dr. Sc. Science A. V. Ustenko, D. S. Kravcov

У даній статті розглядається можливість удосконалення організації роботи та відпочинку локомотивних бригад моторвагонного рухомого складу в умовах приміського депо Чернігів. Локомотивне господарство є однією з найважливіших складових залізничного транспорту. Грамотна експлуатація дає змогу збільшити пробіг локомотивів, що

призводить до зниження витрат і дає можливість обходитися меншою кількістю секцій електропоїздів і локомотивних бригад.

Ключові слова: моторвагонний рухомий склад, регламент робочого часу локомотивних бригад.

В данной статье рассматривается возможность усовершенствования организации работы и отдыха локомотивных бригад моторвагонного подвижного состава в условиях пригородного депо Чернигов. Локомотивное хозяйство является одной из важнейших составляющих железнодорожного транспорта. Грамотная эксплуатация позволяет увеличить пробег локомотивов, что приводит к снижению затрат и позволяет обходиться меньшим количеством секций электропоездов и локомотивных бригад.

Ключевые слова: моторвагонный подвижной состав, регламент рабочего времени локомотивных бригад.

This article discusses the possibility of improving the organization of work and rest of locomotive crews motor-car rolling stock in a suburban depot Chernihiv. Locomotive economy is one of the most important components of rail transport. Smart operation allows you to increase the mileage of locomotives, which leads to lower costs and eliminates the need for fewer sections of trains and locomotive crews.

Qualitative improvement of working conditions, optimization of cargo also lead to lower non-production costs and reduce the number of hours of overtime, which positively affects the working atmosphere in the locomotive depot.

The system of preparation and training of locomotive crews is crucial to further work drivers. The main objectives of the training of locomotive crews are:

- *Training actions in abnormal and emergency situations;*
- *Training with modern locomotive systems management and security;*
- *Training of rational methods of driving trains;*
- *Reduce the length and quality of training drivers and assistant drivers.*

Keywords: *Multiple unit, locomotive brigade, working time regulations for locomotive crews.*

Вступ. На локомотивне господарство припадає майже третина експлуатаційних витрат залізниці України, тому розгляд шляхів покращення використання його господарських засобів залишається актуальним і потребує подальшого дослідження. Для забезпечення високої ефективності використання наявного рухомого складу, його високої працездатності при мінімально можливому рівні витрат, а також покращення умов і підвищення продуктивності праці фахівців і керівників на підприємствах локомотивного господарства всіх рівнів необхідно створити єдину автоматизовану систему управління локомотивним господарством та, зокрема, локомотивними бригадами [1].

Ефективність роботи машиніста сьогодні безпосередньо залежить від науково обґрунтованого режиму праці та відпочинку, який повинен бути таким, щоб до кінця поїздки у машиністів зберігався стійкий рівень працездатності [2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження проводилися у галузі експлуатації рухомого складу та роботи локомотивних бригад Е.Д. Тартаковським, О.Б. Бабаніним та В.Г. Пузирем. У їхніх працях розроблені теоретичні основи прийняття рішень в умовах невизначеності ситуацій з технічним станом локомотива та станом локомотивної бригади. Значний внесок у розвиток систем діагностування та оптимізації системи утримання

локомотивів та контролю локомотивних бригад зробили Т.В. Бутько, Б.І. Галай, В.Ф. Головка, Є.Є. Коссов, А.П. Кудряш, Т.Ф. Кузнєцов, В.Г. Брусєнцов, В.Д. Кузьмич та ін.

Визначення мети й задачі дослідження. Метою дослідження є вирішення проблеми експлуатації моторвагонного рухомого складу та роботи локомотивних бригад і підвищення ефективності їх використання. Для цього необхідне розроблення методів оцінки якості підготовки локомотивів і локомотивних бригад до рейсу, оснований на аналізі технічного стану локомотива та характеристиках діяльності і стану локомотивних бригад при використанні сучасних засобів діагностики, моніторингу та обробки інформації; оптимізації роботи локомотивних бригад у процесі прямування. Задачею дослідження є визначення оптимізації роботи локомотивних бригад та установа відпочинку та роботи [2-4].

Основний матеріал статті. За підсумками роботи дев'яти місяців 2016 року допущено 25,8 тис. год понаднормової роботи (за аналогічний період 2015 року цей показник майже втричі менший – 8,9 тис. год). На одного працівника припадає 9,9 год понаднормової роботи в місяць. Однак, у зимовий період часті випадки недопрацювання норми робочих годин. У літній період, навпаки, більш часті випадки понаднормової роботи, і в першу чергу через збільшення обсягів вантажо-перевезень. Перевідпочинок локомотивної бригади складає 53,2 тис. год (матеріальні витрати складають 626,5 тис. грн). Невиробничі простой – 0,5 тис. год. Прямування пасажиром – 7,9 тис. год (матеріальні витрати – 92,6 тис. грн). Перевідпочинок локомотивних бригад 47,5 тис. год (матеріальні витрати складають 554,8 тис. грн). Фактичний контингент локомотивних бригад на 1 жовтня 2016 року складає 300 осіб при передбачених штатним розкладом 290 осіб,

а у вересні того ж року фактичний контингент локомотивних бригад складає 339, а необхідний за штатним розкладом – 380. У літній період ця різниця ще більш відчутна. Сформована ситуація говорить про те, що тільки постійним нарощуванням контингенту локомотивних бригад не можна повністю відмовитись від понаднормової роботи. Здебільшого на понаднормову роботу впливає нераціональне використання локомотивних бригад.

Через недостатню організацію планування перевізного процесу спостерігається невиконання встановлених пробіжних норм, які завищуються практично на всіх залізницях. Основною причиною завищення пробіжних норм є неграфіковий простій.

У серпні 2016 року прямування локомотивних бригад пасажирами склало 1,9 тис. год, що на 1,7 тис. год більше, ніж у серпні 2015 року (було 0,2 тис. год). Збільшення цього показника відбулося у зв'язку із введенням у експлуатацію швидкісних електропоїздів № 157/158, 159/160, 169/170, 171/172, 175/176.

Відпрацьовані години понад норму робочого часу у серпні 2016 року збільшились на 1,0 тис. год порівняно із серпнем 2015 року. Таке зростання відбулося у зв'язку із обслуговуванням електропоїздів «Шкода» та не були виділені локомотивні бригади з інших локомотивних депо.

Перевідпочинок у серпні 2016 року склав 9,0 тис. год, що на 0,3 тис. год більше, ніж у серпні 2015 року (було 8,7 тис. год). Збільшення цього показника відбулося по ст. Кривий Ріг у зв'язку із зміною обслуговування поїзда № 73/74.

Збільшення годин у відрядженні (на 1,0 тис. год) відбулося у зв'язку із проведенням дослідних випробувань Крюківського двосистемного електропоїзда.

Для поліпшення використання робочого часу локомотивних бригад пропонується:

- перш за все розробити цільову комплексну програму щодо забезпечення раціонального використання робочого часу локомотивних бригад, оптимізації пробіжних норм і зниження непродуктивних втрат робочого часу за поїздку;

- забезпечити проведення комплексних перевірок щодо дотримання порядку та достовірності обліку показників використання робочого часу локомотивних бригад на залізницях.

Інтенсифікація перевізного процесу привела до впровадження на мережі залізниць нових технологій водіння поїздів, але через брак нових та адаптованих методів організації праці локомотивних бригад це нововведення спричинило збільшення кількості годин понаднормової роботи через порушення параметрів графіка руху поїздів майже в геометричній прогресії. При зростанні інтенсивності руху поїздів на 1 % понаднормові години роботи зросли майже на 14 %. Незважаючи на те, що Трудовим кодексом тривалість робочої зміни не може перевищувати 12 год на добу, загальна кількість порушень режиму праці локомотивних бригад у вантажному русі становить понад 1,5 тис. випадків на рік. Нестача контингенту на виконуваний обсяг роботи, нераціональне використання локомотивних бригад, неспритність у роботі суміжних служб, особливо фахівців в управлінні рухом поїздів, зношених на 90,1 % локомотивний парк, зниження престижності професії, невлаштованість побуту машиністів і помічників машиністів призводять до перевантаження, накопичення втоми, зростання кількості захворювань, браків у роботі і звільнень. Упровадження інтенсивних технологій обслуговування перевізного процесу належною мірою не супроводжується адекватними заходами щодо поліпшення умови праці локомотивних бригад. Єдина компенсація за всі професійні незручності – це надбавки до тарифних ставок, які вводяться в умовах нової форми власності на залізничному транспорті дуже складно.

Переведення локомотивних бригад на подовжені плечі здебільшого здійснюється без модернізації кабін локомотивів, попередніх розрахунків збільшення максимально можливої довжини плечей обслуговування та інтенсивності праці, без серйозних досліджень стану здоров'я працівників.

Становище з використанням робочого часу машиністів не покращиться, поки не будуть введені деякі заходи правової, юридичної та фінансової відповідальності за їх нераціональне використання працівниками суміжних служб і перш за все оперативно-розпорядчим персоналом департаменту перевезень.

Необхідні зміни в конструкції локомотивів, підвищення їх надійності, створення комфортних умов для роботи локомотивних бригад, упровадження єдиної системи реабілітації здоров'я, яка особливо важлива при використанні нових інтенсивних технологій, водінні пасажирських поїздів в одну особу, збільшення швидкості руху. Останнім часом погіршився якісний склад локомотивних бригад, скоротилася кількість помічників машиністів, які мають право самостійного управління локомотивом. Вік 51,6 % машиністів перевищив 40 років, у межах віку найбільшої працездатності працюють лише 33,6 %.

Для стабілізації становища з використанням робочого часу локомотивних бригад, забезпеченням безпеки руху поїздів необхідно вирішити такі проблеми:

- з метою стимулювання зростання кваліфікації локомотивних бригад збільшити розрив у рівнях заробітної плати машиніста і помічника за рахунок відповідної зміни тарифних ставок і преміальної винагороди;

- підсилити контроль за дотриманням посадових обов'язків машиністами, що протягом тривалого часу (п'ять років і більше) не підвищують клас кваліфікації. Аналогічну роботу слід проводити з

помічниками, які не отримали протягом зазначеного періоду права самостійного управління і не прагнуть стати машиністами. Необхідно в найкоротші терміни розглянути питання про підняття престижу професії машиніста за рахунок забезпечення приросту заробітної плати локомотивних бригад і середньої зарплати в суміжних господарствах;

- прийняти рішення про доплату не менше 30 % від тарифної ставки локомотивним бригадам, що обслуговують подовжені плечі (більше 350 км у вантажному русі при кількості поїздок на даних плечах не менше 50 % від загальної кількості), а також при роботі машиніста без помічника.

Динаміка параметрів графіка руху і розмірів вантажного руху на основних ділянках залізниць не підлягає чіткому прогнозуванню.

Відновлення розрахункового контингенту локомотивних бригад у відповідності до реальних розмірів руху в найкоротші терміни неможливе. В окремі пікові періоди перевізної роботи (серпень - листопад) брак локомотивних бригад становить до 25 % від їх потреби. Є й інші причини, серед яких порушення технологічних норм на огляд складів, очікування їх у парку відправлення, ремонт, технічний брак, усунення інших несправностей, виключення вагонів з браком, порушення норм на приймання вагонів під охорону, збої в русі, надання вікон, пропуск пасажирських поїздів, що прямують з порушенням графіка, а також несправності локомотивів, порушення самими бригадами норм часу на службовий прохід і митний огляд.

Низький рівень коефіцієнта дільничної швидкості (0,85) – свідчення незадовільного співвідношення дільничної та технічної швидкостей. На загальні втрати робочого часу локомотивних бригад, викликані низьким коефіцієнтом використання параметричних елементів

графіка руху поїздів, впливають такі фактори:

- відмова технічних засобів, непередбачена графіком попередження щодо обмеження швидкості, – 22,1 %;

- незадовільна організація руху поїздів, період надлишкової кількості вікон – 29,9 %;

- відчеплення від поїздів на шляху прямування несправних вагонів – 16,0 %;

- відмова в роботі пристроїв сигналізації, централізації та блокування (далі – СЦБ) та зв'язку – 2,5 %;

- несправність локомотивів на шляху прямування – 15,6 %;

- порушення часу ходу по перегону з вини локомотивних бригад – 1,1 %;

- несвоєчасне приймання поїздів станціями – 1,5 %;

- прямування локомотивних бригад пасажирами, резервом – 13,3 %.

Перевідпочинок локомотивних бригад у пунктах оборту не входить до бюджету робочого часу при визначенні понаднормових годин, але опосередковано впливає на їх зростання, а також скорочує тривалість домашнього відпочинку, що потребує внесення коректив у наряди на видачу, зсуває час чергового з'явлення.

У зв'язку з невідповідністю дирекцій локомотивної тяги до впровадження наскрізної технології водіння поїздів локомотивним депо склалося незадовільне становище з дотримання режиму робочого часу і часу відпочинку бригад.

Структурна реорганізація управління роботи локомотивних бригад включила в себе такі загальні напрямки:

- створення дирекції центральних та регіональних філій роздільно з ремонту та експлуатації тягового рухомого складу (далі – ТРС);

- розділення балансів ремонтних та експлуатаційних депо;

- розроблення систем розподілу ТРС, що пройшов капітальний ремонт і

новозбудованого для дислокації їх по підприємствах.

Гостро постає проблема впровадження комплексної програми підбору локомотивних бригад, їх психологічної сумісності. Будівництво реабілітаційних центрів для відновлення працездатності бригад і пунктів відпочинку бригад з урахуванням сучасних вимог інженерної психології та ергономіки.

Оптимізація роботи локомотивів на подовжених плечах обслуговування та створення гідних і безпечних умов для роботи залізничників слабо підлягає економіко-математичному моделюванню. Тому в багатьох випадках краще застосовувати евристичні та експертні методи досліджень. Локомотивні бригади за характером і значенням виконуваної роботи, чисельністю та кваліфікацією є однією з провідних професій працівників залізничного транспорту. Підвищення продуктивності праці локомотивних бригад нерозривно пов'язане із зростанням ефективності використання локомотивного парку і раціональної організації його роботи. Підвищення пропускної і провізної спроможності, збільшення швидкості і ваги поїздів, зменшення кількості стоянок на ділянці і часу їх тривалості дає можливість значно підвищити середньодобовий пробіг, продуктивність локомотива, збільшити час його перебування в чистому русі на добу.

Локомотивна бригада прибуває в депо до кожної поїздки на 0,5 год раніше за отриманням маршруту, а також втрачає час в очікуванні відправлення з поїздом як мінімум 0,5 год на кожен рейс поїзда. На приймання і здавання локомотива необхідна 1,0 год в основному та оборотному депо, тобто повна втрата часу $t_{доп}$ на кожну поїздку становитиме 4,0 год.

Кількість поїздок за місяць:

$$П = \frac{F}{17} = \frac{167}{17} = 9,8 = 10 \quad (1)$$

де F – норма робочих годин на місяць;
17 – кількість робочих годин за поїздку.

Час відпочинку бригад в оборотному депо на даній ділянці складає в середньому 5 год за поїздку. За місяць час відпочинку складе

$$T_{об} = П \cdot 5 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ год.} \quad (2)$$

Повний допоміжний час за місяць:

$$T_{доп} = П \cdot t_{доп} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ год.} \quad (3)$$

Повний домашній відпочинок за місяць:

$$T_{дом} = П \cdot 16 = 10 \cdot 16 = 160 \text{ год,} \quad (4)$$

де 16 – мінімальний відпочинок локомотивної бригади між поїздками.

Повний час зайнятості локомотивної бригади на роботі і на відпочинку за місяць:

$$T_{повн} = F + T_{доп} + T_{дом} = 167 + 40 + 160 = 367 \text{ год.} \quad (5)$$

Вільний час робітника локомотивної бригади за місяць на розглянутій ділянці за місяць у середньому складе:

$$T_{віль} = 720 - 367 = 353 \text{ год.} \quad (6)$$

Середній інтервал між двома поїздками можна визначити таким чином:

$$I_{сер} = 2t_{пр} + 2t_{сд} + (t_{слід.об.} + t_{слід.прож.}) + T_{відп.об} + (T_{відп.осн} = 2t_{пр} + 2t_{сд} + 7,2 \cdot \frac{L_{діл}}{V_{діл}} \quad (7)$$

Для ділянок обігу більше критичної величини $L_{діл} \geq L_{кр}$ між поїздками буде

з'являтися вільний резерв часу перебування вдома.

Для однієї поїздки визначається за формулою

$$\begin{aligned} t_{\text{рез}} &= 2,6 (t_{\text{слід.об.}} + t_{\text{слід.прож}}) - t_{\text{від}} - \\ &- 1,88 (t_{\text{слід.об.}} + t_{\text{слід.прож}}) + t_{\text{від}} = \quad (8) \\ &= 0,72 (t_{\text{слід.об.}} + t_{\text{слід.прож}}). \end{aligned}$$

Шляхом перетворення формули отримаємо величину критичної відстані:

$$L_{\text{кр}} = 12 \frac{V_{\text{дїл}}}{4,2} = 2,87 V_{\text{дїл}}.$$

Наведений розрахунок хоча і не дає точної картини роботи і відпочинку локомотивної бригади за кожний конкретний місяць, але досить ясно характеризує баланс часу при роботі бригад на коротких ділянках обертання [3-5].

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямі. Зроблений порівняльний аналіз роботи локомотивних бригад при роботі на подовжених плечах обслуговування і звичайних плечах обслуговування. Також проведено дослідження залежності режиму праці та відпочинку локомотивних бригад від довжини ділянки, кількості поїздок, часу безперервної роботи. Здійснено оцінку можливого підвищення продуктивності праці локомотивних бригад.

Пропонується ввести автоматичний контроль роботи локомотивних бригад з урахуванням контролю роботи та впровадженням сучасного устаткування реєстрації та обліку роботи моторвагонного рухомого складу та локомотивних бригад.

Список використаних джерел

1. Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов [Текст] / под ред. С. И. Осипова. – М.: Транспорт, 1984. – 280 с.
2. Пузир, В. Г. Вдосконалення системи експлуатації локомотивів на підставі інформації про їх фактичний технічний стан [Текст] / В.Г. Пузир // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 46. – С.46-49.
3. Пузир, В. Г. Вдосконалення підготовки машиністів МВРС із застосуванням тренажерного комплексу [Текст] / В.Г. Пузир, І.В. Ремез // Зб. наук. праць КУЕТТ: Сер. Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2003. – Вип. 3. – С.108-112.
4. Reinach, S., Gertler, J. & Kuehn, G. (1998). Training requirements for railroad dispatchers: Objectives, syllabi, and test designs. Federal Railroad Administration Technical Report No. DOT/FRA/ORD-98-08. Springfield, VA: National Technical Information Service.
5. Пузир, В. Г. Оцінка рівня інформаційного навантаження машиніста локомотива [Текст] / В.Г. Пузир // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 54. – С.116-121.
6. Jiateg Yin, Demang Chen, Yidong Lic. Smart train operation algorithms based on expert knowledge and ensemble CART for the electric locomotive. Knowledge-Based Susters. Volume 92. 15 January 2016. P. 78-91.

Устенко Олександр Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-09.

Кравцов Дмитро Сергійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту; помічник машиніста електропоїзда РПЧ-10, Чернігів. Тел. 096-157-44-21.

Ustenko Alexander, Ph.D., professor of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-10-09.

Dmitry Kravtsov, assistant train driver RPCH -10 Chernigov. Tel. 096-157-44-21.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.

УДК 629.17

ОПИС ВІДМОВ ВАГОНА ПРИ ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Канд. техн. наук Л.А. Мурадян

ОПИСАНИЕ ОТКАЗОВ ВАГОНА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Канд. техн. наук Л.А. Мурадян

DESCRIPTION BOUNCE THE CAR WHEN THE PROCESS OF MANUFACTURING THE STRUCTURAL ELEMENTS

Phd. tehn. L.A. Muradian

У роботі показано, що опис відмов і оцінку технологічної надійності вагона необхідно проводити з точки зору неприпустимості утворення дефектів, а критичні пошкодження структурних елементів вагона будуть носити характер випадкових подій. Тому запропоновано потік таких відмов розглядати як пуассонівський, тобто такий, якому властива відсутність наслідків і ординарності. Остання властивість матиме місце, якщо розглядати критичні пошкодження окремих структурних елементів вагона без урахування випадків розвитку небезпечних подій під час руху поїздів. Тобто відмова, що призводить до одночасного виходу з ладу двох і більше структурних елементів вагона, буде вважатись однією відмовою.

Ключові слова: відмови, вагони, технологічний процес виготовлення, структурні елементи, критичні пошкодження.

В работе показано, что описание отказов и оценку технологической надежности вагона необходимо проводить с точки зрения недопустимости образования дефектов, а критические повреждения структурных элементов вагона будут носить характер случайных событий. Поэтому предложено поток таких отказов рассматривать как пуассоновский, то есть такой, которому свойственно отсутствие последствий и ординарности. Последнее свойство имеет место, если рассматривать критические повреждения отдельных структурных элементов вагона без учета случаев развития опасных событий во время движения поездов. То есть отказ, который приведет к одновременному выходу из строя двух и более структурных элементов вагона, будет считаться одним отказом.

Ключевые слова: отказ, вагоны, технологический процесс изготовления, структурные элементы, критические повреждения.

Exploring the process reliability of the structural elements of the car in terms of non-technological manufacturing defects noted that the reliability decrease is due to the formation of defects, which have the character of violation of the integrity of the structural elements of the car. It is shown that the description of failures and assessment of technological reliability of the car should be carried out from the point of view of the inadmissibility of the formation of defects and critical damage to structural elements of the car will be in the nature of random events. Therefore, the flow of such failures prompted considered as Poisson, that is, which is peculiar to the absence

of effects and ordinary. The latter property is the case, if we consider the critical damage to individual structural elements of the car without taking into account the cases of hazardous events during movement of trains. That is the failure of which will result in the simultaneous failure of two or more structural elements of the car, it will be considered a failure.

Key words: failure, cars, manufacturing process, structural elements, critical damage.

Вступ. Залізничний транспорт в Україні, як і у світі в цілому, займає значну частину ринку послуг перевезень [1, 2]. При цьому вантажні вагони в структурі загальної кількості відмов залізничного транспорту знаходиться на одних з перших позицій.

Технологічну надійність можна охарактеризувати процесами виготовлення вагона, тобто визначальними будуть фізико-механічні та фізико-хімічні властивості виконаних елементів і деталей, а також подальшими процесами з'єднання цих елементів і деталей в окремі вузли та вагон у цілому.

Даний вид надійності повинен описуватись на етапі технологічних процесів виготовлення елементів, деталей, вузлів чи вагона в цілому. Крім того, отримані в процесі виготовлення зазначені елементи з відповідними фізико-механічними та фізико-хімічними властивостями будуть впливати на їх триботехнічні характеристики в процесі експлуатації вагона, а загалом зміна цих властивостей буде визначати рівень технологічної надійності.

В останні роки увагу дослідників різних напрямків привертають властивості робочих поверхонь елементів і деталей, які є ресурсовизначальними для різних видів техніки, у тому числі вантажних вагонів [3-7]. Навчитися створювати поверхні тертя деталей машин із заданими властивостями і управляти фізико-хімічними процесами, що протікають у них, – одне з першочергових завдань, що стоїть перед фахівцями залізничного транспорту, які виготовляють, експлуатують, обслуговують і ремонтують рухомий склад. Знос складових елементів і деталей є дестабілізатором технічного стану вантажних вагонів. Забезпечити

керований ресурс вагонів у даному випадку можливо стабілізацією стаціонарного технічного стану трибосистем, отже експлуатаційних властивостей елементів і деталей. Останнє досягається за допомогою застосування різних технологій, спрямованих на підвищення фізико-механічних і триботехнічних характеристик деталей [4, 5, 7, 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світовій практиці якість технології оцінюється не тільки високими технічними, але й економічними показниками [1-3]. Перевага віддається високоефективним безвідходним і ресурсозберігаючим технологіям, які забезпечують високу якість і надійність виробів. Особливу цінність технології набувають у тому випадку, якщо вони, використовуючи відходи виробництва, забезпечують деталям властивості, які не поступаються існуючим.

Успішне вирішення цих завдань полягає, по-перше, у розробленні нових технологій підвищення надійності, довговічності і зносостійкості; по-друге, в узагальненні розрізних експериментальних даних за механізмом зносу з метою створення загальної бази даних «тертя-знос-руйнування» різного роду матеріалів від початку їх виготовлення до повного руйнування. А після необхідно проводити пошуки і розробляти нові технології виготовлення елементів і деталей, які знижують знос, підвищують фізико-механічні та триботехнічні властивості матеріалів на стадії їх виготовлення і обробки.

З іншого боку, підвищення ресурсу і довговічності елементів і деталей вантажних вагонів пов'язано з необхідністю застосування різних способів

зміцнення деталей, експлуатаційні властивості яких – зносостійкість, динамічна і циклічна міцність – повинні перевищувати відповідні показники для нових деталей. Тому технологія зміцнення деталей вантажних вагонів повинна базуватися на застосуванні таких способів і засобів зміцнення і механічної обробки, які поряд з високою продуктивністю дозволяють не тільки зберегти, але і істотно підвищити довговічність елементів і деталей [4-11]. Таким чином, однією з проблем підвищення зносостійкості і довговічності елементів і деталей вантажних вагонів стає розроблення нових ефективних і екологічно чистих технологій зміцнення.

Одними з основних якісних показників, що визначають надійність вагонів, є технологічна та експлуатаційна спадковість їх складових елементів (деталей). Ці явища визначаються в готовій конструкції вагона і технологією виготовлення його складових елементів (деталей), а також умовами та режимами його експлуатації. Зокрема технологічна спадковість виражається в перенесенні геометричних і фізико-механічних властивостей елементів вагона (деталі, з'єднання, складальні одиниці) від попередніх технологічних операцій до подальших. У свою чергу явище експлуатаційної спадковості пов'язано не тільки з особливостями прийнятого технологічного процесу, а й вибором раціональної конструкції розглядуваного вузла вагона з умовами і режимами експлуатації. Дослідження технологічної та експлуатаційної спадковості дозволяє розкрити механізм формування комплексу діючих факторів, від яких певною мірою залежить працездатність вагона в цілому у визначених умовах експлуатації.

Для багатьох елементів вагона критерієм, що визначає ресурс окремих деталей, є їх знос, тобто поступова зміна розмірів і форми робочих поверхонь, а також властивостей їх матеріалів. При

цьому збільшуються зазори в з'єднаннях рухомих деталей і порушується щільність нерухомих посадок. Виниклі дефекти і пошкодження призводять до порушення режиму роботи вагона в цілому і до його передчасних відмов.

Визначення мети та задачі дослідження. У роботі необхідно провести опис відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів. При цьому слід надати оцінку технологічної надійності вагона, розглянути потоки відмов, яким властива відсутність наслідків і ординарності та описати критичні пошкодження окремих структурних елементів вагона без урахування випадків розвитку небезпечних подій під час руху поїздів.

Основна частина дослідження. Досліджуючи технологічну надійність структурних елементів вагона з точки зору неприпустимості технологічних дефектів під час виготовлення (відливання, прокат, волочіння, штампування тощо), слід зазначити, що зниження надійності відбувається внаслідок однотипних чи багатотипних утворень дефектів (нерухомих дислокацій, що призводять до тріщин, зниження твердості, міцності тощо), що носять характер порушення цілісності структурних елементів вагона. Тому технологічну надійність вагона умовно можна розбити на кілька підсистем, кількість яких буде досить невеликою. Кожна з цих підсистем виходить з ладу внаслідок відмов тільки однотипних елементів, тобто її можна розглядати як систему, що складається з однотипних елементів i -го типу (де $i = 1, 2, \dots, k$). Розрахувавши надійність кожної з підсистем, за відомими правилами можна легко обчислити результуючу технологічну надійність вагона в цілому. На рівні технології виготовлення вагона будемо вважати, що в структурних елементах відсутні зносні відмови (оскільки не відбувається на цьому етапі взаємодія елементів), а всі відмови будуть мати

характер випадкових подій. У цьому випадку з прийнятною для практичних розрахунків точністю можна вважати, що потік відмов у процесі виготовлення є однорідним пуассонівським. Для таких потоків кількість відмов на будь-якому проміжку часу буде розподілена за законом Пуассона з параметром λt , тобто ймовірність того, що на прогнозованому відрізку часу відбудеться m відмов структурних елементів вагона, буде розраховуватись відповідно до виразу [12, 13]

$$Q_m(t) = \frac{(N\lambda t)^m}{m!} \exp(-N\lambda t), \quad (1)$$

де N – кількість структурних елементів у розглядуваній системі вагона.

Ймовірність безвідмовної роботи розглядуваної системи вагона в цьому випадку буде підпорядковуватись експоненціальному закону розподілу:

$$P_0(t) = \exp(-N\lambda t). \quad (2)$$

Підставивши m , N , λt у формулу (1), отримаємо ймовірність того, що за час t відбудеться $0, 1, 2, \dots, m$ відмов структурних елементів відповідної системи вагона.

Для спрощення процесу визначення ймовірної кількості відмов структурних елементів вагона за визначений період доцільно побудувати сімейство кривих, що будуть вказувати на залежність m від параметра розподілу λt і кількості структурних елементів N розглядуваної системи вагона. Для зручності користування такими кривими аргументом приймемо узагальнений параметр $N\lambda t$. Діапазон можливих значень зазначеного

параметра виберемо в інтервалі $0 \dots 10$, що відповідає існуючим технічним даним. Щоб визначити, при яких значеннях параметра досягаються максимальні ймовірності відмов структурних елементів вагона m , тобто екстремуми функцій, треба обчислити першу похідну від виразу (2) за параметром і прирівняти її до нуля. У результаті отримаємо

$$\frac{dq_m(t)}{d(N\lambda t)} = \frac{(N\lambda t)^m}{m!} \exp(-N\lambda t) \left(\frac{m}{N\lambda t} - 1 \right). \quad (3)$$

Приймаючи, що

$$\frac{dq_m(t)}{d(N\lambda t)} = 0, \quad (4)$$

отримаємо

$$\frac{m}{N\lambda t} - 1 = 0, \quad (5)$$

або

$$N\lambda t = m. \quad (6)$$

Таким чином, виявлено просту закономірність відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення. Модою (найбільш імовірним значенням) кількості відмов m для узагальненого параметра $N\lambda t$ є саме значення цього параметра.

На рисунку нижче наведемо залежності $q_m(t) = f(N\lambda t)$. Цікавим є те, що математичне очікування кількості відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів відповідає значенню узагальненого параметра $N\lambda t$.

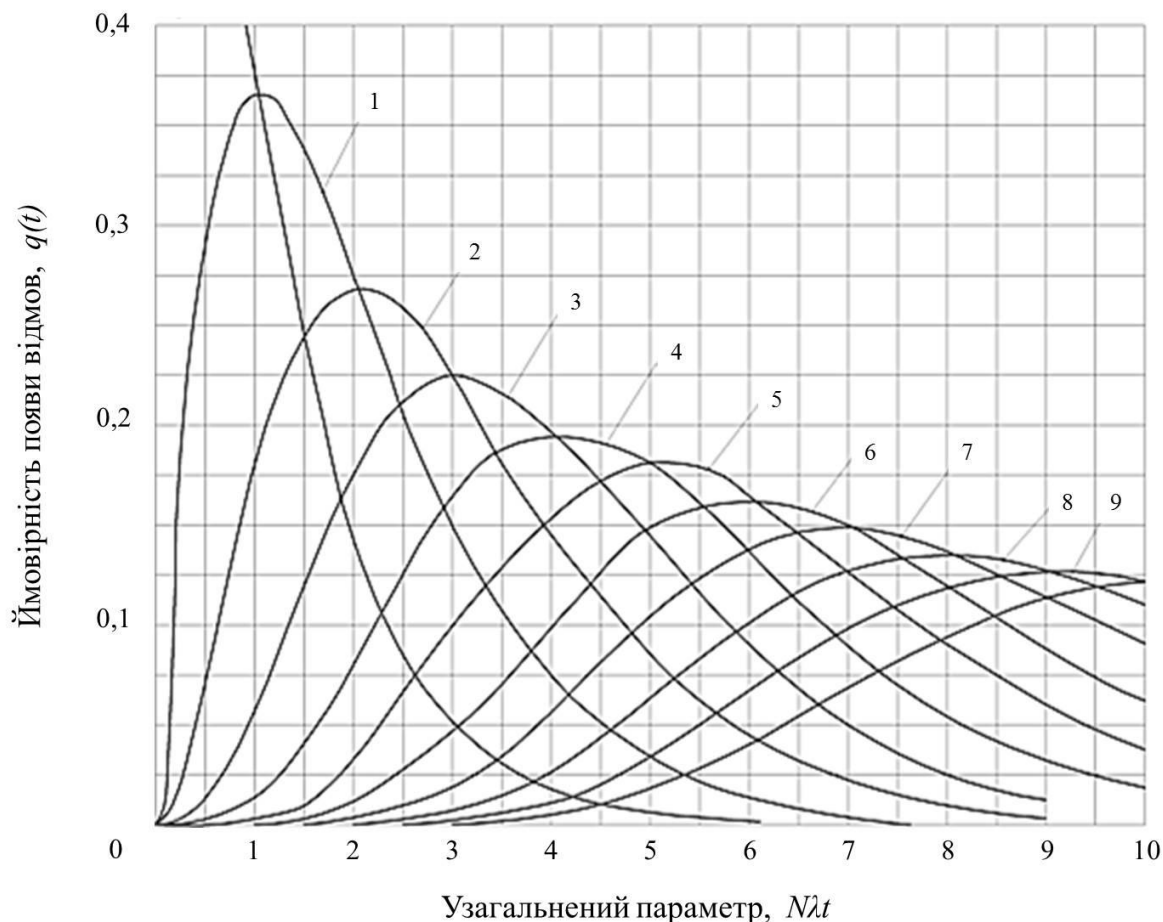


Рис. Залежність імовірності появи відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів від величини узагальненого параметра

Очевидно, що математичне очікування кількості відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення буде дорівнювати

$$M(m) = \sum_{j=1}^{\infty} [mj q_{mi}(t)]. \quad (7)$$

У практичних розрахунках без зниження точності обчислень можна обмежитися кінцевим числом $j = r$. Тоді, прийнявши, що $r = N\lambda t = 10$, отримаємо

$$\begin{aligned} M(m) &= N\lambda t \exp(-N\lambda t) + \frac{(N\lambda t)^2}{1!} \exp(-N\lambda t) + \frac{(N\lambda t)^3}{2!} \exp(-N\lambda t) + \\ &+ \frac{(N\lambda t)^4}{3!} \exp(-N\lambda t) + \dots = \\ &= N\lambda t \exp(-N\lambda t) \left[1 + \frac{(N\lambda t)^2}{1!} + \frac{(N\lambda t)^3}{2!} + \frac{(N\lambda t)^4}{3!} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Послідовність у квадратних дужках являє собою ряд, що збігається та має суму, рівну $\exp(N\lambda t)$. Підставляючи останнє значення у формулу (7), отримаємо

$$M(m) = N\lambda t, \quad (9)$$

тобто математичне очікування кількості відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення також дорівнює значенню узагальненого параметра.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Оцінку технологічної надійності вагона необхідно проводити з

точки зору неприпустимості утворення дефектів, а критичні пошкодження структурних елементів вагона будуть носити характер випадкових подій. При цьому потік таких відмов можна розглядати як пуассонівський, тобто такий, якому властива відсутність наслідків і ординарності. Остання властивість матиме місце, якщо розглядати критичні пошкодження окремих структурних елементів вагона без урахування випадків розвитку небезпечних подій під час руху поїздів. Тобто відмова, що призводить до одночасного виходу з ладу двох і більше структурних елементів вагона, буде вважатись однією відмовою.

Список використаних джерел

1. Myamlin, S.V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Текст] / S.V. Myamlin, D.M. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 61-66.
2. Мямлін, С. В. Проблема визначення терміну «надійність». Методологія побудови та вивчення надійності вантажних вагонів [Текст] / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, Д. М. Барановський // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 110–117. – doi: 10.15802/stp2015/57034.
3. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / Sergey Myamlin, Leonas Povilas Lingaitis, Stasys Dailydka, Gediminas Vaiciunas, Marijonas Bogdevicius, Gintautas Bureika // Transport. – 2015. – Vol. 30, Iss. 1. – P. 88–92.
4. Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин [Текст] / М. А. Балтер. – М.: Машиностроение, 1978. – 182 с.
5. Барановський, Д. М. Визначення залишкового ресурсу трибосистем [Текст] / Д.М. Барановський // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – №4. – С. 127–129.
6. Мурадян, Л. А. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес [Текст] / Л.А. Мурадян, В.Г. Анофриев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 206–210.
7. Мурадян, Л. А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності [Текст] / Л. А. Мурадян // Вісник НТУ «ХПІ» Сер. Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.127–130.
8. Барановський, Д. М. Самоорганізація структур в процесі дисипації [Текст] / Д.М. Барановський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 8 (39). – С. 28–30.
9. Костецкий, Б. И. Структурно-энергетические основы управления трением и износом в машинах [Текст] / Б.И. Костецкий. – К.: Знание, 1990. – 31 с.

10. Иванова, В. С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов [Текст] / В. С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 160 с.
 11. Елизаветин, М. А. Технологические способы повышения долговечности машин [Текст] / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с.
 12. Булинский, А. В. Теория случайных процессов [Текст] / А.В. Булинский, А.Н. Ширяев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 408 с.
 13. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.
-

Мурадян Леонтій Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (050) 340-28-01.

Muradian Leonti, Phd. techn., Associate Professor, Department "Cars and Carriage Facilities", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel.: (050) 340-28-01.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.

УДК 629.463.65

УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд.техн. наук А. О. Ловська, Б. В. Ігнат'єв, А. О. Бабкін

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд.техн. наук А. А. Ловская, Б. В. Игнат'ев, А. О. Бабкин

IMPROVEMENTS IN SUPPORTING STRUCTURE OF FLAT-WAGON FOCUSED ON HIGHER OPERATIONAL EFFICIENCY

Candidate of technical sciences A. A. Lovskaya, B. V. Ignatev, A. O. Babkin

У статті наведено результати досліджень міцності несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження. Виявлено запаси міцності основних елементів несучої конструкції та запропоновано заходи щодо їх оптимізації за критерієм зменшення металоемності. Результати проведених розрахунків на міцність удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks дозволили зробити висновок про доцільність прийнятих рішень.

Ключові слова: вагон-платформа, несуча конструкція, оптимізація, напружено-деформований стан, міцність.

В статье представлены результаты исследования прочности несущей конструкции вагона-платформы при эксплуатационных режимах нагружения. Определены запасы прочности основных элементов несущей конструкции и предложены мероприятия по их оптимизации по критерию уменьшения металлоемкости. Результаты проведенных

расчетов на прочность усовершенствованной несущей конструкции вагона-платформы в среде программного обеспечения CosmosWorks позволили сделать вывод о целесообразности принятых решений.

Ключевые слова: вагон-платформа, несущая конструкция, оптимизация, напряженно-деформированное состояние, прочность.

The article presents the results of research into stability of the supporting structure of a 13-4012 model flat-wagon for transportation of wheel sets, track-type equipment, freight in case packing, containers, metal structures, long-length and industrial goods which do not require covering and protection from weather effects in operational loading modes. The structural factors of safety for basic elements of the supporting structure have been defined and measures on their optimization by criterion of lower metal consumption have been proposed. Also the authors propose to replace the basic longitudinal beam of a flat-wagon (an H-beam in a standard structure) for the U-profile beam enforced with shields. It will allow reducing the mass of spring-suspended parts of the wagon and also reduce the cost of manufacturing flat-wagon of new designs.

So that to ground the solution proposed the article presents calculation of the improved flat-wagon structure based on computer stability stimulation applying the finite-element method. The results of the stability calculations have made it possible to conclude about usefulness of the decisions taken.

On the base of the research conducted one can conclude that the measures regarding improvements in the supporting structure of a flat-wagon allow decreasing the material consumption maintaining the required stability and increasing operational efficiency in intermodal container transportation.

Keywords: flat-wagon, bearing construction, optimization, strength-deformed state, strength.

Вступ. Підвищення об'ємів перевезень вантажів через територію України, яка є ланкою найважливіших міжнародних транспортних коридорів, зумовило створення та введення в експлуатацію комбінованих транспортних систем.

Відомо, що одним з найбільш затребуваних видів рухомого складу при комбінованих перевезеннях є вагони-платформи. Для забезпечення ефективності перевізного процесу необхідним є розроблення та впровадження в експлуатацію вагонів-платформ нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками.

Відповідно до постанови КМУ № 1390-2009-п від 16.12.2009 р. "Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки", метою якої є розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг, підвищення ефективності його функціонування, а також

задоволення потреб національної економіки та населення в перевезеннях, необхідним є створення рухомого складу нового покоління з підвищеними техніко-економічними показниками, а також комбінованих систем транспорту, що забезпечить підвищення об'ємів перевезень вантажів через міжнародні транспортні коридори.

Недостатній рівень поповнення вагонного парку ПАТ «Укрзалізниця» за останні роки зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів для здійснення потреб у перевезеннях завданої номенклатури вантажів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження міцності вагона-платформи нового покоління з поворотною рамою для перевезення контейнерів і завантаження-розвантаження їх за системою ACTS наведені в роботі [1].

Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи при навантаженні її контейнерами проведено за методом скінчених елементів у середовищі програмного забезпечення Nastran.

Визначення показників міцності вагона-платформи для перевезення контейнерів і завантаження-розвантаження їх за системою ACTS проводиться в роботі [2]. При цьому розрахунок на міцність проведено у статистиці в середовищі програмного забезпечення Nastran. Чисельні значення розрахункових навантажень, які діють на вагон-платформу, прийняті відповідно до нормативів PNEN12663 та BN – 77/3532 – 40.

Дослідження динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в роботі [3]. Розрахунок проведено в середовищі програмного забезпечення MSC Adams. Дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося при його вписуванні у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху.

Слід зазначити, що в роботах [1-3] для підвищення ефективності контейнерних перевезень пропонується створення вагонів-платформ нового покоління, але це вимагає значних капітальних вкладень. Тому більш доцільним є переобладнання існуючих конструкцій вагонів-платформ під контейнерні перевезення, як невід'ємної складової транспортної логістики України.

Перспективи створення вагонів нового покоління з застосуванням нетипових несучих елементів у їх конструкціях наведені в роботі [4]. Дослідження проведено стосовно універсального напіввагона. При цьому не приділяється уваги питанням оптимізації несучої конструкції вагона-платформи, як найбільш поширеного типу вагона при комбінованих перевезеннях.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень, які наведені в статті, є удосконалення несучої конструкції вагона-платформи з метою

забезпечення його міцності в експлуатації. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Провести дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-4012 в умовах експлуатаційних режимів навантажень.

2. Провести дослідження щодо можливості оптимізації елементів несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-4012.

3. Розробити удосконалену несучу конструкцію вагона-платформи та провести дослідження міцності його несучої конструкції в умовах експлуатаційних режимів навантажень.

Основна частина дослідження. З метою дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи побудовано його просторову модель (рис. 1, а) у середовищі програмного забезпечення SolidWorks (версія 2015). Для виявлення зон несучої конструкції вагона-платформи, які зазнають найбільших напружень в експлуатації, проведено розрахунок на міцність за методом скінчених елементів у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks [5]. При визначенні кількості елементів сітки застосовано графо-аналітичний метод. У якості скінчених елементів застосовувалися десятивузлові ізопараметричні тетраедри.

Кількість елементів сітки при складанні скінченоелементної моделі склала 464673, вузлів – 152074. При цьому максимальний розмір елемента склав 160 мм, мінімальний – 32 мм, максимальне співвідношення боків – 2103,8, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 13,3, більше 10 – 25,2. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. При складанні моделі не враховано зварні шви в зонах взаємодії окремих елементів конструкції кузову між собою. У якості матеріалу несучої конструкції вагона-платформи застосована сталь марки 09Г2С.

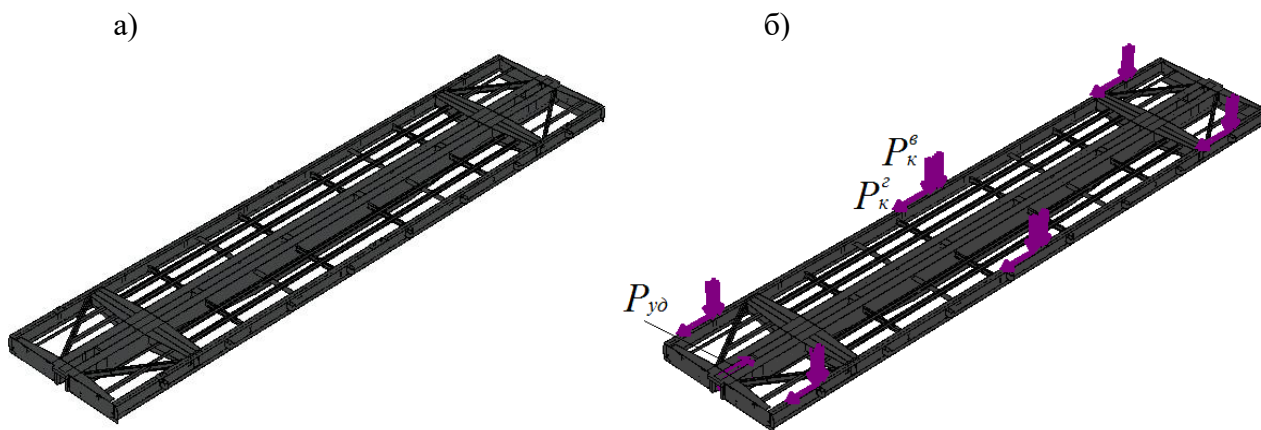


Рис. 1. Несуча конструкція вагона-платформи моделі 13-4012 з урахуванням заходів щодо її удосконалення: а – просторова модель; б – модель міцності

Модель міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням навантажень, які діють на нього від контейнерів типорозміру 1СС при I розрахунковому режимі, наведена на рис. 1, б. Ударне навантаження P_{yd} при цьому прикладено до вертикальної поверхні заднього упору автозчепу та дорівнює 3,5 МН [6].

У вертикальній площині на фітинговий упор діє навантаження P_k^e від ваги бруто контейнера, а в горизонтальній – реакція P_k^z , що виникає між фітингом контейнера та фітинговим упором вагона-платформи при ударі в задній упор автозчепу.

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок, що найбільша величина

напружень виникає при I розрахунковому режимі (удар), зосереджена в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою, і складає близько 330 МПа (табл. 1), що нижче за напруження плинності матеріалу конструкції на 4 % [6]. Максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині основних повздовжніх балок рами та складають – 17,3 мм, деформації в конструкції становлять $2,68 \cdot 10^{-3}$.

З метою зменшення матеріалоємності несучої конструкції вагона-платформи пропонується проведення заходів щодо її оптимізації. Розрахунок на міцність типової несучої конструкції вагона-платформи показав, що основні повздовжні балки рами при дії максимальних навантажень на раму мають значний запас міцності – близько 2.

Таблиця 1
Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження

| Показник | Режим навантаження | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | удар (I р.р.) | стиснення (I р.р.) | ривок-розтягнення (I р.р.) | удар-стиснення (III р.р.) | ривок-розтягнення (III р.р.) |
| Напруження, МПа | 328,7 | 292,5 | 277,6 | 203 | 181 |
| Переміщення у вузлах, мм | 17,3 | 17,1 | 12,8 | 15,9 | 13,5 |
| Деформації | $2,68 \cdot 10^{-3}$ | $2,64 \cdot 10^{-3}$ | $2,76 \cdot 10^{-3}$ | $4,66 \cdot 10^{-3}$ | $3,12 \cdot 10^{-3}$ |

Відомо, що при ударі значення запасу міцності конструкції приймається рівним 1. Тому здійснено підбір більш оптимального перерізу основної повздовжньої балки рами з точки зору забезпечення її мінімальної матеріалоемності. У якості розрахункового використано метод оптимізації за резервом міцності.

Цільова функція має вигляд

$$M_{\text{ВПФ}} \rightarrow \min.$$

Обмеження оптимізаційної моделі:

1. Максимальні еквівалентні напруження повинні бути меншими за допустимі (у якості допустимих прийнято напруження плинності матеріалу $\sigma_{\text{пл}}$), тобто $\sigma_{\text{екв}} \leq \sigma_{\text{пл}}$.

2. Геометрія обраного профілю бокової повздовжньої балки вагона-платформи повинна забезпечувати можливість розміщення на ній фітингових упорів для кріплення контейнерів.

Момент інерції двотавра №30, з якого складається основна повздовжня балка рами вагона-платформи типової конструкції, складає $I_x = 574,65 \text{ см}^4$ та $I_y = 9672,95 \text{ см}^4$, звідси момент опору дорівнює $W_x = 85,13 \text{ см}^3$ та $W_y = 644,86 \text{ см}^3$.

З урахуванням максимальних еквівалентних напружень в основній повздовжній балці та запасу її міцності встановлено, що оптимальним буде переріз з моментом опору 121 см^3 .

Проведений аналіз типових прокатних профілів за сортаментом сталей дозволив зробити висновок, що найбільш оптимальним є застосування в якості профілю основної повздовжньої балки – швелера №18, підсиленого вертикальними накладками. Просторова модель несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення наведена на рис. 2, а.

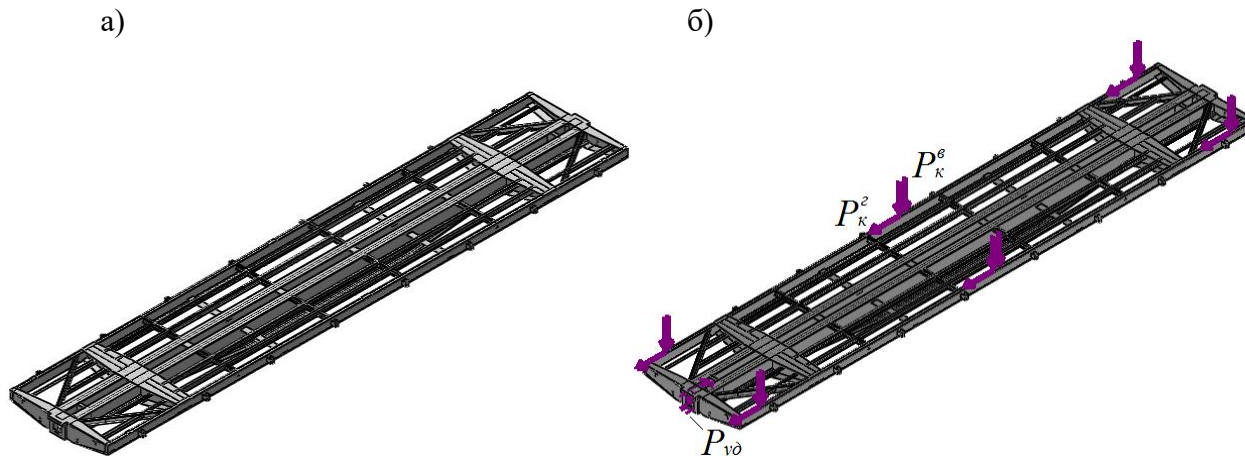


Рис. 2. Несуча конструкція вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення: а – просторова модель; б – модель міцності

З метою дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення проведено розрахунок за методом скінчених елементів. Кількість елементів сітки склала 346559, вузлів – 119284. При

цьому максимальний розмір елемента склав 140 мм, мінімальний – 28 мм, максимальне співвідношення боків – 814,76, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 14,5, більше 10 – 25,9. Мінімальна кількість елементів у колі склала 14,

співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,9.

Модель міцності несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо його удосконалення наведено на рис. 2, б. Позначення сил у моделі аналогічно зазначеним вище для розрахунку типової конструкції вагона-платформи. Результати розрахунку несучої конструкції вагона-платформи удосконаленої конструкції при I розрахунковому режимі (удар) наведені на рис. 3, а чисельні значення показників міцності при основних режимах навантаження – у табл. 2.

З табл. 2 видно, що найбільша величина напружень виникає при I розрахунковому режимі (удар), зосереджена в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою, і складає близько 330 МПа (рис. 3, а), але не перевищує допустимі, максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині основних повздовжніх балок рами та складають – 18,3 мм (рис. 3, б), деформації в конструкції становлять $3,38 \cdot 10^{-3}$ (рис. 3, в).

Таблиця 2

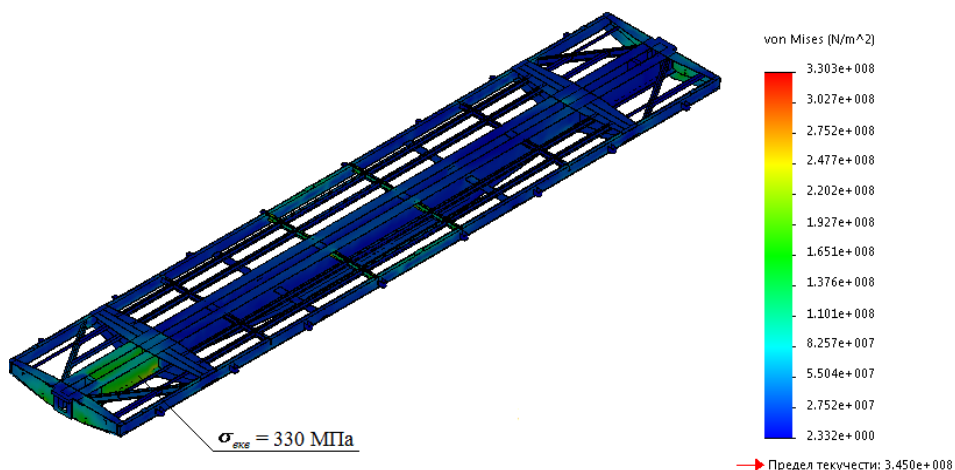
Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження

| Показник | Режим навантаження | | | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| | удар (I р.р.) | стиснення (I р.р.) | ривок- розтягнен- ня (I р.р.) | удар- стиснення (III р.р.) | ривок- розтяг- нення (III р.р.) |
| Напруження, МПа | 330 | 303 | 324,5 | 328,8 | 326,1 |
| Переміщення у вузлах, мм | 18,3 | 18 | 14,6 | 17 | 15,4 |
| Деформації | $3,38 \cdot 10^{-3}$ | $3,24 \cdot 10^{-3}$ | $3,3 \cdot 10^{-3}$ | $3,22 \cdot 10^{-3}$ | $3,22 \cdot 10^{-3}$ |

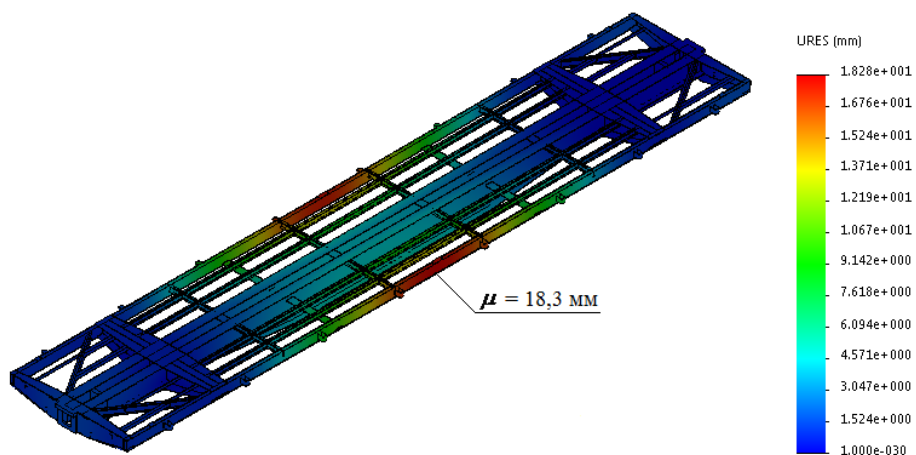
Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропоновані заходи щодо удосконалення несучої конструкції вагона-платформи

дозволять зменшити його матеріалоємність більш ніж на 20 % порівняно з типовою конструкцією при забезпеченні умов міцності, а також підвищити ефективність експлуатації при комбінованих контейнерних перевезеннях.

а)



б)



в)

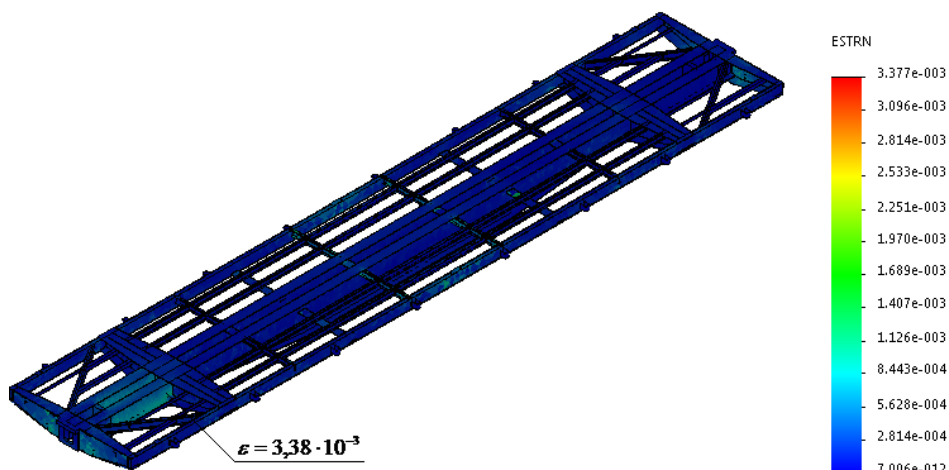


Рис. 3. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона-платформи при I розрахунковому режимі (удар) з урахуванням заходів щодо його удосконалення: а – напружений стан; б – переміщення у вузлах; в – деформації

Список використаних джерел

1. Karol Chlus. Dynamic analysis of railway platform chassis model [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, No. 2. – P. 93-100.
2. Karol Chlus. Numerical standard tests of railway carriage platform [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 3. – P. 59-64.
3. Tadeusz, Niezgodna. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software [Text] / Tadeusz Niezgodna, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495 – 502.
4. Kelrykh, M. B. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M.B. Kelrykh, O.V. Fomin // Metallurgical & Mining Industry. – 2014. – №. 6.
5. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский. – М.: ДМК. – 2007. – 784 с., ил. (Сер. Проектирование).
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Ловська Альона Олександрівна канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail.: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.
Ігнат'єв Богдан Вікторович, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.
Бабкін Андрій Олександрович, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.

Lovskaya Alyona Aleksandrovna candidate of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport tel.: (057)730-10-35
Ignat'ev Bogdan Viktorovich student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport
Babkin Andriy Oleksandrovich student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.

УДК 658.562: 629.421.1

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВИХ ПЕРЕДАЧ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Инж. В. І. Бульба

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ ПЕРЕДАЧ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Инж. В. И. Бульба

ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF TRACTION TRANSFERS OF ELECTRIC TRAINS

Eng. V. I. Bulba

Предметом даного дослідження є розроблення технології оцінки технічного стану тягових передач електропоїздів. У її основу покладено підходи з фрактального аналізу віброакустичних сигналів. Як діагностичний параметр запропоновано фрактальний показник Херста. Визначено чисельні діапазони його зміни та їх безпосередній зв'язок з

виникаючими дефектами. Це дозволяє оцінювати технічний стан тягових передач і прогнозувати на майбутнє їх працездатність в експлуатації.

Ключові слова: вібрація, контроль, показник Херста, прогнозування, сигнал, тягова передача, фрактал, електропоїзд.

Предметом данного исследования является разработка технологии оценки технического состояния тяговых передач электропоездов. В ее основу положены подходы по фрактальному анализу виброакустических сигналов. В качестве диагностического параметра предложен фрактальный показатель Херста. Определены численные диапазоны его изменения и их непосредственная связь с возникающими дефектами. Это позволяет оценивать техническое состояние тяговых передач и прогнозировать на будущее их работоспособность в эксплуатации.

Ключевые слова: вибрация, контроль, показатель Херста, прогнозирование, сигнал, тяговая передача, фрактал, электропоезд.

Subject of the given research is development of technology of an estimation of a technical condition of traction transfers of electric trains. Approaches are put in her basis on фрактальному to the analysis vibrating acoustics signals as temporary numbers which are determined at carrying out of scheduled procedural works. For this purpose the wheel pair with a traction reducer is suspended above rails on hydraulic jacks. Further on the traction electric motor the lowered voltage of a meal which forces wheel pair to rotate moves. After that the vibrating gauge in the certain place removes a signal and enters the name on a digital dictophone. As diagnostic parameter it is offered fractal Hurst's parameter. Are certain numerical ranges of his change and their direct communication with arising defects. Examples of revealing of defects in traction transfers on the basis of hit of numerical value of a parameter of Hurst in the certain interval are resulted. It allows to estimate a technical condition of traction transfers and to predict on the future their working capacity in operation.

Keywords: vibration, the control, Hurst's parameter, forecasting, signal, traction transfer, fractal, electric train.

Вступ. Для передачі потужності на електропоїздах існує спеціальний тяговий привод – електродвигуни, обертання якоря яких передається безпосередньо на ведучу колісну пару.

Через свої конструктивні особливості доступ до тягового привода при експлуатації й обслуговуванні ускладнено, що створює певні проблеми у визначенні його технічного стану. Все це вимагає впровадження сучасних системних методів і технічних засобів для одержання актуальних об'єктивних даних про його працездатність. До них, насамперед, варто віднести віброакустичну діагностику, що дозволяє без розбирання цього механізму одержати сигнал, що несе в собі всю необхідну інформацію про технічний стан

тягового привода. У той же час виявлення дефектів зубчастих коліс тягового редуктора на основі акустичних сигналів і методика аналізу звукового сигналу по своїй суті й використовуваних методах є дуже багатоплановим завданням і дотепер повною мірою не вирішено. Це у свою чергу дозволяє впевнено говорити про актуальність даного напрямку досліджень, до якого належить прогнозування технічного стану тягових передач електропоїздів на основі фрактального аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час існує значна кількість фізичних методів неруйнуючого контролю, які застосовуються у практиці контролю якості матеріалів і виробів. Серед

них особливе місце займає акустичний контроль, заснований на застосуванні пружних коливань, збуджуваних або виникаючих в об'єкті контролю [1]. У роботі [2] викладено фізичні основи, методи й засоби акустичного контролю – одного з найпоширеніших, що швидко розвиваються, видів неруйнуючого контролю. При цьому в ній не зовсім чітко розкриваються положення про те, що неруйнуючий контроль і діагностика являють собою важливі складові проблеми безпеки. У дослідженнях [3] розглядаються загальні положення технічної діагностики тягових передач, а також аналізуються властивості акустичного шуму й вібрації. Особливий акцент робиться на аналіз спектральних складових отриманого сигналу, однак не виділяються конкретні критерії, за якими можна визначити технічний стан об'єкта. У роботі [4] розглянуто питання акустичної діагностики машин, розповсюдження коливальної енергії по машинних конструкціях і методи зниження рівнів їхніх шумів і вібрацій. У той же час у ній не розкриваються повністю джерела зародження і причини, що їх породжують. Дослідження [5] присвячено розгляду методів акустичної діагностики. Воно передбачає аналіз шумового сигналу, який пов'язаний з роботою механізму, але практично не розкриває, як його можна використовувати надалі. Публікація [6] присвячена віброакустичним методам, що використовуються для виміру низькочастотних і високочастотних коливань систем і елементів транспортних засобів. Однак у ній не розкриваються повною мірою підходи до прогнозування технічного стану. У роботі [7] розглянуто метод обробки акустичного WAV-файлу на комп'ютері. Як недолік, у ній не наводиться застосування вейвлетного розкладання комп'ютерного сигналу на коригувальні коефіцієнти, що не дозволяє повною мірою оцінити рівень його зашумленості. У роботі [8] розглянуто частотний аналіз

стаціонарних акустичних сигналів, який здійснюється за допомогою фільтрів і заснований на швидкому перетворенні Фур'є. Статистичним проблемам виділення сигналів з технічних об'єктів велика увага приділена в дослідженнях [9-12], а в роботі [13] описано питання їхньої фільтрації, дискретизації, а також властивості кореляційних функцій. Слід зазначити, що всі перераховані вище дослідження спираються за своєю суттю тільки на спектральний аналіз Фур'є. Їх недолік полягає в тому, що отримані результати дозволяють охарактеризувати тільки частотний склад вимірюваного сигналу, без прив'язки його складових до певного часового інтервалу. А це у свою чергу не дає можливість вірогідно прогнозувати стан досліджуваного об'єкта.

Останнім часом зростаючий інтерес проявляється до пошуку моделей нелінійного (хаотичного) поведіння сигналів, які можуть уловлювати дуже складні динамічні процеси [14]. У цьому значенні найбільш адекватним математичним апаратом для дослідження динаміки й структури таких процесів є фрактальний аналіз [15]. Його особливе значення полягає в тому, що він здатний урахувувати поведінку системи не тільки в період вимірів, але його передісторію [16-17]. Як приклад, у цьому напрямку можна виділити дослідження з застосуванням фрактального аналізу в геології [18], медицині [19], хімії [20], фізичних науках [21], комп'ютерній графіці [22] і сейсмографії [23]. Однак у них недостатньо розкриваються властивості отриманих часових рядів і нечітко розкрито ознаки в застосуванні показника Херста від інших статистичних методів.

Таким чином, фрактальний аналіз часового ряду, до якого пропонується відносити отриманий віброакустичний сигнал, являє собою вирішення складного комплексного науково-технічного завдання, для якого розроблена наступна технологія. Це послужило у свою чергу

відправною точкою з застосування даного напрямку для прогнозування технічного стану тягових передач електропоїздів на основі фрактального аналізу.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення нової технології для прогнозування технічного стану тягових передач електропоїздів на основі методів фрактального аналізу. Вона повинна за мінімальний час оцінити технічний стан і визначити їхню працездатність між виконанням планових поточних видів ремонту.

Основна частина дослідження. Говорячи про вібраційний контроль, слід зазначити, що сьогодні значна кількість локомотиворемонтних підприємств має сучасні потужні засоби вібраційного контролю, до яких належать "Вектор-2000" і "Прогноз-1" [3]. Їх основне призначення – діагностика й прогноз ресурсу вузлів обертання, таких як підшипники кочення й ковзання, ротори, сполучні муфти, шестірні, ремені, робочі колеса потокостворюючих агрегатів, електромагнітні системи електричних машин. Однак застосування цих пристроїв на регламентних видах ТО-3 і ПР-1 електропоїздів практично неможливо через значні витрати часу на проведення діагностування з зіставленням часу простою на них.

Із цією метою була розроблена нова технологія одержання віброакустичного сигналу з його наступною обробкою. Суть її полягає в такому.

Перед початком вимірів колісну пару моторного вагона електропоїзда піднімають за допомогою гідравлічних домкратів на висоту 5-7 мм над головкою рейки. Після цього на тяговий електродвигун, що зв'язаний з тяговою передачею, яка перевіряється, подають знижену напругу від зварювальної живильної мережі. Ретельно очищають місце знімання сигналу на кожусі тягового редуктора від бруду. Коли колісна пара почне стійке обертання,

прикладають вібродатчик до кожуха тягового редуктора у встановленому місці й протягом декількох секунд записують віброакустичний сигнал на цифровий диктофон. Після запису віброакустичного сигналу його пересилають на комп'ютер для подальшої обробки.

Одним із сучасних напрямків у розробленні фрактальних методів аналізу й прогнозування часових систем є метод Херста, або **R/S-метод**, що одержав також назву методу нормованого розмаху. Даний емпіричний метод був запропонований для статистичного аналізу часових рядів ще на початку ХХ століття Херстом [26]. Цей метод дослідження добре відомий у статистичній практиці економіки й фінансів [27]. Однак у технічних науках його поширення іноді обмежується труднощами фізичної інтерпретації. У той же час метод Херста, який є робастним, дозволяє виявити в статистичних даних такі властивості, як кластерність, тенденція слідувати за напрямком тренду, сильна післядія, належна пам'ять, швидка зміна послідовних значень, фрактальність, наявність періодичних і неперіодичних циклів, здатність розрізнити "стохастичну" і "хаотичну" природу шуму й т. д. Крім основної роботи Г. Херста в розвитку теорії **R/S-методу** й застосуванні її на практиці, значну роль відіграла робота Б. Мандельброта [17]. Вона ґрунтується на так званому методі накопиченого відхилення (або методі нормованого розмаху). Відповідно до цього методу аналізуються не суми даних, з яких складається динамічний часовий ряд, а розмах суми відхилень цих даних від середнього арифметичного, нормований шляхом ділення на стандартне відхилення.

Підсумкові дані цих відхилень підраховуються для різних періодів часу (або для різної кількості послідовних моментів спостережень), які виступають як масштаб вимірювання.

Основна відмінність методу нормованого розмаху (або **R/S-методу**

прогнозу) від інших існуючих статистичних методів для аналізу часових рядів полягає в тому, що даний метод включає у свій аналіз напрямок часу, у той час як інші відомі методи стосовно цього часу інваріантні.

Вирішення завдання методу **R/S**-прогнозу на основі аналізу віброакустичного сигналу полягає в такому. Насамперед необхідно встановити, чи є досліджуваний ряд фрактальним або просто стохастичним процесом. З цією метою визначається фрактальна розмірність **D** як

$$D = 2 - H, \quad (1)$$

де **H** – показник Херста.

Якщо отримане значення **D** дробове і складає більше одиниці (**D** > 1), то можна вважати, що досліджуваний часовий ряд є фрактальним і має всі необхідні особливості для його фрактальної оцінки.

Порядок визначення показника Херста полягає в такому. Щодо віброакустичного сигналу приймаємо, що він являє собою часову залежність **y(t)** з різними значеннями величин амплітуд **y** протягом дискретних цілочисельних моментів часу **t**. Уявімо собі, що **y** є деякою накопиченою величиною, яка може бути представлена як сума деяких елементарних внесків Δt у деякому обмеженому інтервалі часу **t** від 1 до τ . Тоді середнє значення часового ряду буде визначатися як

$$\bar{y}(\tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \Delta y(t), \quad (2)$$

$$\log \left(\frac{R}{S} \right) = \log (a \cdot \tau)^H = H \log (a \cdot \tau) = H [\log (\tau) + \log (a)]. \quad (8)$$

або

$$\bar{y}(\tau) = \frac{y(\tau)}{\tau}. \quad (3)$$

Після цього обчислюється накопичене відхилення ряду $\Delta y(t)$ вимірів від середнього $\bar{y}(\tau)$ як

$$y(t, \tau) = \sum_{i=1}^t [\Delta y(i) - \bar{y}(\tau)]. \quad (4)$$

Різниця між максимальним і мінімальним значеннями (розмахом) процесу **y(t)** на інтервалі часу τ визначається як

$$R = \max_{1 \leq t \leq \tau} y(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} y(t, \tau). \quad (5)$$

Середньоквадратичне відхилення приростів випадкового процесу на інтервалі τ складе

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} [\Delta y(t) - \bar{y}(\tau)]^2}, \quad (6)$$

де $\Delta y(t)$ – елементарний приріст **y(t)** на кроці **t**.

Розмах визначається за співвідношенням

$$R/S = (a \cdot \tau)^H, \quad (7)$$

де **a** – постійна Херста, що обумовлюється як **a** = 0,5.

Далі отримані значення логарифмуються:

Після цього, використовуючи заміну $\log(\tau) = \varphi$ та $H \log(a) = c$, масив апроксимується лінійною залежністю

$$f(\varphi) = H \cdot \varphi + c. \quad (9)$$

Показник Херста знаходиться шляхом визначення тангенса нахилу прямої даної лінійної залежності.

На підставі цього при проведенні досліджень віброакустичні сигнали оброблялися за допомогою вільно розповсюдженої в інтернеті програми Fractan 4.4. Особливістю даної програми є те, що досліджувані сигнали в ній проходять спеціальну обробку й переводяться в цілочисельні ряди, що дозволяє швидше провадити обчислення.

Отриманий при розрахунках показник Херста для віброакустичного сигналу, з погляду оцінки працездатності тягової передачі, можна інтерпретувати в такий спосіб [26].

При знаходженні показника Херста в інтервалі $0 < H < 0,5$ значення досліджуваного часового ряду (сигналу) не є незалежними. Кожне з них несе пам'ять про попередні події. У цьому випадку час є важливим чинником, що впливає на всю систему (тягову передачу в цілому). Даний діапазон відповідає антиперсистентному (ергодичному) ряду, тобто "повернення до середнього". Якщо часовий ряд демонструє зростання в попередній період, то надалі почнеться його спад і можна чекати появи несправності.

При значенні показника Херста $H = 0,5$ досліджувані часові ряди являються собою випадкове блукання. При цьому всі значення є випадковими і некорельованими, тобто сьогодні не впливає на майбутнє (система знаходиться в невизначеному стані).

При знаходженні показника Херста в інтервалі $0,5 < H < 1,0$ значення досліджуваного часового ряду є залежними. Трендостійкість поведінки значень ряду (сила персистентності)

збільшується при наближенні значень H до одиниці. При цьому чим ближче H до значення 0,5, тим більше зашумлений ряд і менше виражений його тренд. Якщо ряд зростає в попередній період, то цю тенденцію він буде зберігати і в майбутньому, тобто поява несправності не очікується.

На рисунку наведено результати розрахунку показника Херста за програмою Fractan 4.4 для двох вібродіагностичних сигналів.

З отриманого значення показника Херста (рис. а) можна зробити висновок про те, що досліджуваний віброакустичний сигнал має фрактальність і не є породженням чисто стохастичного процесу, тому що $D = 2 - 0,5507 = 1,4493$. Отже, до даного сигналу можна застосовувати фрактальні методи з метою виявлення оптимальної конфігурації системи, для якої виконується прогнозування. З погляду прогнозу значення показника Херста знаходиться вище значення 0,5, тому можна зробити висновок, що надалі дана тягова передача буде зберігати задану працездатність, і дефектів у ній на майбутній період не передбачається.

Результати розрахунку показника Херста (рис. б) теж підтверджують його фрактальність, оскільки $D = 2 - 0,4238 = 1,5762$. Однак, з погляду прогнозу, у цьому випадку показник Херста знаходиться нижче значення 0,5 і можна припустити зародження у вузлі дефекту, що надалі може призвести до поломки й виходу з ладу тягової передачі.

За запропонованою технологією на планових видах ТО-3 і ПР-1 перевірялися тягові передачі на електропоїздах, які знаходились в експлуатації. Усього за час проведення випробувань було перевірено 192 тягові передачі. Для більшості з них (близько 86 %) розрахунковий показник Херста знаходився в межах 0,56–0,65. Це приймалося як відсутність у них яких-небудь дефектів і електропоїзд відправлявся в експлуатацію.

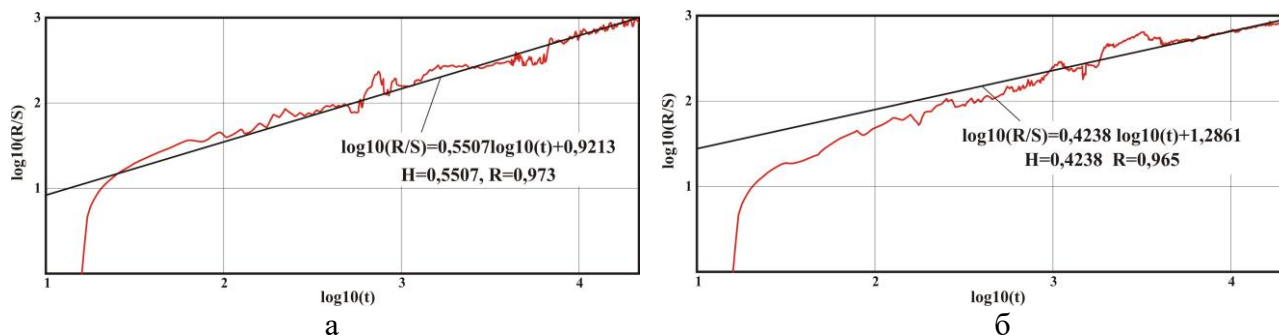


Рис. Результати розрахунку показника Херста H : а – показник, що потрапляє в інтервал $0,5 < H < 1,0$; б – показник, що потрапляє в інтервал $0 < H < 0,5$

У той же час у результаті проведення експерименту на окремих тягових передачах були зафіксовані й візуально підтверджені при розбиранні значні дефекти.

Так, на електропоїзді EP2P-7070 при перевірці тягових передач моторних вагонів 70704, 70706 і 70708 перед проведенням ТО-3 на основі обробки віброакустичних сигналів розрахунковий показник Херста склав $H=0,43 \div 0,48$. Фрактальна розмірність при цьому складала $D = 1,57 \div 1,52$. При прокручуванні тягові передачі видавали сильний шум у низькочастотному діапазоні. Перевіркою було встановлено (за допомогою штатних щупів), що в їхніх кожухах був недостатній рівень мастила. Після його поповнення до необхідного рівня були повторно зняті віброакустичні сигнали. Шум помітно зменшився і за результатами обробки сигналів, показник Херста вже склав $H=0,52 \div 0,54$.

На двох тягових передачах був отриманий показник Херста відповідно 0,44 і 0,41, а фрактальна розмірність складала $D = 1,56 \div 1,59$. При прокручуванні колісних пар прослуховувалися стук й удари. Після розкриття тягових передач і їхнього візуального огляду через оглядові люки в кожусі були виявлені відколи й тріщини зубів вінця великого зубчастого колеса. Моторний вагон із цими дефектами був відставлений у ремонт.

Для окремих тягових передач був отриманий розрахунковий показник Херста в межах $H=0,36 \div 0,41$, а фрактальна розмірність $D = 1,59 \div 1,64$. При їхньому огляді встановлено підвищене зношування поверхні зубів і, як наслідок, порушення їхньої геометрії.

У цілому слід зазначити, що в результаті обробки віброакустичних сигналів при проведенні експериментальних досліджень завжди утворювалася дробова розмірність D , яка підтверджувала не стохастичну, а фрактальну сутність процесів, що протікають у тягових передачах електропоїздів.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Визначено роль тягової передачі з погляду її працездатності й безпеки руху. Виділено процеси, що протікають безпосередньо в тяговій передачі при перетворенні й передачі потужності від джерела до колісної пари. Оцінювалось навантаження, що виникає під час руху електропоїзда. Встановлено, що тягові передачі, нарівні з колісними парами, тяговими електродвигунами й електроапаратами, знаходяться на одному з перших місць з виходу їх з ладу.

2. Проведено фрактальний аналіз віброакустичних сигналів, що дозволяє обчислити в кожному конкретному випадку межу їхньої передбачуваності. У якості основного діагностичного параметра

запропоновано показник Херста, обчислення якого показує, що вібродіагностичний сигнал для тягових передач може належати як до персистентних, так і до антиперсистентних процесів. Запропоновано діагностичні діапазони для оцінки показника Херста, на підставі яких можна визначати технічний стан тягових передач, а також прогнозувати їхню працездатність в експлуатації.

3. Виконано експериментальні дослідження, які підтвердили фрактальні властивості віброакустичних сигналів, і

виявили, що вони можуть змінюватися відповідно до виявлених дефектів у тягових передачах. При цьому підтверджено, що метод **R/S**-аналізу є цілком адекватним для оцінки результатів експрес-діагностики й довів коректність його застосування для моніторингу технічного стану тягових передач. Характерні відмови в тягових передачах і передбачуваність їхньої прояви на основі зміни показника Херста дозволили рекомендувати продовження даних досліджень і розширити на весь парк електропоїздів.

Список використаних джерел

1. Баранов, В. М. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях [Текст] / В.М. Баранов. – М.: Наука, 1998. – 304 с.
2. Ермолов, И. Н. Акустические методы контроля [Текст] / И. Н.Ермолов, Н.П. Алешин. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
3. Барков, А. В. Вибрационная диагностика колесно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте [Текст] / А.В. Барков. – СПб.: Изд. центр СПб. ГМТУ, 2002. – 101 с.
4. Артоболевский, И. И. Введение в техническую диагностику машин [Текст] / И.И. Артоболевский, Ю.И. Балицкий, М.Д. Генкин. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 296 с.
5. Павлов, Б. В. Акустическая диагностика механизмов [Текст] / Б.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
6. Генкин, М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов [Текст] / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 282 с.
7. Кинтцель, Т. Программирование звука на ПК [Текст] / Т. Кинтцель. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 432 с.
8. Рэндалл, Р. Б. Частотный анализ [Текст] / Р. Б. Рэндалл. – Дания: Кампания Ларсен и сын, 1989. – 389 с.
9. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом [Текст] / Н.И. Иванов. – М.: Логос, 2008. – 423 с.
10. Сосулин, Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов [Текст] / Ю.Г. Сосулин. – М.: Сов. радио, 1978. – 319 с.
11. Тихонов, В. И. Оптимальный прием сигналов [Текст] / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
12. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст] / Б.Р. Левин. – М.: Сов. Радио, 1989. – 653 с.
13. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях [Текст] / Ж. Макс. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
14. Бобровников, Я. Ю. Диагностические комплексы электроподвижного состава [Текст] / Я.Ю. Бобровников. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2012. – 94 с.

15. Панчелюга, В. А. Локальный фрактальный анализ шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний [Текст] / В.А. Панчелюга, М.С. Панчелюга // Биофизика. – 2015. – Т. 60. – Вып. 2. – С. 395-410.
16. Зиненко, А. В. R/S анализ на фондовом рынке [Текст] / А.В. Зиненко // Бизнес-информатика. – 2012. – №3(21). – С. 24-30.
17. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы [Текст] / Б. Мандельброт – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
18. Arne R., Wiebke B., Kai H., Brigitta S., Nicole A. Fractals in topography // Application to geoarchaeological studies in the surroundings of the necropolis of Dahshur, Egypt Quaternary International, V. 266, 17 July 2012, P. 34-46
19. Mohamed J., Guermazi A., Jingbo N., Jeffrey D., John A., Frank W. Multi-dimensional reliability assessment of fractal signature analysis in an outpatient sports nnals of Anatomy // Anatomischer Anzeiger, V. 202, November 2015, pp 57-60.
20. Lazzari S., Nicoud L., Jaquet B., Lattuada M. Morbidelli Fractal-like structures in colloid science // Advances in Colloid and Interface Science, V. 235, September 2016, pp 1-13
21. Pavel Horváth, Petr Šmíd, Ivana Vašková, Miroslav Hrabovský Koch fractals in physical optics and their Fraunhofer diffraction patterns Optik // International Journal for Light and Electron Optics, V. 121, Issue 2, January 2010, pp 206-213.
22. Perugini Diego, Poli Giampiero Chaotic dynamics and fractals in magmatic interaction processes: a different approach to the interpretation of mafic microgranular enclaves // Earth and Planetary Science Letters, V. 175, Issues 1–2, 30 January 2000, pp 93-103.
23. Earthquake-induced unusual gas emission in coalmines — A km-scale in-situ experimental investigation at Laohutai mine // International Journal of Coal Geology, V. 71, Issues 2–3, 2 July 2007, pp 209-224.
24. Трофимович, В. В. Механическая часть электроподвижного состава [Текст] / В.В. Трофимович. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2006. – 100 с.
25. Киселев, Б. В. Об интерпретации статистического R–S–анализа (показатель Херста) [Текст] / Б.В. Киселев // Ученые записки СПбГУ. – 2007. – Вып. 40 (440). – С. 121-130.
26. Дьяконов, В. П. Вейвлет–анализ в Matlab реальных осцилограмм [Текст] / В.П. Дьяконов // Контрольно-измерительные приборы и системы. – 2010. – №3. – С. 19-25.
27. Зосимов, В. В. Фракталы и скейлинг в акустике [Текст] / В.В. Зосимов, Л.М.Лямшев // Акустический журнал. – 1994. – Т. 40. – №5. – С. 709-737.

Бульба Владислав Ігорович, інженер технічного відділу служби приміських пасажирських перевезень Південної залізниці. Тел.: 093-29-508-79.

Bulba Vladislav, engineer of a technical department service of suburban passenger transportations Southern railway. Tel.: 093–29–508–79.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.

УДК 656.254.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ ДІЛЬНИЦІ В УМОВАХ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

Канд. техн. наук П. В. Долгополов, Д. В. Суховецька

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЧАСТКЕ В УСЛОВИЯХ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

Канд. техн. наук П. В. Долгополов, Д. В. Суховецкая

IMPROVEMENT OF HIGH-SPEED TRAFFIC ON THE RAILWAY SECTOR IN CONDITIONS OF DISPATCHER CENTRALIZATION

Cand. of techn. sciences P. V. Dolgoplov, D. V. Suhovetskaya

Розроблено заходи з розширення складу функціональних завдань мікропроцесорної системи диспетчерської централізації на ділянці з високошвидкісним рухом поїздів. Запропоновані розширення дозволяють автоматично формувати прогнозний графік руху поїздів з урахуванням оперативних змін на ділянці, діючих попереджень та інших факторів. Це оптимізує перевізний процес та підвищує рівень безпеки руху поїздів.

Ключові слова: диспетчерська централізація, високошвидкісний рух, графік руху поїздів, прогнозний графік руху, безпека руху.

Разработаны меры по расширению состава функциональных задач микропроцессорной системы диспетчерской централизации на участке с высокоскоростным движением поездов. Предложенные расширения позволяют автоматически формировать прогнозный график движения с учетом оперативных изменений на участке, действующих предупреждений и других факторов. Это оптимизирует перевозочный процесс и повышает уровень безопасности движения поездов.

Ключевые слова: диспетчерская централизация, высокоскоростное движение, график движения поездов, прогнозный график движения, безопасность движения.

The organization of the transportation process in areas with high-speed trains with the help of microprocessor systems of centralized traffic control should be based on the use of adequate forecasted train schedule.

Therefore in the article it was developed measures for the expansion of functional tasks of microprocessing system of centralized traffic control on the site from high-speed trains. Upgrades allow us to automatically generate predictive schedules taking into account the operational changes on the railway site, for example, of current warnings and other factors.

It was propose a model in which the forecasted train schedules are calculated based on the speed of every train depending on the distance from the previous train.

The proposed technology of the railway junction allows to create more uniform load stations, reducing unproductive downtime of wagons and locomotives, as well as increase the efficiency of interaction of railway transport with clients.

This will optimize the transportation process and increases the level of security of trains.

Keywords: centralized traffic control, high-speed traffic, train schedule, forecasted train schedule, traffic safety.

Вступ. Сучасні конкурентні умови світового транспортного ринку вимагають від вітчизняних залізниць радикальних удосконалень системи обслуговування пасажирів. В рамках цього залізниці повинні забезпечувати безпеку і необхідні зручності пасажирам, високу якість обслуговування, а також своєчасне перевезення і схоронність багажу та ручної поклажі.

На попиті послуг залізничного транспорту в цей час негативно позначається ряд чинників, але головним з них є економічна криза, яка призвела до значного падіння платоспроможності населення, а звідси до його низької рухомості.

Сучасний стан галузі і аналіз перспектив її розвитку показують необхідність здійснення неординарних заходів, які направлені на подальший розвиток залізничного транспорту й адаптації його до умов ринкової економіки. Одним з таких рішень є перехід на маркетингові принципи управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання з оптимізації маршрутів прямування швидкісних поїздів, а також диспетчерського управління на дільницях, у тому числі в умовах швидкісного руху вирішувалися у ряді наукових робіт, серед яких варто виділити роботи [1-4]. Однак в них не приділено достатньої уваги удосконаленню високошвидкісного руху на основі застосування прогнозного графіка руху поїздів. Певні розробки у цьому напрямку проводилися у роботах [5-7], проте у них не враховано ряд змінних експлуатаційних факторів на формування прогнозного графіка руху поїздів.

Мета та завдання дослідження. Метою статті є удосконалення диспетчерського управління швидкісною дільницею на основі математичної моделі формування прогнозного графіка руху поїздів (ГРП), яка дозволить оптимізувати маршрути прямування поїздів та безперервного контролю за безпекою руху.

Основна частина дослідження.

Результати наукових досліджень вказують на доцільність організації на вітчизняних залізницях високошвидкісного руху в умовах змішаного руху поїздів на дільницях [8, 9]. Організація перевізного процесу на таких дільницях за допомогою мікропроцесорних систем диспетчерської централізації (МСДЦ) повинна ґрунтуватися на застосуванні адекватного прогнозного ГРП. Це означає, що всі прогнозні нитки поїздів повинні враховувати основні змінні фактори перевізного процесу, такі як маса поїзда, обмеження швидкості та інші.

Сучасні МСДЦ дозволяють управління дільницями у режимі прогнозного управління, при якому система самостійно формує маршрути по прогнозних нитках і передає їх до списку накопичених маршрутів станції, де вони очікують реалізації. Система безупинно розраховує прогнозний ГРП, причому враховується категорія поїзда, спеціалізація і довжина приймально-відправних колій.

Однак у даний час при розрахунку прогнозного ГРП не враховуються деякі важливі фактори, зокрема маса состава, відстань між поїздами, діючі на даний час попередження та інші обмеження швидкості поїздів. Все це потрібно враховувати для ефективного управління швидкісними та іншими потягами, що прямують по дільниці.

При попутному русі відстань між сусідніми поїздами (міжпоїзний інтервал) безперервно змінюється. Так, при підході першого поїзда якої-небудь пари сусідніх поїздів до станційної платформи, де він повинен зупинитися, його швидкість зменшується, другий поїзд починає наздоганяти його і, як наслідок, відстань між поїздами скорочується.

Аналогічна ситуація має місце і при позапланових змінах швидкостей поїздів через відмови елементів колії, рухомого складу та інших технічних засобів. Міжпоїзні відстані змінюються також тому,

що поїзди переміщуються досить часто по ділянках з різними планами і профілями. Разом з тим у всіх випадках вони повинні бути достатніми для запобігання зіткнень поїздів, особливо це актуально в умовах високошвидкісного руху [5,7].

На рис. 1 показано траєкторії руху, коли перший поїзд зменшує швидкість до нуля внаслідок необхідності зупинки, а другий змушений знижувати швидкість для виключення зіткнення з ним, при цьому вважається, що гальмівний шлях другого поїзда N_{T2} більше гальмівного шляху першого N_{T1} .

Другий поїзд встигне знизити швидкість і його локомотив зупиниться перед хвостовим вагоном першого тільки у випадку, якщо в момент початку гальмування першого поїзда відстань L_X між його хвостовим вагоном і локомотивом другого поїзда буде не менше різниці гальмівних шляхів поїздів N_{T1}, N_{T2} . Отже, для виключення зіткнення двох сусідніх попутних поїздів система управління рухом повинна забезпечити виконання умови

$$L_X > N_{T1} - N_{T2} . \quad (1)$$

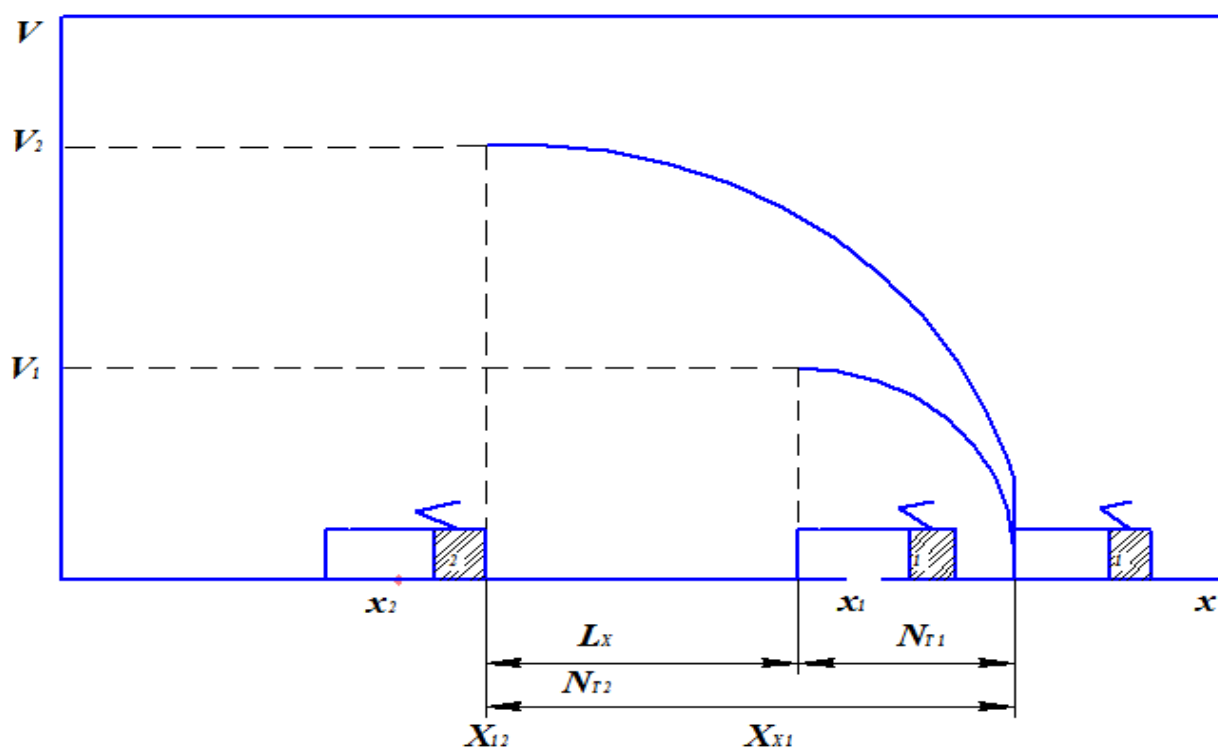


Рис. 1. Графіки швидкостей поїздів при зупинці поїзда 1

При цьому $L_{XГ}$ розраховується як

$$L_{XГ} = x_{x1} - x_{Г2} , \quad (2)$$

де x_{x1} — координата хвостового вагона першого поїзда;

x_{x2} — координата локомотива другого поїзда.

Забезпечення нерівності (1) є першою найважливішою задачею управління рухом поїздів.

Відстань між поїздами визначено через координати середин поїздів, чому відповідає вираз

$$L = x_1 - x_2 = (x_{x1} + 0.5l_{п1}) - (x_{Г2} - 0.5l_{п2}). \quad (3)$$

Через те, що завжди мають місце похибки вимірювань координат поїздів, довжин їх складів і розрахунків гальмівних шляхів, мінімальна за умовами безпеки

руху відстань між поїздами, яку прийнято називати розрахунковою, визначається за виразом

$$L_p = S_2 - S_1 + 0.5(l_{п1} + l_{п2} + \Delta l_{п1} + \Delta l_{п2}) + \sum_{i=1} \Delta l_{пi}, \quad (4)$$

де L_p – розрахункова відстань між поїздами, м;

$l_{п1}, l_{п2}$ – довжина поїздів, м;

$\Delta l_{п1}, \Delta l_{п2}$ – похибки визначень довжин составів, м.

Таким чином, завдання запобігання зіткнення попутних поїздів зводиться до завдання забезпечення рівняння

$$L > L_p. \quad (5)$$

Для виключення зіткнення поїзда з транспортним засобом іншого виду на переїзді система управління повинна своєчасно сформулювати команду пристроям, які огорожують переїзд, на заняття положень, при яких був би виключений в'їзд транспортного засобу на залізничний переїзд перед самим поїздом. Це є третім завданням системи управління [10].

Таким чином, завданнями забезпечення безпеки при управлінні рухом поїздів є запобігання:

- зближення поїздів на відстань менше допустимого за умовами безпеки руху (запобігання зіткнення поїздів);

- руху поїздів зі швидкостями вище допустимих за умовами безпеки (запобігання сходу поїзда);

- заняття залізничного переїзду транспортним засобом будь-якого виду, якщо він не зможе його звільнити до входу на переїзд поїзда.

Час ходу по кожному перегону доцільно визначати на АРМ ДНЦ за даними тягових розрахунків окремо в

парному і непарному напрямках для кожної категорії вантажних і пасажирських поїздів, а також для окремих локомотивів з урахуванням допустимих швидкостей руху за станом колії залежно від наявності зупинок на роздільних пунктах, що обмежують перегін.

На підставі довжини ділянок і ходової швидкості час ходу поїздів по перегонах визначається за виразом

$$t_x = 60 \cdot \frac{l_{дil}}{V_x}, \quad (6)$$

де $l_{дil}$ – довжина перегону між станціями, км;

V_x – ходова швидкість поїзда, км/год.

При тягових розрахунках розглядається рух поїзда як рух матеріальної точки, у якій маса зосереджена в центрі її ваги (умовно в середині складу), тому час ходу поїзда по перегону визначають за моментами збігу середини поїзда з віссю роздільних пунктів, що обмежують даний перегін.

Успішність вирішення цих завдань залежить від функціональних властивостей і технічних параметрів систем управління рухом.

Загальний час знаходження поїзда на ділянці у хвиликах визначається як

$$T_{дв} = \frac{60 \cdot S_j}{v_j} + \sum t_{cm} + \sum t_{раз} + \sum t_{зам}, \quad (7)$$

де S_j – довжина j -го елемента, км;

v_j – рівномірна швидкість на j -му елементі, км/год;

$\sum t_{cm}$ – сумарний час простою на проміжних станціях ділянки, хв;

$\sum t_{раз}$ – сумарний час на розгін поїзда після зупинок на проміжних станціях, хв;

$\sum t_{зам}$ – сумарний час на гальмування поїзда при зупинках на проміжних станціях, год.

У роботі запропоновано інтегрувати подану модель до МСДЦ. Це дозволить в автоматичному режимі формувати та видавати на автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера (ДНЦ) адекватний прогнозний ГРП, на якому всі прогнозні нитки поїздів прокладено з урахуванням такого важливого змінного фактора перевізного процесу, як швидкість руху кожного поїзда залежно від відстані до попереднього поїзда.

Ці інновації дуже необхідні залізничному транспорту, особливо в умовах швидкісного руху, оскільки мова

йде в першу чергу про безпеку пасажирів. Будь-яка помилка може стати трагедією.

Крім того, запропоновані розширення функціонального складу МСДЦ дозволяють створити максимально комфортні умови для роботи ДНЦ і максимально зменшити вплив людського фактора для забезпечення стабільної та безпечної роботи залізничних дільниць в умовах високошвидкісних перевезень.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У статті запропоновано заходи з розширення складу функціональних завдань МСДЦ на дільниці з високошвидкісним рухом поїздів. Зважаючи на подані заходи в умовах високошвидкісного руху на дільниці, МСДЦ розраховує і пропонує поїзному диспетчеру план поїзної роботи з урахуванням діючих попереджень та інших обмежень швидкості на дільницях.

Список використаних джерел

1. Krasemann, J. Computational decision-support for railway traffic management and associated configuration challenges: An experimental study [Text] / J. Krasemann // Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2015. – Vol. 5. – № 3. – P. 95-109.
2. Implementation and validation of an Angle of Arrival (AoA) determination system for real-time on-board train positioning [Text] / M. Arenas, A. Podhorski, S. Arrizabalaga, J. Goya, B. Sedano, J. Mendizabal // Transportation Research Procedia. – 2016. – № 14. – P. 1950-1956.
3. Малахова, О. А. Удосконалення перевезення пасажирів на основі застосування логістичних принципів [Текст] / О.А. Малахова, О.В. Макарова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 131. – С. 100-104.
4. Talebian, A., Zou, B. Integrated modeling of high performance passenger and freight train planning on shared-use corridors in the US [Text] / A. Talebian, B. Zou // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 82. – P. 114-140.
5. Удосконалення диспетчерського керівництва дільниці на основі прогнозного моделювання перевізного процесу [Текст] / П.В. Долгополов, Т.В. Головкин, Т.В. Галишинець [та ін.] // Вісник НТУ «ХПІ». – 2015. – Вип. 49(1158). – С. 36–39.
6. Егоров, О. И. Процедура идентификации поездов с использованием информации АСК ВП УЗ – Е [Текст] / И.В. Жуковицкий, О.И. Егоров // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – Вип. 6(115). – С.61–66.
7. Долгополов, П. В. Удосконалення диспетчерського управління на дільниці в умовах швидкісного руху [Текст] / П. В. Долгополов, Р. В. Чікаров // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 53-57.

8. Калашнікова, Т. Ю. Визначення найкращої моделі використання високошвидкісних магістралей для залізниць України [Текст] / Т.Ю. Калашнікова, Ю.М. Чередніченко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 162. – С. 177-182.

9. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В.М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.

10. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями [Текст]: навч. посібник / О.В. Лаврухін, П.В. Долгополов, В.В. Петрушов, О.М. Ходаківський. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2011. – 118 с.

Долгополов Петро Віталійович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: pit2013@mail.ru.
Суховецька Діана Володимирівна, слухач магістратури ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (099) 615-33-67.

Dolgoplov Peter, PhD. Of techn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: pit2013@mail.ru.
Suhovetskaya Dianna, Listener IPPK of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (099) 615-33-67.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.

УДК 656.025.2 + 656.23

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОДАЖУ КВИТКІВ НА ВОКЗАЛАХ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашнікова, І. О. Новіцька

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОДАЖИ БИЛЕТОВ НА ВОКЗАЛАХ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашникова, И. О. Новицкая

IMPROVING THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE BY AUTOMATING TICKETS SALES AT STATIONS

Cand. of techn. sciences T.Y. Kalashnikova, I. Novitskaya

У статті розглянуто можливість упровадження європейського, зокрема французького, успішного досвіду для вирішення поточних проблем українського залізничного транспорту. Виявлені шляхи для ефективного підвищення рівня обслуговування населення України.

Ключові слова: залізничний транспорт, автоматичні каси, квиток.

В статье рассмотрена возможность внедрения европейского, в частности французского, успешного опыта для решения текущих проблем украинского железнодорожного транспорта. Выявлены пути для эффективного повышения уровня обслуживания населения Украины.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, автоматические кассы, билет.

The article discusses the possibility of introducing a European, particularly French expertise to successfully address current problems of the Ukrainian railway transport efficient ways to .Found improvement of public service extremel. Such means is to reduce passenger queuing at station, and replacement of the human factoring the sale of tickets for the automatic. With an increase in the number of passengers carried by high-speed trains, for the Ukrainian banks is actual implementation of the automatic ticketing. Travel time is one of the most important factors determining the demand for transportation in some form of passenger transport, due to its reduction of high-speed network lines caused a significant increase in a number of ways. One of the main components of the operation of high-speed lines is the quality of passenger service.

Keywords: rai, automated cash, ticket .

Вступ. Щодня тисячі людей на залізничному транспорті України здійснюють поїздки в далекому, місцевому та приміському сполученні. Комплекс послуг, що надаються залізничниками пасажирам, створює сприятливі передумови для праці, відпочинку, лікування, навчання, що в підсумку впливає на продуктивність праці трудівників, підвищує культурний рівень і якість життя населення. Таким чином, щоб підвищити якість обслуговування та збільшити рівень комфорту пасажирів при зменшенні часу перебування в чергах за квитками на вокзалах, введення автоматичних кас для продажу квитків є перспективним.

Останнім часом значно зросла середня кількість поїздок та активність населення в Україні (пасажирооборот у розрахунку на одного жителя), що пов'язано зі значним посиленням міграційних процесів як внутрішньодержавних, так і міждержавних (поїздки з приміської зони до великих і середніх міст на роботу та навчання, багатотисячні поїздки за кордон у пошуках роботи та туристичні поїздки тощо). Тому забезпечення швидкого, комфортного та якісного обслуговування пасажирів є пріоритетним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати останніх досліджень питань підвищення якості транспортних послуг у науковій літературі зустрічаються все частіше. Серед усіх публікацій доцільно відзначити роботи І.М. Аксьонова, В.Л. Диканя [6], В.П. Гудкової, Є.М. Сича,

Ю.Ф. Кулаєва, О.А. Малахової, Т.В. Бутько, В.Г. Шинкаренка, А.В. Прохорченка [4].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є розроблення заходів щодо забезпечення задоволення та зацікавлення пасажирів до послуг залізничного транспорту. Тут, безумовно, стане у нагоді зарубіжний досвід організації пасажирських перевезень. Тому у статті розглядається досвід з надання послуг пасажирам закордонними залізницями, зокрема французькими.

Основна частина дослідження. Розвиток високошвидкісного та швидкісного пасажирського руху є одним із найважливіших шляхів розвитку ринку залізничних пасажирських перевезень. Це зумовлено, по-перше, необхідністю виведення пасажирських залізничних сполучень на принципово новий якісний рівень, який забезпечує зростання мобільності населення, та, по-друге, необхідністю залучення додаткових пасажиропотоків, що забезпечує збільшення прибутків від здійснення перевезень. На сьогодні високошвидкісний залізничний транспорт при організації масових перевезень пасажирів упевнено займає транспортну нішу в діапазоні відстаней 400–800 км, забезпечуючи найменшу тривалість перебування пасажирів у дорозі, тобто найбільшу швидкість поїздки пасажирів за найвищих стандартів безпеки, комфортності та економічності. Для середньостатистичного європейця на вибір виду транспорту впливає ціла низка чинників,

найважливішим з яких є мета поїздки. У розподілі міжнародних залізничних поїздок за їх цільовою ознакою переважають приватні (81,5 %) поїздки, які є більш інтенсивними, ніж ділові (18,5 %), у 4,4 разу. До приватних належать поїздки до іншого міста (305 %), пов'язані з короткочасною (26,7 %) або тривалою відпусткою (20,5 %) та інші (22,3). До ділових належать поїздки на ділові переговори (75,8 %), відвідування виставок (15,5 %), поїздки на роботу (8,7 %) [1].

Однією з основних складових функціонування високошвидкісних ліній є якість обслуговування пасажирів. Основними напрямками з підвищення якості обслуговування пасажирів є: збільшення кількості послуг, які надаються на вокзалах, покращення їх якості,

звернення більшої уваги на людей з обмеженими фізичними можливостями, прибуття поїздів за графіком, скорочення часу перебування у поїздах тощо.

Оскільки тривалість поїздки є одним із найважливіших чинників, що визначають попит на перевезення тим чи іншим видом пасажирського транспорту, її зменшення внаслідок розвитку мережі високошвидкісних магістралей (ВШМ) зумовило значне зростання пасажиропотоків на цілій низці напрямків. З уведенням високошвидкісних сполучень тривалість поїздки на певних маршрутах скоротилася в 1,6–2,7 разу (рис. 1). При цьому переважним є скорочення відповідної тривалості в 1,6–1,9 разу (на 60 % маршрутів).

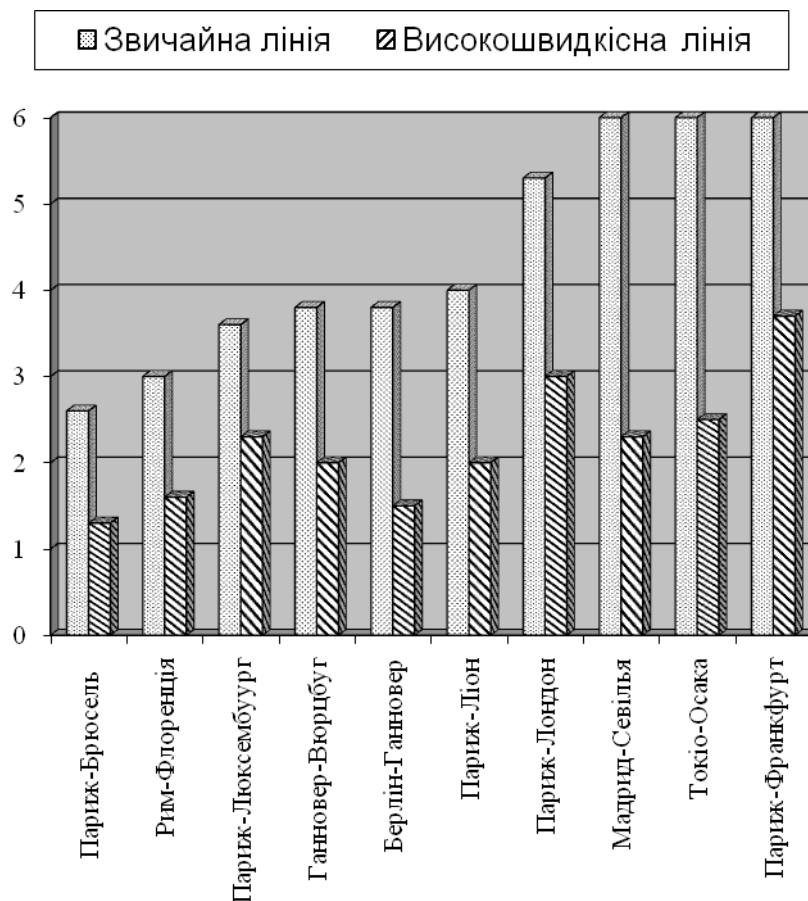


Рис. 1. Тривалість поїздки до та після введення високошвидкісних сполучень

Упродовж останніх двох років зростає кількість пасажирів, які бажають зменшити час перебування в дорозі та скористатися послугами прискорених поїздів Інтерсіті+ та Інтерсіті+.

Середня населеність у поїздах Інтерсіті+ складає 61,2 %. У 2015 році швидкісними поїздами перевезено 2913,0 тис. пас.

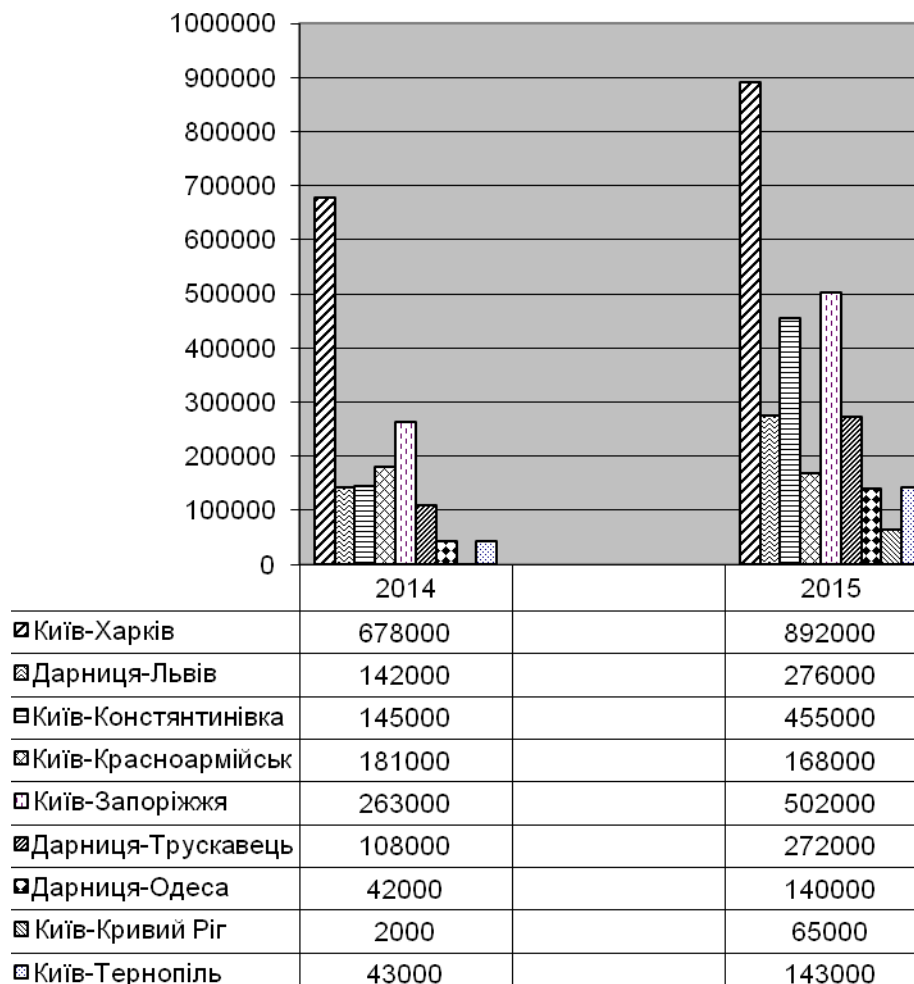


Рис. 2. Діаграма кількості перевезених пасажирів у швидкісних поїздах категорії Інтерсіті+, пас.

З діаграми (рис. 2) видно, що за останні два роки збільшився попит на користування прискореними поїздами України.

На цей час існує декілька можливостей придбання квитків клієнтами-пасажирами. Для французьких залізниць існує такий розподіл: через Інтернет – 40-

45 %, через каси – 40 %; через термінали та за телефоном – 15 % [1].

Для українських залізниць цей розподіл дещо інший: через мережу Інтернет – 15-25 %, через каси – 60-85 %.

Таким чином, стає необхідним вирішення задачі з підвищення якості обслуговування пасажирів залізницями УЗ. Одним з основних критеріїв якості є час

перебування клієнта-пасажира в обслуговуванні залізницею. Для вирішення цієї задачі пропонується цільова функція,

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k [t_{ij} + tobc_{ij} + tkv_{ij} + tзан_{ij}] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де i – кількість напрямків, якими користуються пасажирі;

j – кількість пасажирів, які обслуговуються на окремому напрямку;

t_{ij} – максимально припустимий час перебування пасажирів в черзі, $t = 0,33$ год. (встановлюється Укрзалізницею);

$tobc_{ij}$ – середній час, який витрачає клієнт-пасажир на придбання квитка, год;

tkv_{ij} – тривалість поїздки, фактично вказаної в проїзному документі, год;

$tзан_{ij}$ – час, на який фактично запізнився поїзд, год.

При цьому середній час, який витрачає клієнт-пасажир на придбання квитка, год, складає

$$tobc_{ij} = tz + tm + tc + toф, \quad (2)$$

де tz – час, який витрачається на опитування пасажирів та його відповідь, год;

tm – час, який витрачає касир, для введення інформації у машину, год;

tc – час очікування відповіді ЕОМ, год;

$toф$ – час на оформлення проїзного документа та розрахунок з пасажиром, год.

Відповідно до технології роботи системи зазначені складові розглядаються як незалежні, і мінімізація кожного з них сприяє мінімізації всього функціонала. При цьому кожна із складових має залежність від окремих параметрів.

Загалом цільова функція має вигляд сукупності сумарного часу за загальною кількістю напрямків високошвидкісних поїздів, що відправляються з даної станції, за загальною кількістю пасажирів, що відправлено на n напрямків протягом доби.

що основана на мінімізації часу користування клієнтом-пасажиром послугами залізничного транспорту:

Система обмежень має такий вигляд:

$$\begin{cases} tзан_{ij} \leq T_{норм.дост} \\ P_j \leq m_j \\ L_{nj} \leq L_{нск} \end{cases} \quad (3)$$

де $T_{норм.дост}$ – мінімальний нормативний час запізнення на кінцеву станцію, год (встановлюється Укрзалізницею). При перевищенні цього часу залізниця зобов'язана компенсувати (або надати пільгу пасажирів при здійсненні наступної поїздки залізничним транспортом);

P_j – населеність поїзда на даному напрямку, пас.;

m_j – максимальна населеність поїзда, пас.;

L_{nj} – довжина поїзда на даному напрямку, м;

$L_{нск}$ – максимальна довжина прийнятно-відправних колій на станціях даного напрямку, м.

З метою підвищення якості обслуговування пасажирів і зменшення часу їх перебування на вокзалах та взагалі часу перебування пасажиром-клієнтом на залізниці, у статті запропоновано введення на залізничних вокзалах автоматичних кас для продажу квитків. Перевагою такого продажу є відсутність черг до квиткових кас, пришвидшення пасажиропотоку на вокзалах. Таким чином, задача є задачею математичного програмування, яка представлена параметрами як незалежними, так і тими, що управляються. Параметром, на який можна здійснити вплив, є час на придбання квитка, який залежить від часу обслуговування пасажирів біля кас. Зниження величини цього показника можливе за рахунок зменшення черг біля

кас, і відсутності такого параметра, як опитування пасажирів і введення інформації касиром в ЕОМ. У процесі рішення пропонується встановлення автоматичних кас, що сприяє мінімізації часу на обслуговування пасажирів та підвищенню якості обслуговування.

На залізничних вокзалах Франції квитки можна купити в автоматі, при цьому є можливість розплатитися кредитними картами або готівкою (автомати з продажу квитків здатні видавати здачу). Купувати квитки досить просто: вибирається мова спілкування з апаратом, звідки і куди вам потрібен поїзд, дата і час відправлення, клас вагона, кількість людей, наявність пільги або картки знижок. Квиток, куплений в автоматі, коштує стільки ж, скільки і куплений у касі. Автомати погані тільки тим, що продають квитки на чітку

дату і точний час відправлення. Якщо вам потрібен квиток з відкритою датою або часом (скажімо, з точки А в точку Б на завтра, але точного часу ви назвати не можете), то доведеться йти до каси і купувати квиток там, або подивитися місто і прийти до автомата, взявши квиток назад, не стоячи в черзі до каси [6].

Інтерфейс автоматичних кас має вигляд, який зображено на рис. 3.

Компостуються всі квитки, крім квитків на швидкісні поїзди, де чітко вказано ваш поїзд, час його відправлення і ваше місце. Якщо не впевнені, варто компостувати квиток чи ні, краще прокомпостуйте, шкоди не буде, і штрафу уникнете. Непрокомпостовані квитки без проставленої дати і часу дійсні протягом 2 місяців. Компостер зображений на рис. 4.

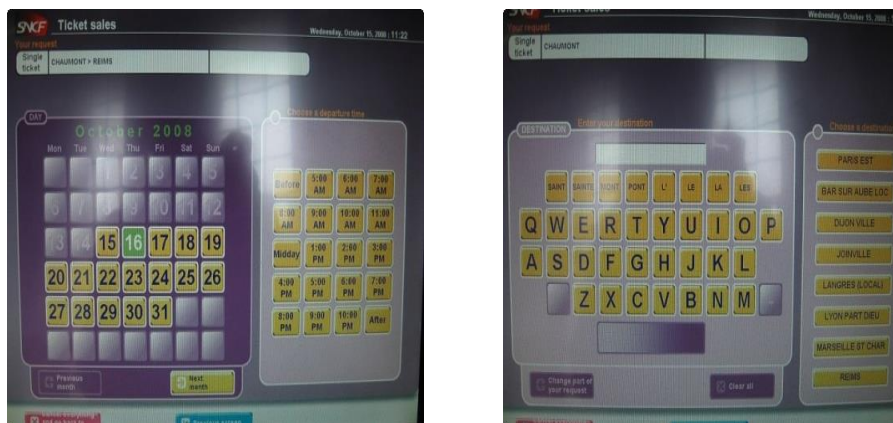


Рис. 3. Інтерфейс автоматичних кас



Рис. 4. Компостер для компостування квитків

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У перспективі розвитку високошвидкісного залізничного транспорту впровадження даного виду послуг для пасажирів буде невід'ємною частиною подорожі. У результаті це дасть змогу оптимізувати та покращити роботу залізничних вокзалів, підвищити якість

обслуговування пасажирів, удосконалити систему контролю за пересуваннями пасажирів у межах країни. Регулювання потреби пасажирів у тому чи іншому виді сполучень поїздів дасть змогу значно скоротити витрати на здійснення пасажирських перевезень, знизити собівартість останніх і підвищити їх ефективність та конкурентоспроможність.

Список використаних джерел

1. Журавель, В. Аналіз досвіду використання високошвидкісних залізничних сполучень [Текст] / В. Журавель // Українські залізниці. – 2016. – №1. – С. 34-41.
2. Калашнікова, Т. Ю. Залучення додаткових обсягів пасажирів приміського сполучення на підставі гнучкої тарифікації [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, М. М. Сейдаметов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 24-30.
3. Калашнікова, Т. Ю. Аналіз досвіду якості обслуговування пасажирів в умовах високошвидкісного руху [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, М. В. Биков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 24-28.
4. Бутько, Т. В. Удосконалення технології роботи вокзального комплексу в умовах впровадження швидкісного руху поїздів [Текст] / Т. В. Бутько, К. П. Висоцька // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 14-23.
5. Малахова, О. А. Розвиток швидкісного пасажирського руху в Україні на основі всесвітнього досвіду [Текст] / О. А. Малахова, О. М. Анікеева // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 75-79.
6. Дикань, В. Л. Скоростное движение железнодорожного транспорта в мире и перспективы его развития в Украине [Текст] / В. Л. Дикань, И. В. Корнилова // Вісник економіки транспорту та промисловості. – 2010. – №32. – С. 15-25.
7. Su H., Wen X., Zou D., A secure credit recharge scheme for mobile payment system in public transport, IERI Procedia, 4, Elsevier, 2013, 303-308.
8. Swedberg, C., ORCA Puts Ferris, Buses and Trains on Ticket, retriever 2014-10-01, from RFID Journal: <http://www.rfidjournal.com/articles/view/5320/>, 2009-10-22.
9. About the Technology – NFC and Contactless Technologies, retrieved 2014-10-01, from NFC Forum: http://members.nfc-forum.org/specs/spec_list/.

Калашнікова Тетяна Юріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066)441-50-42.

E-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Новицька Інна Олександрівна, магістр ІППК. Тел. (097)757-44-97. E-mail: inna.novitskaya.93@mail.ru.

Kalashnikova Tetyana Yurievna, PhD. Of tehn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian state university of railway transport. Tel. (066)441-50-42. E-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Novitskaya Inna Oleksandryvna, Listener IPPK. Tel. (097)757-44-97. E-mail: inna.novitskaya.93@mail.ru.

Стаття прийнята 20.09.2016 р.

УДК 656. 257

ВИЗНАЧЕННЯ НАЙКРАЩОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашнікова, І. І. Касьянов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШЕЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашникова, И. И. Касьянов

DETERMINE THE BEST SYSTEM CENTRALIZATION FOR MANAGING TRAIN TRAFFIC ON SWITCHYARDS

Cand. of techn. sciences T. Y. Kalashnikova, I. I. Kasianov

У статті досліджено дві системи управління рухом поїздів. Визначено, що найбільш надійною та ефективною для залізниць України є мікропроцесорна централізація стрілок та сигналів (МПЦ). Саме вона відповідає сучасним умовам розвитку на залізницях країни і саме вона є найбільш економічно вигідною в плані обслуговування і використання. Мікропроцесорна централізація має більш високі показники надійності за рахунок використання можливостей електронних технологій і облаштування 100%-го гарячого резерву багатьох складових елементів, тоді як у централізації релейного типу є значна кількість елементів, відмова яких призводить до виходу з дії практично всієї системи. Система МПЦ відповідає трьом головним складовим: безпека, надійність, ефективність.

Ключові слова: мікропроцесорна централізація, рух поїздів, залізнична станція, апаратура.

В статье исследованы две системы управления движением поездов. Определено, что наиболее надежной и эффективной для железных дорог Украины является микропроцессорная централизация стрелок и сигналов (МПЦ). Именно она отвечает современным условиям развития на железных дорогах страны и именно она является наиболее экономически выгодной в плане обслуживания и использования. Микропроцессорная централизация имеет более высокие показатели надежности за счет использования возможностей электронных технологий и обустройство 100%-го горячего резерва многих составляющих элементов, тогда как в централизации релейного типа есть множество элементов, отказ которых приводит к выходу из действия практически всей системы. Система МПЦ соответствует трем главным составляющим: безопасность, надежность, эффективность.

Ключевые слова: микропроцессорная централизация, движение поездов, железнодорожная станция, апаратура.

In the article the two train control systems . Determined that the most reliable and efficient railways Ukraine is microprocessor centralization of arrows and signals (MPTS). She meets modern conditions on the railways of the country and it is the most cost-effective in terms of maintenance and use. Microprocessor centralization has higher reliability due to the use of electronic technology and the installation of 100 -percent reserve many hot elements, while the centralization relay type is a large number of elements, which leads to rejection out of action

almost all systems. The system meets the MPTS three main components: security, reliability, efficiency

Keywords: *microprocessor centralization, trains, railway station, equipment.*

Вступ. Потреба в підвищенні пропускну́ї спроможності залізничних ліній, обумовлена прагненням збільшити доходи від перевезень, існує в багатьох європейських країнах. Останнім часом реалізується велика програма модернізації основних магістралей. Ці заходи висувають високі вимоги до систем СЦБ, які повинні забезпечити безпеку експлуатаційного процесу і мінімізувати його обмеження при внесенні суттєвих змін у колійний розвиток станцій, скорочення довжини блок-ділянок, влаштуванні додаткових з'їздів між коліями і т. п. В Австрії, наприклад, з початком застосування серійних систем МПЦ (типів ELEKTRA фірми Alcatel та SMC86 фірми Siemens) Федеральні залізниці проводять такі реконструктивні заходи з використанням систем не традиційної релейної, а мікропроцесорної централізації. Переваги МПЦ, з точки зору реконструкції, пояснюються принциповими відмінностями в структурі традиційних систем релейної централізації і мікропроцесорних систем.

Аналіз літературних джерел. Системи централізації на залізничних станціях у свій час досліджували різні вчені. Основними напрямками в удосконаленні перевізної роботи є підвищення безпеки руху поїздів [1] з визначенням схеми та принципів дії систем централізації [2]. Переваги мікропроцесорних систем централізації відмічено у роботі [3], розширення зазначених систем за рахунок додаткових функцій: контролю за складом, контролю виконаних робіт тощо – у роботі [4].

Мета і задачі дослідження. Сортувальні станції є одним з головних і опорних елементів залізничної транспортної інфраструктури країни. Вони є важливою ланкою і виконують основний обсяг робіт з розформування і формування поїздів, маршрутизації і безпеки перевезень. У

сучасних економічних умовах одним з основних чинників забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація часу перебування вагонів у першу чергу саме на сортувальних станціях.

У зв'язку з такою необхідністю слід постійно розробляти заходи з удосконалення технології роботи сортувальної станції. Серед таких заходів можна виділити реконструктивні, спрямовані на зміну колійного розвитку, і організаційні, які включають удосконалення технологічного процесу і системи управління станції. Необхідність перевлаштування станції й удосконалення технологічних процесів викликана передусім такими чинниками, як збільшення обсягів вантажів, що перевозяться, зміна структури транспортних потоків, забезпечення безпеки руху.

Дослідження та вибір відповідної системи централізації на сортувальних станціях. Переробна спроможність сортувальної станції залежить від переробної спроможності гірки, а саме [5]:

$$N_2 = \frac{1440 \cdot \alpha - T_{mex}}{\mu \cdot t_2 \cdot (1 + \rho)} \cdot m_c, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, що враховує ворожість маршрутів;

T_{mex} – час технологічних перерв у роботі гірки;

μ – коефіцієнт, що враховує повторне сортування у сортувальному парку;

t_2 – гірковий технологічний інтервал, хв;

ρ – коефіцієнт, що враховує відмову технічних засобів;

m_c – кількість вагонів у складі поїзда, ваг.

При цьому переробна спроможність гірки повинна перевищувати потрібну

переробну спроможність $N_{побр}$, яка відповідає кількості вагонів, що надійшли у поїздах з переробкою $N_{з/пер}$, тобто необхідним є наявність резерву переробної спроможності. Вплив на розмір резерву та підвищення переробної спроможності можливий за рахунок оптимізації технологічного часу, що припадає на розформування состава з гірки.

Переробна спроможність гірки посилюється додатковими вимогами до пропускної спроможності станції за кількістю поїздів, на яку у свою чергу впливає час на приготування маршрутів. Застосування мікропроцесорної централізації на станції замість релейної скорочує тривалість операцій з переводу стрілок, приготування маршрутів, відкриття і закриття сигналів. У результаті створюються більш сприятливі умови для розроблення і впровадження такого технологічного процесу роботи станції, при якому забезпечується більш швидке просування поїздів не тільки через сортувальну гірку, а й через саму станцію, оскільки із зменшенням часу на окремі операції зменшується вплив збігу в часі цих операцій при різних порушеннях. Тому важливим показником для станційних пристроїв є час приготування маршруту, зменшення якого при мікропроцесорній централізації скорочує станційні інтервали і значно підвищує пропускну спроможність. Інтелектуальний інтерфейс системи знижує ймовірність неправильних або несвоєчасних дій чергового по станції (мовні підказки і логічний контроль над діями людини).

Ураховуючи велику вартість капітальних вкладень на реконструкцію, модернізація технічного оснащення сортувальної станції в сучасних умовах найбільш ефективна і є одним з основних організаційних заходів. На основі застосування новітніх інформаційних технологій заміна централізацій релейного типу на мікропроцесорні централізації є

об'єктивною необхідністю оновлення технологічного процесу управління залізничними перевезеннями і роботою структурних підрозділів залізничного транспорту.

Мікропроцесорна централізація служить сполучною ланкою між первинними джерелами отримання інформації (рухомий склад, об'єкти СЦБ та ін.) і системами управління перевізним процесом більш високого рівня і дає змогу здійснити ув'язку цих джерел без додаткових надбудов, що неможливо зробити при централізації релейного типу [1]. Наприклад, якщо в середньому на станції, обладнаній мікропроцесорною релейною централізацією (МРЦ), на приготування маршруту йде до 1 хв, то за допомогою системи МПЦ це можна зробити за 15 с.

Мікропроцесорна централізація має більш високі показники надійності за рахунок використання можливостей електронних технологій і облаштування 100%-го резерву багатьох складових елементів, тоді як у централізації релейного типу є значна кількість елементів, відмова яких призводить до виходу з дії практично всієї системи [2, 6]. Спроби здійснити дублювання або резервування таких елементів є дорогими й істотних позитивних результатів не дали. Наявність потужної системи самодіагностики мікропроцесорної централізації дає змогу виявляти критичний стан елементів централізації, контролювати всі несправності з виведенням їх на монітори автоматизованих робочих місць оперативного і технічного персоналу (рис. 1).

Одним з найважливіших показників мікропроцесорної централізації є застосування джерел безперебійного живлення, таким чином, підвищується рівень надійності й ефективності. Чого не можна сказати про централізацію релейного типу. Використання дизель-генераторів, у тому числі і автоматизованого типу, не дає змоги уникнути порушень у роботі облаштувань

сигналізації при відключенні зовнішнього електропостачання, зважаючи на значну інерційність системи запуску централізацій релейного типу, що повністю паралізує, хоча і на нетривалий час, роботу станції. Іноді в таких випадках потрібне втручання технічного персоналу для відновлення нормальної роботи пристроїв на станції, що вкрай негативно відбивається на організації руху. Ще один важливий момент, з точки зору забезпечення безпеки руху поїздів, – мікропроцесорна централізація є "безпечнішою", ніж централізація релейного типу. Наприклад, у ній унеможливується переплутування дротів при проведенні робіт, пов'язаних з

відключенням монтажу в релейних приміщеннях або ремонтом кабелів. Після закінчення таких робіт вимагається проводити ретельні перевірки при вкрай уважному і технічно грамотному ставленні до них. Наслідки помилок для безпеки руху поїздів у таких ситуаціях оцінити неможливо. У мікропроцесорній централізації вірогідність таких помилок значно знижується, оскільки кількість релейних елементів і монтажних дротів у ній значно нижча і, крім того, здійснюється логічний контроль роботи багатьох елементів. Дії чергового по станції або диспетчера протоколюються і зберігаються в пам'яті впродовж заданого періоду.



Рис. 1. Робоче місце чергового поста МПЦ

Централізація релейного типу потребує більш високих витрат на її експлуатацію. Передусім це пов'язано з наявністю великої кількості реле (близько 100 реле на одну стрілку), які зазнають перевірки перед введенням у дію централізації і періодичної перевірки і ремонту в процесі експлуатації, що потребує значних трудових витрат. Розміщення і монтаж централізації мікропроцесорного типу можна вести без будівництва приміщень для розміщення

постових облаштувань централізації. Для цього можна використати підсобні приміщення існуючих постів або пристосувати приміщення інших службово-технічних будівель. Ця якість є дуже цінною при проведенні модернізації централізації релейного типу. Наочно це можна побачити нижче. У середньому розмір релейної кімнати МРЦ складає 30 м² (рис. 2), тоді як апаратуру МПЦ можна розмістити в приміщенні 10 м² (рис. 3).



Рис. 2. Релейна кімната МРЦ



Рис. 3. Блокове приміщення МПЦ

Значно знижуються вартість і терміни будівельно-монтажних робіт через скорочення кількості реле, штативів і кабелю, а також пуско-налагоджувальних робіт за браком необхідності підганяння монтажу, виготовлення й установлення громіздких макетів і так далі. Технічні рішення і засоби для централізації релейного типу розроблялися в 60-80-х роках і до цього моменту застаріли. Релейна елементна база, як засіб побудови електричної централізації, практично себе вичерпала. Спроби надання нових якісних показників і розширення функцій електричної централізації призводять до збільшення кількості реле, споживаної електроенергії, витрат на експлуатаційне обслуговування, обсягів проектних і монтажних робіт.

Переваги МПЦ в порівнянні з релейними системами централізації [3]:

- високий рівень надійності за рахунок дублювання багатьох вузлів, включаючи центральний процесор – ядро МПЦ, і безперервного обміну інформацією між цим процесором і об'єктами управління й контролю (що також сприяє підвищенню рівня безпеки);

- можливість управління об'єктами багатьох станцій і перегонів з одного робочого місця;

- можливість інтеграції управління перегінними пристроями СЦБ і приладами контролю стану рухомого складу в одному станційному процесорному пристрої;

- розширений набір технологічних функцій, включаючи замикання маршруту без відкриття світлофора, блокування стрілок у необхідному положенні, заборонних показань світлофорів, ізольованих секцій для виключення задавання маршруту та ін;

- надання експлуатаційному і технічному персоналу розширеної інформації про стан пристроїв СЦБ на станції з можливістю передачі цієї та іншої інформації в центр управління перевезеннями;

- можливість централізованого і децентралізованого розміщення об'єктних контролерів для управління станційними і перегінними об'єктами;

- порівняно просте стикування з системами більш високого рівня управління, можливість безперервного протоколювання дій експлуатаційного персоналу з управління об'єктами і ситуації з просування поїзда на перегонах і станціях;

- наявність вбудованого діагностичного контролю стану апаратних засобів централізації і об'єктів управління й контролю;

- можливість реєстрації номерів поїздів, що прямують по перегонах і станціях, а також усіх відмов об'єктів управління;

- значно менші габарити устаткування і, як наслідок, у 3-4 рази менший об'єм приміщень для його розміщення, що дає змогу замінювати застарілі системи централізації без будівництва нових постів;

- значно менший обсяг будівельно-монтажних робіт;

- зручна технологія перевірки залежностей без монтажу макета за рахунок використання спеціалізованих налагоджувальних засобів; скорочення терміну виключення з роботи станційних і перегінних пристроїв у випадках зміни колійного розвитку станції і пов'язаних з цим залежностей між стрілками і сигналами;

- використання у ролі середовища передачі інформації між облаштуваннями управління і керованими об'єктами не лише кабелів з мідними жилами, але і волоконно-оптичних кабелів;

- можливість отримання з архіву параметрів роботи підлогових пристроїв СЦБ для подальшого прогнозування їх стану або планування проведення ремонту і регулювання, не допускаючи повних відмов цих пристроїв зниження експлуатаційних витрат за рахунок зменшення енергоємності системи, скорочення приблизно на порядок кількості електромагнітних реле і довжини внутрішньопостових кабелів, застосування сучасних джерел живлення, що не обслуговуються, вилучення з експлуатації громіздких пультів управління і маніпуляторів з великою кількістю рукояток і кнопок механічної дії.

Структура МПЦ, що включає програмні й апаратні засоби, побудована за багаторівневою схемою і включає [4]: основне і резервне автоматизоване робоче місце чергового по станції (АРМ ДСП) для задавання команд з управління і візуалізації ситуації з поїздом (рис. 4); автоматизоване

робоче місце електромеханіка (АРМ ШН) для забезпечення можливості видаленого моніторингу стану об'єктів МПЦ; програмований логічний контролер (ПЛК) з програмою логіки центральних залежностей для здійснення маршрутизованих пересувань по станції; апаратуру контролю вільності/зайнятості ділянок колії, схеми комутації стрілок, світлофорів, схеми ув'язки з іншими пристроями (ПАБ, АПС та ін.).



Рис. 4. Структура МПЦ

Система МПЦ побудована із застосуванням захищеної архітектури (дубльована система) і захищеного інтерфейсу з виконавчими об'єктами (безпечні облаштування сполучення з об'єктами УСО). Структура МПЦ дає змогу здійснювати ув'язки з існуючими пристроями ПАБ, АБ, а також інтегрувати сучасні системи інтервального регулювання.

Усі центральні залежності логіки централізації реалізують два ПЛК, що паралельно виконують програми. ПЛК оснащені засобами внутрішньої діагностики, що дає змогу виявити вихід з ладу елементів системи або збій у програмі і привести дискретні виходи і керовані ними підлогові пристрої у безпечний стан. Управління об'єктами робиться за допомогою облаштувань сполучення з об'єктами. Відкрита структура контролерів дає змогу нарощувати і модернізувати МПЦ при виникненні такої необхідності.

Підлогова апаратура МПЦ включає стрілки, світлофори, устаткування переїзду і так далі. При цьому використовуються типові пристрої СЦБ і схеми їх підключення. МПЦ оснащується резервованою системою управління і візуалізації на базі комп'ютерів з клавіатурами і моніторами або проекційною установкою, залежно від розмірів станції.

У МПЦ використовується живильна установка з потужним джерелом безперебійного живлення з акумуляторною батареєю, що не обслуговується, від якої живляться як електронні пристрої, так і рейкові ланцюги, електроприводи, світлофори, реле, що дає змогу виключити

відмови при грозових розрядах, коротких замиканнях у контактній мережі й інших перешкодах.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, упровадження і застосування централізації мікропроцесорного типу порівняно з централізацією релейного типу на сортувальних станціях залізничної інфраструктури є найбільш ефективним з точки зору вирішення поставленої задачі – безпека руху складів з мінімізацією за часом перебування складів на сортувальній станції у сучасних умовах роботи залізничного транспорту.

Список використаних джерел

1. Лекута, Г. Ф. Микропроцессорная централизация [Текст] / Г.Ф. Лекута // Железные дороги мира. – 2003. – №05. – С. 63-69.
2. Тильк, И. Г. Система микропроцессорной централизации МПЦ-И [Текст] / И.Г. Тильк, В.В. Ляной, М.В. Абакумов // Железные дороги мира. – 2007. – № 1. – С. 63-66.
3. Микропроцессорные системы централизации [Текст] / В.В. Сапожников, В.А. Кононов [и др.]. – М., 2006.
4. Смагин, Ю. О. Расширение функциональности системы МПЦ на базе универсальных модульных систем сбора информации и управления. Системная интеграция [Текст] / Ю.О. Смагин, Ю. Шатковский // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №4. – С. 50-54.
5. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог [Текст] / Ф.П. Кочнев, И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.
6. Perrin J.P. Railroad systems: line supervision and control // Concise encyclopedia of traffic & transportation systems. – 1991, P. 353–358.

Калашнікова Тетяна Юріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066) 441-50-42.

E-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Касьянов Илья Игоревич, магистр VI-ОПУТ. Тел.:(095) 770-72-09. E-mail: Kasyanov1912@ukr.net.

Kalashnikova Tetyana Yurievna, PhD. of techn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 441-50-42. E-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Kasianov Ilya Igorovich, master VI-OPUT. Tel.:(095)770-72-09. E-mail: Kasyanov1912@ukr.net.

Стаття прийнята 20.09.2016 р.

УДК 629.463

АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР ТЯГОВОГО ПРИВОДА ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, Є. О. Найдъон, асист. А. Л. Сумцов

АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ И ВЫБОР ТЯГОВОГО ПРИВОДА СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, Е. О. Найден, ассист. А. Л. Сумцов

ANALYSIS OF CIRCUIT DESIGN AND THE CHOICE OF TRACTION DRIVE SPEED ROLLING STOCK

Ph.D. assoc. N. D. Chigirik, E. O. Nayden, assistant A. L. Sumtsov

У даній статті проведено аналіз існуючих схемних рішень тягового привода швидкісного рухомого складу, наводиться опис сучасних конструкцій тягового привода різних країн світу.

Розглядається сучасна концепція вибору типу тягового привода швидкісного рухомого складу, яку можливо застосувати для залізниць країни. Пропонується критерій вибору тягового привода – інтегральний ККД, що враховує ККД привода з урахуванням режимів експлуатації.

Ключові слова: *тяговий привод, швидкісний рухомий склад, коефіцієнт корисної дії, тяговий електродвигун, візок, компенсуюча муфта, тяговий редуктор, колісна пара, локомотив, моторвагонна тяга, зубчасте колесо, режим роботи.*

В данной статье проведен анализ существующих схемных решений тягового привода скоростного подвижного состава, приводится описание современных конструкций тягового привода различных стран мира.

Рассматривается современная концепция выбора типа тягового привода скоростного подвижного состава, которую можно применить для железных дорог страны. Предлагается критерий выбора тягового привода – интегральный КПД, учитывающий КПД привода с учетом режимов эксплуатации.

Ключевые слова: *тяговый привод, скоростной подвижной состав, коэффициент полезного действия, тяговый электродвигатель, тележка, компенсирующая муфта, тяговый редуктор, колесная пара, локомотив, моторвагонная тяга, зубчатое колесо, режим работы.*

The text of the article provided an overview of the existing variants of the configuration of the equipment vehicle-speed locomotives. A list of design features.

The description of the design features of the chassis and traction drives of modern high-speed rolling stock, such as high-speed trains such as TGV-PSE, TGV-A (France), the ICE (Germany), in trial operation - ETR-450 (Italy) and the 300 series (Japan). Currently, all listed above the rolling stock is in regular operation at speeds above 250 km / h.

High speed trains TGV-PSE consist of eight two intermediate wagons and locomotives odnokabinnye at both ends of the train. Electric and one side followed by a car based on its own two-axle motor truck, all the rest - on the intermediate support trolleys (so-called Jacobs bogie design).

Features of the traction drive in these trains is applied frantsuskimi engineers "Tripod" coupling of Voith firm, which could compensate for the greatly enlarged axial displacement of the wheelset and gear.

Trains ISE (Intercity Express) as standard version consists of 12 wagons and two locomotives odnokabinnye at the ends of the composition. Motorized carts are driven class III and partially unloaded of the weight of the motor-gear units, which are based on the engine side to the body bracket.

Italian high-speed train ETR-500 is designed to work on high-speed section of the line Rome-Florence at a speed of 270 km / h to 300 km / h Traction drive used on this train -. Individual, class III. Unlike other high-speed trains traction motors and gear units are combined into a common unit, hanging on four suspensions under the body.

In Japan, in contrast to the European countries adopted a layout diagram of the rolling stock, motor car GSP. Short truck and on it the location of the engines help to maintain the profile of a band in a state close to the original.

A special feature is the design of the drive without gear drive class III, which is implemented on an experimental electric 85E0 company "Skoda".

We describe the phases, the algorithm procedure aimed at selection of the traction drive circuits, the formulas for the calculation of basic parameters.

At the end of the main text of the article presents the findings of the successful use of the proposed method of optimal design choice of the traction drive speed locomotives, respectively, and the vehicle-parts.

Keywords: *tractiondrive, high-speedrollingstock, efficiency, tractionmotor, truck, compensating clutch, traction gearboxwheelset, locomotive, railcartraction, gearoperation.*

Вступ. Постійне зростання пасажиропотоку на залізницях України і вимоги до швидкості перевезення пасажирів привели в останні роки до створення швидкісних поїздів, які здійснюють перевезення пасажирів між великими містами [1]. Однак швидкість руху таких поїздів обмежена через застосування на них застарілого рухомого складу, а саме тягового рухомого складу.

Ще в середині ХХ століття до категорії "високошвидкісного" на залізничному транспорті відносили рух зі швидкостями 140-160 км/год. За останні роки межа високошвидкісного руху піднялася до значення 200 км/год [2].

Основним елементом електрорухомого складу є тяговий електропривод – сукупність пристроїв, призначених для перетворення електричної енергії, одержуваної з контактної мережі, у корисну роботу з переміщення електрорухомого складу [3]. Найважливішим завданням, яке потребує вирішення, є створення мережі

швидкісних магістралей та рухомого складу і його найважливішого елемента – тягового електропривода. Саме від його енергетичної ефективності і витрат на експлуатацію буде залежати конкурентоспроможність пасажирських перевезень на швидкісних лініях [4].

Тому аналіз існуючих схемних рішень тягового привода, які вже впроваджені на існуючому тяговому рухомому складі розвинутих країн, та вибір оптимальної конструкції має для залізничного транспорту особливе значення.

Мета статті. Проаналізувати стан технічних рішень та конструкцію тягових приводів швидкісного рухомого складу, які серійно експлуатуються в різних країнах, та запропонувати алгоритм вибору схемних рішень тягового привода візка швидкісних локомотивів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останнє десятиліття на залізничному транспорті йшло інтенсивне освоєння швидкостей 250-300 км/год, для

чого у Франції, Англії, ФРН, Італії, Японії були розгорнуті широкі теоретичні та експериментальні дослідження і перш за все в напрямку вдосконалення ходових частин і тягового привода [2, 5,6].

Із загальних вимог до механічної частини стосовно високошвидкісного рухомого складу домінуючими стали вимоги безпеки руху та комфорту без зниження техніко-економічної ефективності [7,8]. На перший план вийшли проблеми забезпечення динамічної стійкості візка, зменшення реакцій на збурення кінематичного характеру (нерівностей у профілі і плані), а також здатність рухомого складу довго зберігати свої динамічні характеристики в процесі експлуатації. Відносно комфорту для пасажирів поряд з необхідністю забезпечити плавність ходу і низький рівень шуму в умовах зрослих збурень виникла проблема захисту пасажирів від кидка тиску повітря при вході поїзда в тунель і проході зустрічних поїздів [8].

Основна частина дослідження. Як показує аналіз схемних рішень екіпажної частини, з двох можливих підходів до компонування високошвидкісного поїзда – моторвагонного й електровозного – основним став другий, який прийнятий у всіх країнах, окрім Японії [2,7].

Тяговий привод з інверторними перетворювачами й асинхронними тяговими електродвигунами визначив успіх у створенні високошвидкісних поїздів останніх двох десятиліть. Прогрес у галузі нової елементної бази – поява у 80-ті роки тиристорів, які запираються (GTO), – дав змогу спростити схеми перетворювачів, скоротити кількість елементів і почати широке використання на залізничному транспорті потужних, компактних, надійних і відносно дешевих асинхронних тягових двигунів.

Далеко не всі запропоновані спочатку технічні рішення виявилися ефективними та життєздатними.

Тричі зазнавала істотних змін конструкція моторного візка французького TGV; поява італійського швидкісного електропоїзда ETR-500 підготовлена дослідною експлуатацією поїзда ETR-450 на швидкостях до 250 км/год; англійський швидкісний електропоїзд АРТ був відставлений на стадії експлуатаційних випробувань [5,6].

У цей час у регулярній експлуатації при швидкостях вище 250 км/год перебувають високошвидкісні поїзди типів TGV-PSE, TGV-A (Франція), ICE (Німеччина), у дослідній експлуатації – типу ETR-500 (Італія), серії 300 (Японія).

Високошвидкісний поїзд TGV-PSE складається з восьми проміжних вагонів і двох однокабінних локомотивів у голові і хвості; навантаження від осі на рейки 170 кН. Електровоз і одна сторона наступного за ним вагона спираються на власні двовісні моторні візки, усі інші – на проміжні підтримуючі візки, на які спираються два суміжних кінці сусідніх вагонів (так звані візки Якобса).

Головне завдання – забезпечення динамічної стійкості при високих швидкостях. Це досягається за рахунок великої бази візка, зменшення її маси за рахунок перенесення на кузов кріплення моторно-редукторного блока (МРБ). Це дало зниження (у порівнянні з TGV-001) маси візка на 3,3 т, тобто практично удвічі. Був також введений гаситель коливань вилання з «фрикційною» характеристикою [7].

Значних змін зазнав у процесі відпрацювання тяговий привод поїзда TGV. У прототипі TGV-001 був застосований класичний для французьких локомотивів привод класу III з муфтою поздовжньої компенсації типу Жакмен. Однак через перенесення моторно-редукторних блоків на кузов муфта типу Жакмен не могла компенсувати значно збільшені осьові зміщення колісної пари і редуктора.

Конструктори були змушені повернутися до привода класу II – встановити

редуктор з опорно-осьовим підвішуванням для того, щоб використовувати вдалу конструкцію муфти поздовжньої компенсації «Трипод» у зв'язку редукторів з опорно-осьовим і рамним підвішуванням. Муфта «Трипод» фірми Voith складається з двох шарнірів Гука, рознесених на 0,9 м, і оригінального шліцьового вала, у якому на відміну від звичайних шліцьових валів при осьовому переміщенні реалізується тертя кочення, а не ковзання. Внутрішній вал муфти несе кульові головки, що обертаються на голчастих підшипниках трьох пальців. Кульові головки можуть переміщатися в осьовому напрямку на відстань ± 120 мм по трьох циліндричних пазах (рис. 1).

Таким чином, вирішуються дві важливі проблеми: зниження осьових сил тертя (за даними французьких фірм у 10 разів у порівнянні зі звичайним шліцьовим валом) і зменшення зносів [5,7].

Конструкція муфти «Трипод» з невеликими змінами перейшла і в подальші

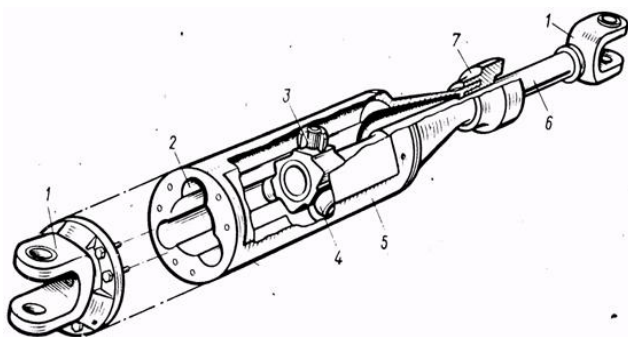


Рис. 1. Тягова муфта «Трипод»:

1 – вилка шарніра Гука; 2 – циліндричний паз; 3 – голчастий підшипник; 4 – сферичний ролик; 5 – корпус муфти; 6 – ведений вал муфти; 7 – ущільнення рухомого вала

моделі поїздів TGV, незважаючи на збільшення потужності тягового двигуна. Ревізія з розбиранням муфти «Трипод» передбачена через 2,5 млн км, для осьового редуктора – через 600 тис. км, для кузовного – через 1 млн км [9].

Поїзд ICE (Інтерсіті-експрес) у серійному варіанті складається з 12 вагонів і двох однокабінних електровозів у голові і хвості поїзда; передбачується максимальна швидкість в експлуатації 250-280 км/год, максимальне навантаження від осі колісної пари на рейки 199 кН [6].

Моторні візки мають привод класу III і частково розвантажені від ваги моторно-редукторних блоків, які спираються з боку двигунів на кронштейни кузова. З другого боку редукторний блок спирається через дві коліскові підвіски на кінцеву балку візка, яка при повороті візка під кузовом «підтягує» його, не даючи веденому зубчастому колесу редуктора зміщуватися відносно колісної пари на відстані, більші ніж може витримати тягова муфта (рис. 2).

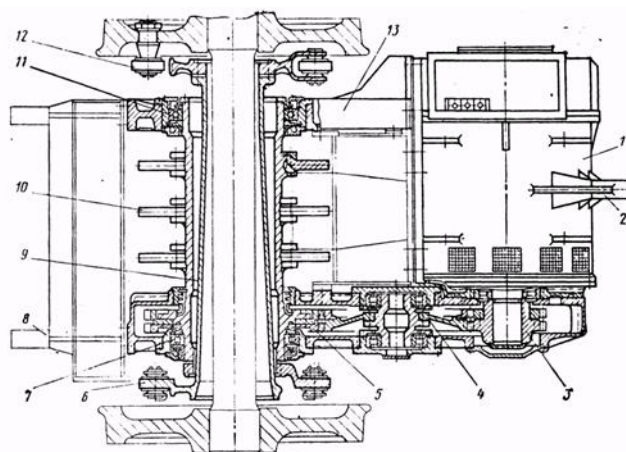


Рис. 2. Тяговий привод поїздів ICE:

1 – асинхронний тяговий двигун; 2 – кронштейн підвісу МРБ до кузова; 3, 4, 5 – шевронні шестерні; 6, 12 – шарнірно-повідкові напівмуфти; 7, 11 – підшипники; 8 – кронштейн коліскової підвіски МРБ; 9 – порожнистий вал тягової муфти; 10 – гальмівні диски; 13 – несуча рама МРБ

Особливість тягової передачі – застосування рамного підвішування редуктора з шевронними зубчастими колесами. Порожній вал веденого зубчастого колеса обертається в широко рознесених підшипниках, що дає змогу використовувати його середню частину для установаження трьох гальмівних дисків. Для розміщення їх тяговий двигун віднесений від осі колісної пари, через те, що треба було застосувати редуктор з проміжною шестірнею. Шестірня має великий діаметр, що полегшує роботу її зубів і підшипників [10].

Усередині порожнистої маточини веденого колеса пропущений проміжний порожнистий вал муфти 9 має великі осьові розміри, що сприяють зниженню амплітуд змінних складових деформації гумових втулок сайлентблоків повідків муфти при її розцентруванні, що дуже важливо для забезпечення їх довговічності. Водночас поперечна рухомість МРБ по відношенню до колісної пари, неминуха внаслідок відносних поперечних зсувів кузова і візка та коливань МРБ на колісці, викликає суттєві додаткові перекося повідків, негативно впливаючи на довговічність гумометалевих шарнірів.

Італійський високошвидкісний поїзд ETR-500 призначений для роботи на швидкісній ділянці лінії Рим - Флоренція зі швидкістю 270 км/год до 300 км/год). Поїзд складається з 12 вагонів, головного і хвостового однокабінних локомотивів.

У процесі проектування порівнювалися різні варіанти компоновання ходових частин, у результаті чого було обрано двовісний візок з базою 3 м і двигуни, які підвішені до кузова (рис. 3).

Тяговий привод індивідуальний, класу III. На відміну від інших високошвидкісних поїздів тягові двигуни і редуктори об'єднані в загальний блок, що висить на чотирьох підвісках під кузовом. Шарнірно-повідкова муфта поздовжньої компенсації з довгим порожнистим валом з'єднує ведене зубчасте колесо з колісною парою. У поздовжньому напрямку кузов

пов'язаний з рамою візка брусом низької тяги, шарнірно закріпленим на поперечній балці візка. Таким чином, візок повністю звільнений від жорсткого зв'язку з масами моторно-редукторного блока як у вертикальному, так і в поперечному напрямку. Це сприяє підняттю критичної швидкості виляння візка і зниженню впливу на колію при русі з великими швидкостями в прямих ділянках колії і кривих великих радіусів [2,7,11].

На відміну від європейських країн у Японії прийнято моторвагонний варіант високошвидкісного рухомого складу з більш низьким навантаженням від осі на рейки – 150 кН [5,7].

У конструкції всіх тягових двигунів збереглися деякі вихідні принципи:

- використання тягового привода класу II, у якому тягові двигуни постійного струму з'єднані з одноступінчастим косозубчастим редуктором за допомогою зубчастої муфти;

- буксовий вузол з пластинчастими повідками, розташованими в одному рівні, буксові підшипники – по два радіальних з циліндричними роликками та одному опорному кулькового типу на буксу;

- осі колісних пар порожнисті;

- ресорне підвішування в буксовому ступені пружинне, в кузовному – пневматичне [12].

Короткий візок (база 2,6 м) і розташування на ньому двигунів не сприяють підвищенню критичних швидкостей (до 275 км/год.). У той же час сприяють підтримці профілю бандажа в стані, близькому до вихідного.

Особливий інтерес представляє безредукторний привод класу III, який реалізований на дослідному електровозі 85E0 фірми «Шкода» (рис. 4). Асинхронний тяговий двигун 6 із порожнистим валом 3 охоплює з зазором вісь колісної пари, укріпленої на рамі візка. З порожнього вала якоря момент через муфти поперечної компенсації 2 передається на диски колісних пар [7].

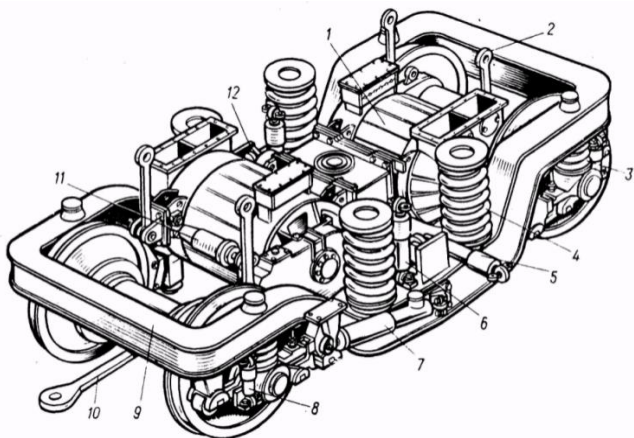


Рис. 3. Візок електропоїзда ETR-500:
 1 – тяговий двигун; 2 – підвіска моторно-редукторного блока; 3, 4 – пружини буксового і кузовного ступеня; 5, 6 – гідравлічні гасителі поперечних і вертикальних коливань кузова; 7, 8 – гідравлічні гасителі коливань візка; 9 – порожнистий вал тягової муфти; 10 – брус «низької тяги»; 11 – пружний механізм; 12 – упор для пневмобалона поперечного зв'язку

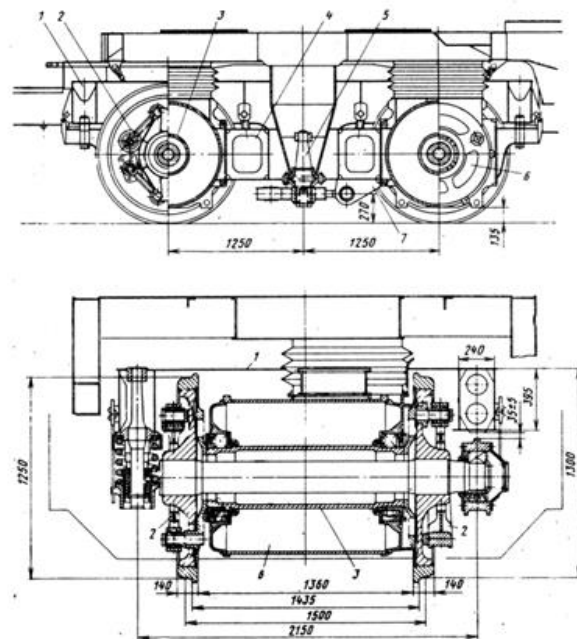


Рис. 4. Безредукторний тяговий привод третього класу електровоза 85E0:
 1 – рама візка; 2 – тягова муфта поперечної компенсації; 3 – порожнистий вал тягового двигуна; 4 – проміжна поздовжня балка; 5 – шворінь; 6 – тяговий двигун; 7 – кронштейн кріплення повідка тягового двигуна

В електропоїзді Шкода кожна вісь моторного візка обладнана тяговою системою, яка складається з тягового електродвигуна, пружної муфти та редуктора (рис. 5).

Редуктор змонтований на осі й утримується на трубчастому ригелі за допомогою реактивної штанги, яка має гумову втулку на обох кінцях. Обмежувач безпеки не дає редуктору впасти на залізничну колію в разі поломки реактивної штанги.

Пружна муфта виготовлена з урахуванням поглинання відносних зсувів осей тягового двигуна і редуктора під час коливань первинної підвіски.

В електропоїзді Хюндай між тяговим двигуном і колісною парою встановлена так звана коробка передач (рис. 6). Мова йде про двоступінчастий редуктор (чотири зубчастих колеса) з шестірнею, яка запресована на конічному кінці вала двигуна, що перебуває в зчепленні з великим проміжним колесом, установленим на проміжному валу.

Коробка передач болтами з'єднана з тяговим двигуном (на стороні шестірні), іншою стороною (з боку великого зубчастого колеса) вона закріплена болтами через гумовий сайлентблок у консолі під трубчастим буферним брусом рами візка.

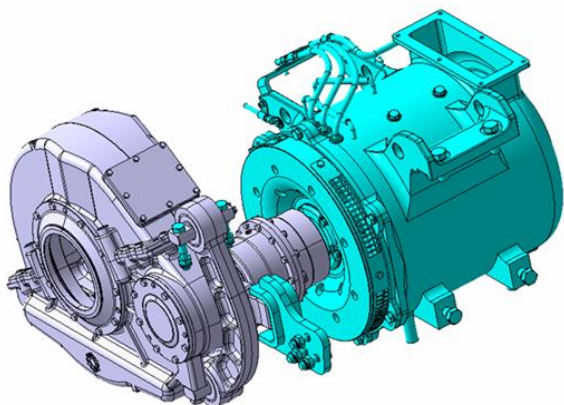


Рис. 5. Тягова система моторних візків

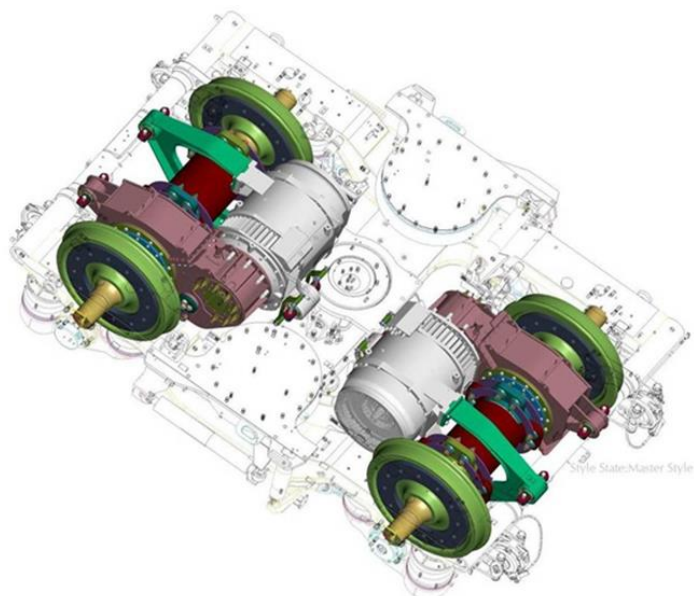


Рис. 6. Колісно-моторні блоки у візку моторного вагона

Вищенаведений аналіз дав змогу виявити деякі стійкі тенденції у схемних рішеннях і конструкціях екіпажної частини і тягового привода швидкісних локомотивів [5,7,8,10]:

- перенесення моторно-редукторної групи хоча б частково на кузов;
- збільшення бази візка і зниження його маси;
- обов'язкове застосування гасителів коливань з прямокутною характеристикою для стримування виляння;
- гнучкий поперечний зв'язок візка з кузовом;
- орієнтація в основному на привод класу III;
- асиметричний однокабінний кузов головного вагона;
- дискові гальма та ін.

Для вибору тягового привода швидкісного рухомого складу необхідно на першому етапі виробити концепцію тяги – моторвагонна або локомотивна, визначитися з осью характеристикою або з кількістю вагонів – кількість обмоторених осей і визначити чи вибрати основні швидкісні характеристики за існуючими методиками (розрахункова

швидкість руху, конструкційна швидкість руху, прискорення в різних режимах) [13]. На цьому етапі бажано визначити попередню тягову характеристику, а також вибрати рід струму (змінний, постійний, двосистемний, багатосистемний).

На другому етапі необхідно провести оптимальне проектування альтернативних типів тягових приводів за визначеними на першому етапі характеристиками. Залежно від роду струму можливий певний набір типів тягових приводів, які реалізують необхідні характеристики при застосуванні різних типів електромеханічних перетворювачів енергії (тягових двигунів).

З точки зору математики, такий підхід можна уявити множиною тягових приводів:

$$D = M \cap C \cap MD, \quad (1)$$

де M – множина типів тягових двигунів;
 C – множина типів перетворювачів;
 MD – множина типів механічних частин тягових приводів.

Для кожного з типів тягового привода проводиться оптимальне проектування

елементів його конструкції. Критерії для оптимізації викладені в роботах [7,9,13,14].

Завдання третього етапу – визначення оптимальних керуючих впливів у всьому просторі тягових характеристик привода і миттєвого ККД.

Двовимірний простір «швидкість руху – сила тяги FV » визначає всі статичні режими роботи тягового привода. У цьому просторі виділяється область D , у якій реалізуються всі тягові і гальмівні характеристики тягового привода. На цьому етапі для кожної точки цієї області необхідно знайти оптимальне значення вектора керуючих впливів і визначити ККД тягового привода при цих оптимальних співвідношеннях.

У результаті третього етапу отримана векторна функція оптимальних значень параметрів управління:

$$[U] = f(V, F). \quad (2)$$

ККД тягового привода в усіх статичних режимах його роботи, яке можна назвати миттєве ККД привода:

$$\eta_i = f(V, F). \quad (3)$$

На четвертому етапі визначається ймовірність роботи привода для будь-якої точки простору FV . Імовірність роботи

привода в режимі при певних співвідношеннях сили тяги і швидкості:

$$Z(F, V) = \Sigma t(F, V) / T, \quad (4)$$

де $\Sigma t(F, V)$ – сумарний час роботи привода в (V, F) -му режимі; T – час тягової роботи електропривода.

Ця залежність може бути визначена різними способами [13].

У результаті вийде залежність

$$Z = f(V, F). \quad (5)$$

Завдання п'ятого етапу – визначення інтегрального ККД тягового привода і прийняття рішення про вибір оптимального типу привода. Методика визначення інтегрального ККД наведена в роботах [14,15].

На підставі отриманих даних можна бути зробити висновок про обрану схему і конструкцію привода швидкісного рухомого складу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведений аналіз технічних рішень тягового привода швидкісного тягового рухомого складу та порядок вибору дає можливість отримати оптимальний тип тягового привода.

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 299 с.
2. Корниенко, В. В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.
3. Калинин, В. К. Электровозы и электропоезда [Текст] / В.К. Калинин. – М.: Транспорт, 1991. – 480 с.
4. Програма енергозбереження на залізничному транспорті [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 1997. – 30 с.
5. Блохін, Є. П. Високошвидкісний наземний транспорт світу [Текст]: підручник / Є.П. Блохін, О.М. Пшінько. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – 240 с.
6. Айкхофф, Дитер. Всё о поездах ICE [Текст] / Дитер Айкхофф; пер. с нем. – М.: ГОУ «Учебно-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 126 с.

7. Механическая часть тягового подвижного состава [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак [и др.]; под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
8. Цыганков, П. Ю. Совершенствование конструкции тележек скоростных локомотивов с целью улучшения их динамики [Текст]: автореф. дисс... канд. техн. наук / П.Ю. Цыганков. – М., 2002. – 24 с.
9. Любарский, Б. Г. Тяговый привод для высокоскоростного подвижного состава [Текст] / Б.Г. Любарский, Д.Ю. Зюзин, Е.С. Рябов, Т.В. Глебова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – №42. – С. 72-77.
10. Тележки фирмы SLM с радиальной установкой колесных пар в кривых [Текст] // Железные дороги мира. – 1998. – № 3. – С. 42–47.
11. Смит, Р. Е. Тележки с радиальной установкой колесных пар в кривых [Текст] / Р.Е. Смит, Р. Дж. Андерсон // Железные дороги мира. – 1989. – № 12. – С. 39-51.
12. Новая тележка для дизель-поездов железных дорог Японии [Текст] // Железные дороги мира. – 2001. – № 9. – С. 48-50.
13. Любарский, Б. Г. Концепция выбора типа тягового электропривода современного скоростного подвижного состава [Текст] / Б.Г. Любарский // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – №74. – С. 58-64.
14. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов [Текст] / А.Д. Степанов [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 254 с.
15. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов [Текст] / В. И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заповольский, С.Ю. Леонов. – Харьков: ХФИ, Транспорт Украины, 2003. – 248 с.
16. Kałuża A., General statistics of diesel engines' idle time: Shunting locomotives in industrial sidings in Poland 2009...2013 [Текст] // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - Vol. 49, 2016. – P. 82-93.
17. Saadat M., Esfahanian M., Saket M.H., Energy-efficient operation of diesel–electric locomotives using ahead path data [Текст] // Control Engineering Practice. –Vol. 46, 2016. – P. 85-93.

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730-19-99.

Найдьон Євгеній Олександрович, магістрант, група TEMPUS-B-15-Л, машиніст електровоза депо ТЧ20 «Ясинувата». Тел.: (050) 769-87-76. E-mail: Naiden87@mail.ru.

Сумцов Андрій Леонідович, асистент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730 19-99.

Chigirik Nataliya Dmitrivna, techn. Ph.D., assoc. of department "Maintenance and repair of rolling stock." Tel.: 730 19-99.

Naydon Evgeniy Oleksandrovych, magistrant, groups TEMPUS-B-15-L, mashinist elektrovoza depot TCH20 "Yasinuvata". Tel.: (050) 769-87-76. E-mail: Naiden87@mail.ru.

Sumtsov Andriy Leonidovich, assistant of the department "Maintenance and repair of rolling stock". Tel.: 730 19-99.

Стаття прийнята 20.09.2016 р.

УДК 656.212.5

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ У РОБОТІ ПІДСИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ СТАНЦІЇ МІЖ СОБОЮ ТА З ПРИЛЕГЛИМИ ДІЛЬНИЦЯМИ ЗА УМОВ НЕОБХІДНОСТІ ЗВАЖУВАННЯ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашнікова, Д. О. Кравченко, Я. С. Звягінцев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАБОТЕ ПОДСИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МЕЖДУ СОБОЙ И С ПРИЛЕГАЮЩИМИ УЧАСТКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОБХОДИМОСТИ ВЗВЕШИВАНИЯ ВАГОНОВ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашникова, Д. О. Кравченко, Я. С. Звягинцев

MODELING OF PROCESSES OF INTERACTION IN THE WORK OF THE SUBSYSTEMS OF TECHNICAL STATION BETWEEN THEMSELVES AND WITH THE ADJACENT AREAS IN CONDITIONS OF THE NEED OF WEIGHING WAGONS

Cand. of techn. sciences T. Y. Kalashnikova, Y. S. Zviahintsev, D. O. Kravchenko

У статті проаналізовано особливості технології роботи технічної станції за умов необхідності зважування вагонів.

Проведено дослідження технології обробки поїздів і вагонів на станції та статистичних даних про поїздопотоки. Наведено методику визначення стаціонарності роботи підсистем станції між собою та з прилеглими ділянками. Надано пропозиції щодо удосконалення існуючої методики. За умов додаткової операції зважування вагонів проведено моделювання роботи станції як багатофазної системи масового обслуговування з трьома підсистемами.

Визначено відповідність технічного оснащення станції обсягам роботи.

Ключові слова: залізничний транспорт, технічна станція, технологія обробки поїздів, інтенсивність, система масового обслуговування.

В статье проанализированы особенности технологии работы технической станции в условиях необходимости взвешивания вагонов.

Проведено исследование технологии обработки поездов и вагонов на станции и статистических данных о поездопотоках. Приведена методика определения стационарности работы подсистем станции между собой и с прилегающими участками. Даны предложения по совершенствованию существующей методики. В условиях дополнительной операции взвешивания вагонов проведено моделирование работы станции как многофазной системы массового обслуживания с тремя подсистемами.

Определено соответствие технического оснащения станции объемам работы.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, техническая станция, технология обработки поездов, интенсивность, система массового обслуживания.

The features of technology work of the technical station in conditions of the need of weighing wagons are analysed in the article.

The investigation of processing technology of trains and cars at the station and statistics about the flow of trains was held. Method of determining of the stationarity work of station subsystems between themselves and with the surrounding areas is given. Suggestions on

improvement of existing method are given. In condition of additional operation of weighing wagons it was held the modeling work station as a multiphase system of the queuing system with three subsystems.

It was defined the conformity of the station technical equipment with the volumes of work.

Keywords: railway transport, technical station, technology of processing trains, the intensity, the queuing system.

Вступ та актуальність теми. Для досягнення стаціонарної роботи та для прискорення обробки вагонопотоків на станції повинна бути встановлена раціональна взаємодія в роботі парків та сортувальних пристроїв між собою та з прилеглими дільницями. З цією метою технічну станцію, як багатофазну систему масового обслуговування (СМО), доцільно поділити на підсистеми. Ефективність регулювальних заходів залежить від раціонального використання технічного обладнання станції і в першу чергу колійного розвитку і сортувальних пристроїв.

Як найбільш дієві застосовуються такі заходи:

- прискорення обробки составів;
- визначення раціональної черговості розформування составів;
- максимальне скорочення міжопераційних перерв;
- як найшвидше звільнення колій для приймання поїздів;
- звільнення гірки або витяжної колії.

Для скорочення часу перебування на станції вагонів, що потребують прискореної доставки в пункт призначення, застосовується пріоритетний режим їх переробки, який передбачає першочерговість обслуговування, розформування, формування і відправлення составів, що містять такі вагони.

Аналіз літературних джерел. Взаємодія підсистем у роботі сортувальної станції розглядається з точки зору уявлення сортувальної станції як системи масового обслуговування, яку поділено на три підсистеми [1, 2]. Такий поділ не завжди враховує наявність додаткових технологічних задач, що постають у процесі обробки вагонопотоків. Наприклад,

на перевантажувальних станціях існує необхідність пропуску поїздів через ваги з метою зважування [3].

Мета і задачі дослідження. Доцільним у системі надходження, переробки вагонів та формування поїздів на технічній станції за умов необхідності зважування вагонів передбачити дану додаткову технологічну операцію та провести моделювання, що дає змогу визначити рамки ефективної взаємодії всіх підсистем і фаз.

Виклад основного матеріалу. Як система виступає технічна станція, що включає парк приймання, гірку, сортувальний парк, витяжки формування та парк відправлення. Підсистеми станції розподілено таким чином [1, 2]:

перша підсистема «Вхідні дільниці – Парк приймання – Гірка» (ВД-ПП-Г);

друга підсистема «Парк формування – Витяжки формування» (СП - ВФ);

третья підсистема «Парк відправлення – Вихідні дільниці» (ПВ-ВД).

Аналіз існуючої методики та технології роботи станції, а саме наявність ваг у вхідній горловині станції, виявив можливість її удосконалення, а саме:

1) доповнення першої підсистеми додатковою фазою – проходження поїзда по вагах з позначенням самої підсистеми як «Вхідні дільниці – Ваги – Парк приймання – Гірка» (ВД-Ваги-ПП-Г). При цьому покращення технології роботи залізничної станції можливе за рахунок модернізації технічних пристроїв, а саме переобладнання існуючої вагової колії сучасними типами вагів «ДВ-200000» [3];

2) доцільно всі параметри системи подати у вигляді інтенсивності вхідного потоку та інтенсивності потоку обслуговування (табл. 1).

Результати моделювання стаціонарності системи

| Фаза | Перша підсистема ВД-Ваги-ПП-Г | | Друга підсистема СП-ВФ | Третя підсистема ПВ-ВД | |
|---------------------------------------|--|--|---|--|---|
| | І фаза | 2 фаза | | 1 фаза | 2 фаза |
| Вихідні дані | $t_{np}^{TO} = 30$ хв, звідки $\lambda_{np}^{TO} = 2$ год ⁻¹ ; $B_{np}^{TO} = 1$. | $t_2 = 39$ хв, звідки $\lambda_2 = 1,54$ год ⁻¹ ; $\rho_2 = 0,10$. | $T_\phi = 13,6$ хв, звідки $\lambda_\phi = 4,6$ год ⁻¹ ; $\lambda_n = \lambda_{vx}$; $\rho_\phi = 0,10$. | $t_{vid}^{TO} = 30$ хв, звідки $\lambda_{vid}^{TO} = 2$ год ⁻¹ ; $B_{vid}^{TO} = 1$. | $I_{vid} = 0,6$ год; $\rho_{vid} = 0,10$; $\lambda_{vix} = \lambda_{vx}$. |
| Умова | $\lambda_{vx} < \lambda_B < \lambda_{np}^{TO} \cdot B_{np}^{TO}$ та $\lambda_{vx} < \lambda_2$ та $\lambda_n < \lambda_\phi \cdot M_\phi$ та $\lambda_{vix} < \lambda_{vid}^{TO} \cdot B_{vid}^{TO}$ та $\lambda_{vix} < \lambda_{vid}$ або з урахуванням резерву | | | | |
| λ_{vx} , год ⁻¹ | $\frac{\lambda_{vx}}{\lambda_{np}^{TO} \cdot B_{np}^{TO}} < 1$ та | $\frac{\lambda_{vx}}{\lambda_2} \leq 1 - \rho_2$ | $\frac{\lambda_n}{\lambda_\phi \cdot M_\phi} \leq 1 - \rho_\phi$ | $\frac{\lambda_{vix}}{\lambda_{vid}^{TO} \cdot B_{vid}^{TO}} < 1$ та | $I_{vid} \leq \frac{1 - \rho_{vid}}{\lambda_{vix}}$ |
| 0,2 | 0,1 < 1,00 | 0,13 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,1 < 1 | 0,60 < 4,50 |
| 0,3 | 0,15 < 1,00 | 0,20 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,15 < 1 | 0,60 < 3,00 |
| 0,4 | 0,2 < 1,00 | 0,26 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,2 < 1 | 0,60 < 2,25 |
| 0,5 | 0,25 < 1,00 | 0,33 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,25 < 1 | 0,60 < 1,80 |
| 0,6 | 0,3 < 1,00 | 0,39 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,3 < 1 | 0,60 < 1,50 |
| 0,7 | 0,35 < 1,00 | 0,46 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,35 < 1 | 0,60 < 1,29 |
| 0,8 | 0,4 < 1,00 | 0,52 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,4 < 1 | 0,60 < 1,13 |
| 0,9 | 0,45 < 1,00 | 0,59 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,45 < 1 | 0,60 < 1,00 |
| 1 | 0,5 < 1,00 | 0,65 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,5 < 1 | 0,60 < 0,90 |
| 1,1 | 0,55 < 1,00 | 0,72 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,55 < 1 | 0,60 < 0,82 |
| 1,2 | 0,6 < 1,00 | 0,78 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,6 < 1 | 0,60 < 0,75 |
| 1,3 | 0,65 < 1,00 | 0,85 < 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,65 < 1 | 0,60 < 0,69 |
| 1,4 | 0,7 < 1,00 | 0,91 > 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,7 < 1 | 0,60 < 0,64 |
| 1,5 | 0,75 < 1,00 | 0,98 > 0,90 | 0,88 < 0,9 | 0,75 < 1 | 0,60 > 0,60 |

Узагалі обов'язковим вважалося виконання умов у межах підсистеми, що інтенсивність у кожній наступній $i+1$ -й фазі повинна перевищувати або дорівнювати інтенсивності попередньої i -ї

$$\lambda_i < \lambda_{i+1} \text{ або } \frac{\lambda_i}{\lambda_{i+1}} \leq 1 - \rho,$$

де ρ – резерв відповідної фази.

Прийнято, що $\lambda_{\text{вх}}, \lambda_{\text{вих}}, \lambda_B, \lambda_{\text{пр}}^{TO}, \lambda_{\text{від}}^{TO}, \lambda_2, \lambda_n, \lambda_\phi, \lambda_{\text{від}}$ – відповідно інтенсивність вхідного потоку поїздів, що надходять у переробку, вихідного потоку поїздів, що формуються, зважування поїздів на вагах, обробки поїздів бригадами ТО по прийманню та відправленню, розформування состава, накопичення, формування та відправлення.

Але при переході з однієї фази до наступної кількість поїздів, тобто інтенсивність вхідного потоку ніяк не змінюється, тому доцільним є все ж таки враховувати саме цю інтенсивність при надходженні на кожну окрему фазу.

Як вихідні дані прийнято обсяги роботи станції у найбільш та найменш завантажені періоди, а також, для можливості моделювання, зміна вказаних показників у зазначених межах. Технологічні норми виконання операцій прийнято згідно зі статистичними спостереженнями.

На підставі наведеної методики з урахуванням пропозицій щодо її удосконалення проведено моделювання роботи станції як багатофазної СМО з трьома підсистемами (табл. 1).

Результати моделювання наведено у таблицях, де у першу чергу визначено необхідну кількість локомотивів як по районах роботи, так і взагалі по станції в залежності від інтенсивності вхідного потоку поїздів за добу (табл. 2). Уже потім

проведено визначення умов стаціонарності за виведеними формулами [4,5] у нижній частині табл. 1.

Визначено, що при існуючому вхідному потоці з інтенсивністю $\lambda_{\text{вх}}$ від 0,20 до 0,75 год⁻¹ (5-17 поїздів на добу) достатньо двох локомотивів для виконання робіт на гірці, формування составів у хвості сортувального парку та місцевої роботи. Більш того, існує резерв використання цих локомотивів, які можуть забезпечити інтенсивність вхідного потоку до 1,3 год⁻¹ (до 31 поїзда на добу).

Перевірка умов стаціонарності також свідчить, що при існуючому технічному оснащенні та прийнятій технології обробки поїздів граничним значенням інтенсивності вхідного потоку є 1,3 год⁻¹. При значенні $\lambda_{\text{вх}}=1,4$ год⁻¹ у другій фазі першої підсистеми потрібно було б внести зміни до обслуговування поїздів бригадами ТО: збільшити їх кількість до 2, що також скоротить час обробки поїзда у парку приймання. У другій фазі третьої підсистеми інтервал відправлення потребує незначного зменшення задля забезпечення резерву.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, розроблена модель дає змогу визначити відповідність потужностей станції обсягам роботи. Визначено, що для забезпечення обсягів роботи зазначеної технічної станції задля її стаціонарного функціонування цілком достатньою є наявність двох маневрових локомотивів (а при $\lambda_{\text{вх}} \leq 0,6$ год⁻¹ і одного), кількість бригад ТО у парках приймання та відправлення – по одній при часі обробки состава 30 хв та інтервалі відправлення 0,6 год.

Таблиця 2

Розрахунок необхідної кількості маневрових локомотивів на вантажній станції за
ЛОКОМОТИВО- хвилинами

| $\lambda_{вх},$ год ⁻¹ | Локомотиво-хвилини | | | | Кількість локомотивів | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------|-----------------------|-----------------|--------------------|--------|-----------------------|
| | розформу- вання | форму- вання | місцевої роботи | всього | розформу- вання | форму- вання | місцевої роботи | всього | прийнята кількість |
| 0,2 | 187,2 | 110,68 | 47,718 | 350,1 | 0,1476 | 0,0873 | 0,0376 | 0,2726 | 1 |
| 0,3 | 280,8 | 166,02 | 71,576 | 521,4 | 0,2215 | 0,1309 | 0,0564 | 0,4088 | 1 |
| 0,4 | 374,4 | 221,36 | 95,435 | 693,45 | 0,2953 | 0,1746 | 0,0753 | 0,5451 | 1 |
| 0,5 | 468 | 276,71 | 119,29 | 865,8 | 0,3691 | 0,2182 | 0,0941 | 0,6814 | 1 |
| 0,6 | 561,6 | 332,05 | 143,15 | 1038,3 | 0,4429 | 0,2619 | 0,1129 | 0,8177 | 1 |
| 0,7 | 655,2 | 387,39 | 167,01 | 1210,9 | 0,5167 | 0,3055 | 0,1317 | 0,9539 | 1 |
| 0,8 | 748,8 | 442,73 | 190,87 | 1383,5 | 0,5905 | 0,3492 | 0,1505 | 1,0902 | 2 |
| 0,9 | 842,4 | 498,07 | 214,73 | 1556,2 | 0,6644 | 0,3928 | 0,1693 | 1,2265 | 2 |
| 1 | 936 | 553,41 | 238,59 | 1728,9 | 0,7382 | 0,4364 | 0,1882 | 1,3628 | 2 |
| 1,1 | 1029,6 | 608,75 | 262,45 | 1901,6 | 0,812 | 0,4801 | 0,207 | 1,4991 | 2 |

Список використаних джерел

1. Enrique Martin Alcalde Optimal space for storage yard considering yard inventory forecasts and terminal performance [Text]/ Enrique Martin Alcalde, Kap Hwan Kim, Sergi Saurí Marchán Logistics // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 82, 2015.- P. 101-128.

2. Лаврухін, О. В. Побудова моделі оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції [Текст] / О. В. Лаврухін, П. В. Долгополов, Ю. В. Доценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2013. – Вип. 64. – С. 15–17.

3. Малахова, О. А. Визначення величини простою составів в очікуванні відправлення на сортувальних станціях [Текст] / О.А. Малахова, О.В. Тищенко // Вестник «ХПІ». – Харків: 2011. – Т.1. – Вип. 58. – С. 99-102.

4. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті [Текст]: навч. посібник / за ред. проф. М.І. Данька. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 183 с.

5. Данько, М. І. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті [Текст]: конспект лекцій / М.І. Данько, В.М. Кулешов, О.А. Малахова, В.Д. Зонов. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Ч. 1,2. – 36 с.

6. Калашнікова, Т. Ю. Перспективи застосування сучасних типів вагів на сортувальній станції [Текст] / Т.Ю. Калашнікова, А.В. Оніщук // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 158. – С. 41-46.

7. Калашніков, Т. Ю. Модель забезпечення взаємодії функціонування системи "депо - станція - перегін" [Текст] / Т.Ю. Калашнікова. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2002. – №2. – С. 67-69.

8. Калашнікова, Т. Ю. Посилення умов взаємодії роботи підсистем технічної станції між собою та з прилеглими дільницями [Текст] / Т.Ю. Калашнікова, Л.В. Свиридчук // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип.120. – С. 44-47.

Калашнікова Татьяна Юріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 441-50-42.

E-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Звягінцев Ярослав Сергійович, магістр, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (099)7892571. E-mail: yaroslav-1993@ukr.net.

Кравченко Дмитро Олександрович, магістр, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (050)7091779. E-mail: kravshenko dima.93@mail.ru.

Kalashnikova Tetyana – candidate of technical sciences, Associate professor, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 441-50-42. E-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Zviahntsev Yaroslav, listener, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (099)7892571. E-mail: yaroslav-1993@ukr.net.

Kravcheko Dmitro, listener, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050)7091779. E-mail: kravshenko dima.93@mail.ru.

Стаття прийнята 20.09.2016 р.

УДК 629.4.125

ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНАХ

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, В. В. Шаблій, Я. І. Гавенда

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ПАСАЖИРСКИХ ВАГОНАХ

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, В. В. Шабий, Я. И. Гавенда

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN PASSENGER CARS

Candidate of technical sciences A. V. Trufanova, V. V. Shablii, Y. I. Havenda

Під час експлуатації пасажирських вагонів у роботі системи кондиціонування повітря холодильної машини можуть виникати несправності, що спричиняють часткове або повне порушення всієї роботи холодильної машини. Це може стати актуальною проблемою у забезпеченні комфортності перебування пасажирів у пасажирських вагонах залізничного транспорту.

Для визначення та своєчасного усунення несправностей у системі кондиціонування пасажирських вагонів підвищується значення технічної діагностики. За останні роки на залізницях України та інших держав технічна діагностика все більше впроваджується в технологічні процеси обслуговування і ремонту вагонів. Це у свою чергу потребує розроблення методик діагностування холодильного обладнання рухомого складу з урахуванням специфіки експлуатації, технічного обслуговування і ремонту вагонів. У статті пропонуються нові підходи пошуку і своєчасного усунення несправностей не тільки системи кондиціонування повітря, але і холодильної машини пасажирських вагонів у цілому.

Ключові слова: холодильна машина, алгоритм, діагностування, несправність, холодоагент, фазовий стан, установка.

Во время эксплуатации пассажирских вагонов в работе системы кондиционирования воздуха холодильной машины могут возникать неисправности, влекущие за собой частичное или полное нарушение всей работы холодильной машины. Это может стать актуальной проблемой в обеспечении и комфортности пребывания пассажиров в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта.

Для определения и своевременного устранения неисправностей в системе кондиционирования пассажирских вагонов повышается значение технической диагностики. За последние годы на железных дорогах Украины и других государств техническая диагностика все больше внедряется в технологические процессы обслуживания и ремонта вагонов. Это в свою очередь требует разработки методик диагностирования холодильного оборудования подвижного состава с учетом специфики эксплуатации, технического обслуживания и ремонта вагонов. В статье предлагаются новые подходы поиска и своевременного устранения неисправностей не только системы кондиционирования воздуха, но и холодильной машины пассажирских вагонов в целом.

Ключевые слова: холодильная машина, алгоритм, диагностирование, неисправность, хладагент, фазовое состояние, установка.

In the course of the work of the air-conditioning system of coaches can happen malfunction which can affect the entire work of the chiller. It may lead to the topical problems in ensuring comfortable stay passengers in the coaches of railway transport.

In order to determine and eliminate malfunctions in the air-conditioning system we have to increase the importance of technical diagnostics. The technical diagnostics has being improved in the technological processes of the service and repair of the coaches for recent years in Ukraine. Thus, it requires the special development of the method of the diagnostic of the refrigeration equipment based on the specifics of the exploitation of rolling stock. The article shows us the search of a new approaches and timely troubleshooting of the air conditioning system, and also there is a description and a few instructions to solve of some malfunctions of the passenger wagons chiller in general.

Key words: chiller, algorithm of diagnosing, air-conditioning system.

Вступ. Однією з найбільш актуальних проблем у забезпеченні комфортності перебування пасажирів у пасажирських вагонах залізничного транспорту є забезпечення фізико-хімічної чистоти навколишнього повітря. При цьому найбільш важливими є такі параметри:

- метеорологічні умови (температура, вологість, швидкість повітря, тиск);
- хімічний склад повітря (вміст газів і парів);
- фізіологічні показники (вміст мікробів, мікроорганізмів, пилу).

На першу групу показників впливає кількість опадів, інтенсивність сонячної радіації, напрямок і швидкість вітру.

На жаль, перераховані явища природи невіддільні людині, хоча до деяких з них людство вже підбирає ключі управління, штучно змінюючи клімат на великих територіях. На відміну від штучного клімату кондиціонування повітря являє собою процес більш вузького значення і характеризує зміну стану повітря, що має бути в даному приміщенні або надходить у нього.

У пасажирських вагонах застосування кондиціонування повітря обумовлено низькою теплостійкістю, малим об'ємом приміщення, який припадає на одного пасажирів, внаслідок чого пасажирів протягом короткого часу перетинають

кліматичні зони з різними погодними умовами.

Більша частина пасажирських вагонів, що експлуатуються на українських залізницях, побудована у 70-80 рр. минулого століття і термін їх служби закінчується. Збереження чисельності пасажирського вагонного парку досягається шляхом проведення капітального ремонту старих вагонів з продовженням терміну їх служби чи закупівлі нових. За умов обмеженого фінансування виконання відновлювальних ремонтів вагоноремонтними заводами й залізницями залишається основним засобом підтримання парку вагонів у потрібній кількості. У цих умовах актуальним є завдання оснащення вагонів після модернізації сучасними системами життєзабезпечення, у тому числі і системою кондиціонування повітря.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У систему кондиціонування пасажирських вагонів входять системи вентиляції, опалення, охолодження, автоматичного управління. У літній період року система вентиляції працює сумісно із системою охолодження, яка відрізняється конструктивною складністю виконання та вимагає високої надійності.

У зв'язку з даною проблемою було розглянуто та проаналізовано методи удосконалення конструкцій системи кондиціонування повітря, технічної діагностики холодильної машини в сучасних вагонах за проектуванням і виробництвом пасажирських вагонів як в Україні – ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод», так і за кордоном. Результати робіт широко застосовуються фахівцями на виробництві [1], але система кондиціонування холодильної машини пасажирських вагонів постійно потребує удосконалення не тільки на конструктивному рівні, але й на рівні технічного обслуговування та ремонту.

Для моделювання процесів теплообміну в пасажирських вагонах

інженерами компанії ТОВ «Інтер Кар Груп» використовувався метод скінченних елементів [2]. За допомогою цього методу вдалося виявити зони конструкції, у яких спостерігається найбільша втрата тепла. Завдяки цьому методу є можливість моделювати теплопередачі не тільки для віконного блока, але й для всього купе чи вагона в цілому.

Багато країн вважають за доцільне проводити модернізацію старих вагонів, де системи кондиціонування взагалі не існувало, це переважно вагони жорсткі відкритого типу, які і перевозять основну масу пасажирів [3-5]. Витрати на модернізацію одного старого вагона виявляються приблизно втричі нижчими, ніж на будівництво нового.

За експериментальними дослідженнями системи кондиціонування повітря у пасажирських вагонах, наведеними в роботі зарубіжних фахівців, отримано порівняльні фізичні параметри повітря в різних режимах і умовах [6]. Але не приділяється уваги конструктивним особливостям установки холодильної машини. Дослідження системи кондиціонування повітря вагона повинно бути спрямоване не тільки на забезпечення нормативів мікроклімату, але і передбачати оперативну методику функціонування основних вузлів холодильної машини.

Необхідно відзначити роботи, які пов'язані із системою діагностики кондиціонування повітря в пасажирських вагонах. За допомогою датчиків можна контролювати одночасно температуру повітря, вологість, тиск, температуру холодоагенту і проходження холодоагенту по системі трубопроводів холодильної машини [7, 8]. Поєднання функціональної діагностики і виконання на основі неї профілактичних (ремонтних) робіт дають змогу підвищити якість роботи системи і продовжити ресурс роботи дорогого обладнання в умовах реальної експлуатації.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень є

покращення умов комфортності пасажирів за рахунок не тільки удосконалення енергетичного та холодильного обладнання пасажирських вагонів, але й своєчасного усунення несправностей системи кондиціонування повітря та холодильної машини в цілому.

Основна частина дослідження. Вагонний кондиціонер АВК-30, який використовується в сучасних пасажирських вагонах побудови Крюківського ВБЗ, має моноблокову установку, яка призначена для забезпечення й автоматичного підтримання необхідних значень температури повітря всередині пасажирських приміщень. Установка може

використовуватися в пасажирських вагонах, що входять до рухомого складу на електричній, дизель-електричній та тепловозній тязі, при швидкостях руху вагонів від 0 до 220 км/год і температурах зовнішнього повітря від +45 до +15°C при роботі в режимі охолодження і від +15 до -50°C та при роботі в режимах вентиляції, опалення. Вона являє собою підвісний горизонтальний автономний кондиціонер з рециркуляцією і складається з парокомпресійної холодильної машини, повітрянагрівачів та вентиляційного обладнання. Загальний вигляд подано на рис. 1.

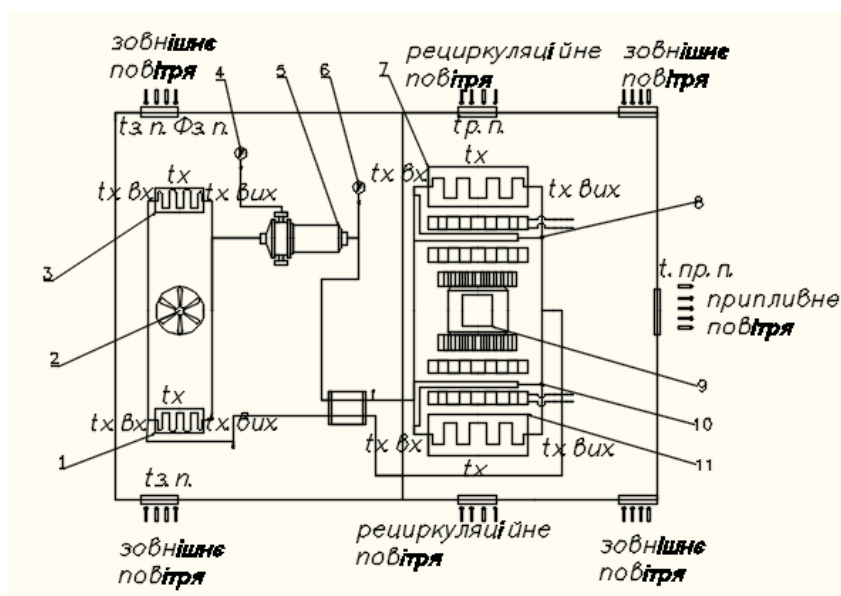


Рис. 1. Моноблокова установка системи кондиціонування повітря АВК 30:
 1-3 – конденсатор; 2 – вентилятор конденсаторів; 4 – манометр нагнітання;
 5 – компресор; 6 – манометр всмоктування; 7, 11 – повітроохолоджувачі;
 8,10 – терморегулювальні вентиляти; 9 – вентилятор повітроохолоджувачів

Під час експлуатації вагонного кондиціонера можуть виникнути несправності. Наприклад, підвищений тиск у конденсаторі може бути викликаний різними чинниками: недостатньою кількістю холодоагенту в системі, забрудненням поверхні теплопередачі або системи охолодження самого конденсатора

і т. п. У деяких літературних джерелах наведені рекомендації для пошуку несправностей, які базуються на аналізі причин, які викликають появу високого або низького тиску холодоагенту у конденсаторі та повітроохолоджувачі [9, 10].

Однак в експлуатації не завжди можна своєчасно визначити тип і

місцезнаходження несправності. Недостатньо мати тільки два манометри фіксуючого тиску холодоагенту на стороні нагнітання і всмоктування в компресор. Для підвищення працездатності та проведення діагностики системи необхідно оснастити теплообмінні апарати додатковими засобами контролю технічного стану.

Для своєчасного усунення несправностей у системі кондиціонування

пасажирських вагонів необхідно знати характер зміни теплових процесів безпосередньо в конденсаторі і повітроохолоджувачі, а також мати порівняльні характеристики зі зміни температури і фазового стану холодоагенту по довжині трубопроводу конденсатора або повітроохолоджувача. Зміна фазового стану холодоагенту подана на рис. 2, 3.

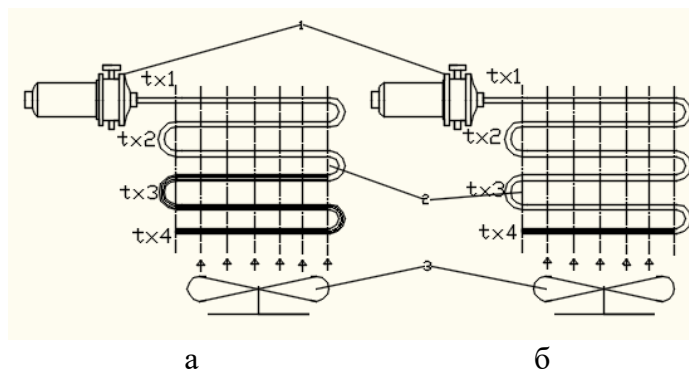


Рис. 2. Схема зміни фазового стану холодоагенту:
1 – конденсатор; 2 – трубопровод конденсатора; 3 – вентилятор конденсатора;
а – нормальна робота; б – аномальна робота

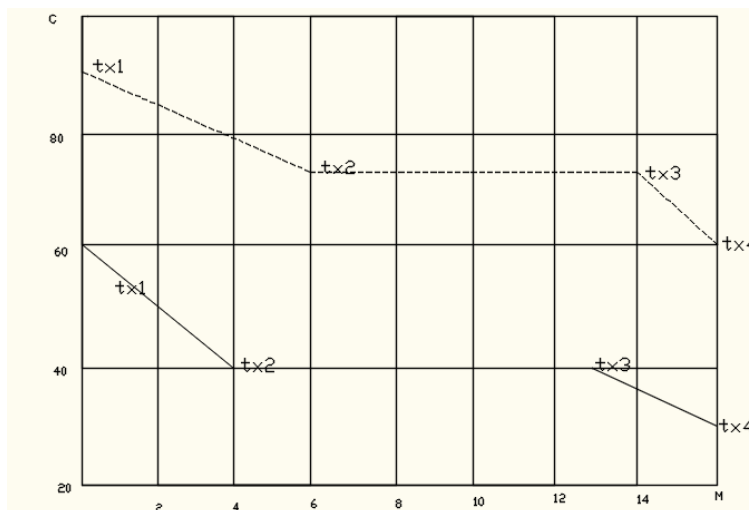


Рис. 3. Зміна температури холодоагенту у місцях трубопроводу конденсатора

Доцільним є використання пристрою для визначення температури і тиску холодоагенту в місцях трубопроводів

конденсатора і повітроохолоджувача, визначення витрати повітря і відносної

вологості на вході і виході з конденсатора і повітроохолоджувача.

Відповідність вимірів роботи вагонної установки з початковими технічними характеристиками є нормальною умовою експлуатації. У випадку аномальної роботи холодильної машини виникає надлишок пароподібного холодоагенту, що призводить до «запізнювання» конденсації через нестачі холодоагенту в рідкому стані.

Запропонований метод пошуку несправностей базується на перевірному розрахунку теплообмінних апаратів вагонних установок [11], які описуються в такій залежності:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_{впр} \cdot \Phi_{зов}}}, \quad (2)$$

де α_k – коефіцієнт тепловіддачі від холодоагенту до стінки труби, Вт/(м²×К);

$R_i = \delta_i / \lambda_i$ – термічний опір теплопровідності матеріалу стінки труби і відкладень на її поверхні, (м²×К)/Вт;

δ_i – товщина стінки або шару відкладення, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки або шару відкладення, Вт/(м²×К);

$\alpha_{впр}$ – приведений коефіцієнт тепловіддачі від ребристої зовнішньої поверхні труби до охолоджуючого середовища (повітря), Вт/(м²×К);

$\Phi_{зов}$ – ступінь ребристості зовнішньої поверхні труби.

Визначити величину α_k в цілому по конденсатору досить складно. Як правило, цю роботу виконують роздільно для основних процесів, що характеризують

$$Q = K \times F \times \Delta t, \quad (1)$$

де Q – тепловий потік, кДж/год (кВт);

K – коефіцієнт теплопередачі, кДж/м²×К×год (кВт/м²×К);

F – поверхня теплопередачі (площа теплообмінника), м²;

Δt – середній температурний напір між теплоносіями.

Визначення коефіцієнта теплопередачі K теплообмінювача визначається за такою формулою [11]:

тепловіддачу від холодоагенту до стінки труби: тепловіддача без зміни агрегатного стану і плівкової конденсації.

Тепловіддача без зміни агрегатного стану холодоагенту при його турбулентному русі всередині каналу (труби):

$$\alpha_k = B \cdot \omega^{0,8} \cdot \epsilon \cdot d_{екв}^{-0,2}, \quad (3)$$

де B – коефіцієнт, який залежить від фізичних властивостей холодоагенту;

ω – швидкість течії холодоагенту (для пари 5-20 м/с, для рідини 0,5-1,5 м/с);

ϵ – поправковий коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта тепловіддачі по довжині каналу;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу (для труби – внутрішній діаметр $d_{вн}$, м).

Формула (3) відповідає значенням числа Рейнольдса, що характеризує режим течії:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}, \quad (4)$$

де $d_{екв}$ – кінематична в'язкість холодоагенту, м²/с.

Коефіцієнт ϵ визначають за формулою

$$\epsilon = 0,6 \cdot \left(\frac{1}{Re} \cdot \frac{1}{d_{екв}} \right)^{-\frac{1}{7}} \cdot \left(1 + 2,5 \frac{1}{Re \cdot d_{екв}} \right), \quad (5)$$

де l – довжина каналу (труби), м.

Для течії холодоагенту всередині труби формула справедлива при виконанні співвідношення $l/d_{вн} < 0,1Re$.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від ребристої зовнішньої поверхні труб конденсатора до охолоджуючого повітря знаходять

$$\alpha_{впр} = \alpha_{в} \left(\frac{F_p}{F_{мп}} E_p \Psi + \frac{F_{пор}}{F_{мп}} \right), \quad (6)$$

де F_p – площа поверхні ребер на 1 м довжини труби, м²;

E_p – коефіцієнт ефективності ребра;

Ψ – коефіцієнт нерівномірності тепло-віддачі по висоті ребра.

Отримані дані при діагностуванні значення холодопродуктивності порівнюються з номінальним її значенням. При різниці значення більше 15 % виконують тестове діагностування холодної машини для пошуку несправностей [12, 13].

Для визначення характеру можливих несправностей холодильної машини та системи кондиціонування пасажирських вагонів запропонований алгоритм пошуку несправностей. Алгоритм проведення діагностування технічного стану холодної машини наведений на рис. 4.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблена методика діагностування дає змогу виявити несправності обладнання без демонтажу установки і тим самим забезпечити швидке усунення цих несправностей на шляху прямування пасажирського складу.

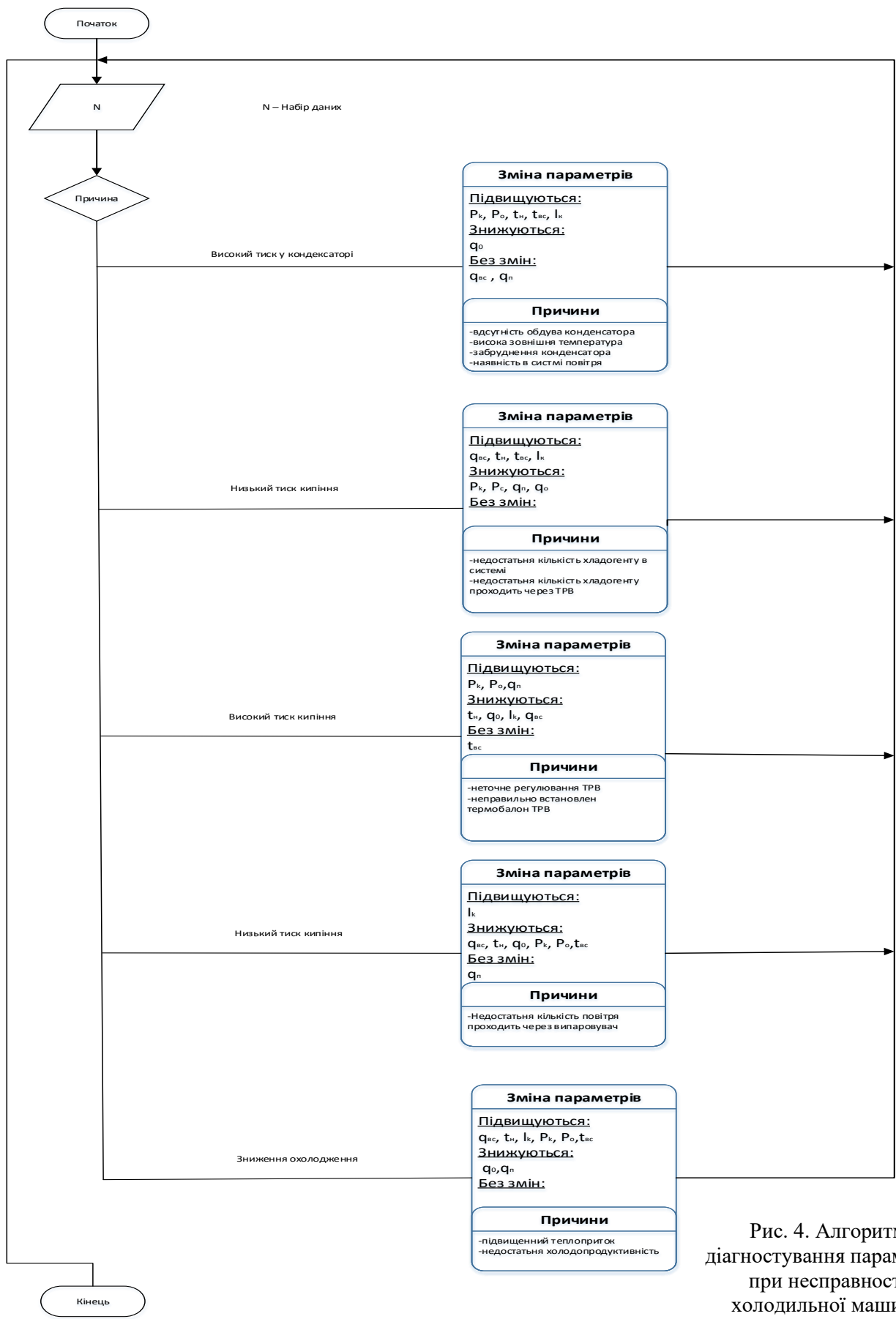


Рис. 4. Алгоритм діагностування параметрів при несправності холодильної машини

Список використаних джерел

1. Особенности развития конструкций установок кондиционирования воздуха пассажирских вагонов [Текст] / В. И. Приходько, О. А. Шкабров, В. И. Коляденко, [и др.] // Вісник ДНУЗТ. – 2005. – № 7. – С. 61-66.
2. Назаренко, К. В. Применение метода конечных элементов для моделирования теплообменных процессов в пассажирских вагонах [Текст] / К. В. Назаренко // Вагонный парк. – 2010. – №9. – С. 31-33.
3. Мокроусов, С. Д. Модернизация пассажирского подвижного состава в Великобритании (обзор зарубежной печати) [Текст] / С. Д. Мокроусов, Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган // Вагонный парк. – 2013. – № 11(80). – С. 52- 60.
4. Modernization of passenger cars with the replacement of the body [Text] / International Railway Journal. – 1998. – № 10. – P. 58.
5. Cordner K. Modernization of passenger trains in the UK [Text] / K. Cordner // Modern Railways. – 2002. – № 9. – P. 39-42.
6. Mahendra Kumar. State Space Based Modeling and Performance Evaluation of an Air-Conditioning System [Text] / Mahendra Kumar , I. N. Kar & Anjan Ray // Senior Divisional Electrical Engineer Northern Railway. – 2011. –P. 797-816.
7. Mahendra Kumar. Fault Detection and Diagnosis of Air-Conditioning Systems using Residuals [Text] / Mahendra Kumar , I. N. Kar // Senior Divisional Electrical Engineer Northern Railway, Delhi Division, New Delhi, INDIA. Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, INDIA. – 2008. –P. 553-600.
8. Mahendra Kumar. Fault Diagnosis of an Air-Conditioning System Using LS-SVM [Text] / Mahendra Kumar, I. N. Kar // Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, INDIA. – 2009. –P. 555-560.
9. Зворыкин, М. А. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах [Текст] / М. А. Зворыкин, В. М. Черкез. – М. : Транспорт, 1977. – 286 с.
10. Маханько, М. Г. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах и локомотивах [Текст] / М. Г. Маханько. – М. : Транспорт, 1981. – 254 с.
11. Мартинов, І. Е. Холодильне обладнання вагонів [Текст] / І. Е. Мартинов, В. М. Іщенко, А. В. Труфанова – Харків: УкрДАЗТ, 2012.– 158 с.
12. Демьянков, Н. В. Холодильные машины и установки [Текст] / Н. В. Демьянков. – М.: Транспорт, 1976. – 360 с.
13. Борзілов, І. Д. Улосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики [Текст] / І. Д. Борзілов. – Харків, УкрДАЗТ, 2003. – Ч. 2. – 91 с.

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru/.

Шаблій Вікторія Віталіївна, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.

Гавенда Яна Іванівна, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.

Trufanova Alyona Volodymyrivna, candidate of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057)730-10-35.

Shablii Viktoriia Vitalievna, student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Havenda Yana Ivanovna, student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Стаття прийнята 21.09.2016 р.

УДК 621.313.53: 629.113.014.9

ОЦІНКА ЯКОСТІ СЕРВІСНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ЛОКОМОТИВІВ

Д-р техн. наук Ю. Є. Калабухін, інж. Т. О. Ольховська, С. А. Коваленко, В. О. Ткаченко

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕРВИСНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Д-р техн. наук Ю. Е. Калабухин, инж. Т. А. Ольховская, С.А. Коваленко, В.О. Ткаченко

ESTIMATION OF QUALITY OF SERVICE SUPPORT OF LOCOMOTIVES

Doct. of techn. sciences U. E. Kalabuxin, eng. T. O. Olxovskay,
S. A. Kovalenko, V. O. Tkachenko

У статті розглянуто дослідження щодо сервісного супроводження локомотивів. Запропоновано якість технічного обслуговування із сервісним супроводженням оцінювати за допомогою коефіцієнтів: рівня технології, завантаження застосовуваного механізованого обладнання, забезпечення запасними частинами й матеріалами, а також рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу. Формалізована математична модель якісної оцінки сервісу на основі багатofакторного аналізу. На підставі проведених розрахунків визначене вузлове значення запропонованих коефіцієнтів, при яких можна забезпечити рівень якості сервісу супроводження у відповідності до середнього значення відносних витрат на його проведення.

Ключові слова: запасні частини, витрати, локомотив, багатofакторний аналіз, сервісне супроводження, технічне обслуговування.

В статье рассмотрены исследования по сервисному сопровождению локомотивов. Предложено качество технического обслуживания с сервисным сопровождением оценивать с помощью коэффициентов: уровня технологии, загрузки применяемого механизированного оборудования, обеспечения запасными частями и материалами, а также уровня квалификации обслуживающего персонала. Формализована математическая модель качественной оценки сервиса на основе многофакторного анализа. На основе проведенных расчетов определено узловое значение предложенных коэффициентов, при которых можно обеспечить уровень качества сервисного сопровождения в соответствии со средним значением относительных затрат на его проведение.

Ключевые слова: запасные части, затраты, локомотив, многофакторный анализ, сервисное сопровождение, техническое обслуживание.

In article researches on service support of locomotives are examined. It is offered to estimate quality of maintenance service with service support by means of factors: a technological level, loading of the applied mechanized equipment, maintenance with spare parts and materials, and also a skill level of the attendants. The mathematical model of quality standard of service on the basis of the multifactorial analysis is formalized. For creation of model, with the purpose of increase of efficiency of the multifactorial analysis, the method of central points has been used. According to this method multivariate function can be examined as function which consists of many individual one-dimensional functions. The branching of these functions occurs in a point which allows "to connect" as though one-dimensional (one-factorial) functions in multifactorial model. On the basis of the lead calculations central value of the offered factors at which it is

possible to provide a degree of quality of service support in conformity with average value of relative expenses for his carrying out is certain.

Keywords: *spare parts, expenses, the locomotive, the multifactorial analysis, service support, maintenance service.*

Вступ. Рухомий склад залізниць України дуже застарів не тільки фізично, але й морально. Усі типи магістральних і маневрових локомотивів потребують високих витрат на обслуговування й ремонт, вони споживають більшу кількість палива, ніж техніка нового покоління, яка використовує вузли й системи, зроблені за сучасними технологіями. Значною мірою поліпшити таке положення дасть змогу широке впровадження сервісного (фірмового) супроводження локомотивів. Необхідно відзначити, що задача необхідності сервісного супроводження складної техніки (до якої взагалі належать локомотиви) та брак методологічної єдності у її вирішенні потребують нового погляду з урахуванням сучасного стану дійсності, який характеризується глобалізацією й динамічним розвитком конкуренції як на світовому, так і на вітчизняному ринку. Формування цих напрямків потребує єдності поглядів на природу сервісного супроводження, розкриття сутності даного виду діяльності, його принципів, визначення ролі й місця в діяльності локомотиворемонтного підприємства. Таким чином, актуальність цієї задачі обумовлена назрілою необхідністю розроблення науково-методичних основ покращення утримання локомотивів на основі розвитку їх сервісного супроводження.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. За останній час в Україні й країнах СНД проведено цілий ряд досліджень із розробленням перспективних напрямків для підвищення ефективності роботи локомотивного господарства [1, 2, 4, 5]. Вони насамперед пов'язані із широкою модернізацією вузлів і деталей тепловозів, яким продовжений термін служби, упровадженням прогресивних технологій, а

також подальшим розвитком локомотивного господарства в цілому. У той же час у цих розробках недостатньо приділена увага такій прогресивній формі, як організація сервісного супроводження локомотивів. Аналізуючи останні закордонні публікації [11-15], слід відмітити, що у них наводиться значна кількість розрахунків з використанням моделей, методів і методик, які мають одну особливість – майже всі вони виконані як умовні приклади. Це дає підставу вважати за необхідне розглядати загальнотеоретичні положення щодо сервісного супроводження магістральних і маневрових локомотивів як наповненими реальними даними, отриманими безпосередньо з виробничих процесів.

Визначення мети і задачі дослідження. Метою даного дослідження є вирішення задачі з визначення якісної оцінки сервісного супроводження магістральних і маневрових локомотивів, яка дає змогу реалізувати високоефективні ресурсо- і енергозберігаючі технології у локомотиворемонтному виробництві.

Основна частина дослідження. На якість проведення технічного обслуговування та поточного ремонту локомотивів впливає цілий ряд об'єктивних факторів. У першу чергу до їх числа необхідно віднести дотримання вимог технології, широке впровадження методів і засобів контролю якості, прогресивну організацію експлуатації локомотивів, технічний рівень виробничої бази, своєчасність і якість матеріалів і запасних частин. Крім того, значний вплив на якість проведення технологічних операцій має "людський фактор", який полягає в професійній майстерності й загальноосвітньому рівні працівників, їх зацікавленості у роботі, дисциплінованості і сумлінному ставленні до праці [2].

У загальному вигляді управління якістю продукції (у подальшому сервісне супроводження) являє собою комплекс заходів організаційного, технічного, економічного характеру для досягнення необхідного рівня якості. Це реалізується шляхом контролю й цілеспрямованого впливу на фактори, від яких залежить якість продукції [6].

Аналіз зібраного на кафедрі ЕРРС УкрДУЗТ статистичного матеріалу в опорних локомотивних депо дав змогу установити, що ефективність утримання локомотивів залежить від технічного стану виробництва, тобто від якості виконуваних технологічних операцій, рівня автоматизації, організації матеріально-технічного забезпечення й професійного рівня працівників.

На підставі цього якість виконання сервісного супроводження локомотивів запропоновано оцінювати за допомогою коефіцієнтів рівня технології k_{PT} , коефіцієнта завантаження застосовуваного механізованого обладнання k_{3M} , коефіцієнта забезпечення запасними частинами й матеріалами $k_{3Ч}$ та коефіцієнта рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу k_{PK} . Коефіцієнт рівня технології запропоновано визначати як

$$k_{PT} = \frac{\sum m_i^M k_{3_i}^M}{\sum m_i^P k_{3_i}^P + \sum m_i^M k_{3_i}^M}, \quad (1)$$

де m_i^M , m_i^P – кількість відповідно механізованих операцій та операцій з ручною працею;

$k_{3_i}^M$, $k_{3_i}^P$ – завантаженість відповідно механізованих операцій та операцій з ручною працею, які застосовуються в процесі проведення сервісного супроводження.

Завантаженість однієї i -ї механізованої або ручної операції під час

виконання сервісного супроводження запропоновано визначати як

$$k_{3_i}^M = \frac{t_i^M}{T_{TO}}, \quad (2)$$

$$k_{3_i}^P = \frac{t_i^P}{T_{TO}}, \quad (3)$$

де t_i^M , t_i^P – тривалість відповідно операцій, які використовують засоби механізації або автоматизації та операції з ручною працею, год;

T_{TO} – загальний час простою тепловоза на технічному обслуговуванні (ТО), яке забезпечується сервісним супроводженням, год.

Коефіцієнт забезпечення ТО із сервісним супроводженням запасними частинами й матеріалами запропоновано визначати як

$$k_{3Ч} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO}} S_{\phi_i}}{\sum_{i=1}^{N_{TO}} S_{n_i}}, \quad (4)$$

де S_{ϕ_i} – загальна кількість (обсяг) запасних частин і матеріалів, які були використані в процесі проведення ТО із сервісним супроводженням за розглянутий період;

S_{n_i} – необхідна (заявлена) кількість запасних частин і матеріалів для забезпечення ТО із сервісним супроводженням за цей же період;

N_{TO} – загальна кількість ТО із сервісним супроводженням, виконаних за розглянутий період.

Коефіцієнт рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу запропоновано визначати з виразу

$$k_{PK} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO}} (r_{яв}^{4p} + r_{яв}^{5p} + r_{яв}^{6p})}{\sum_{i=1}^{N_{TO}} r_{яв}^{заг}}, \quad (5)$$

де $r_{яв}^{4p}$, $r_{яв}^{5p}$, $r_{яв}^{6p}$ – відповідно явочна кількість слюсарів, які мають 4, 5 і 6-й розряд роботи при виконанні i -го ТО із сервісним супроводженням;

$r_{яв}^{заг}$ – загальна явочна кількість працівників, які беруть участь у i -му супроводженні.

Прийняті коефіцієнти можна розглядати як фактори, які безпосередньо впливають на ТО із сервісним супроводженням локомотивів і подають його у вигляді багатофакторного процесу. Такий підхід дає змогу для дослідження параметрів якості ТО із сервісним

супроводженням застосувати багатофакторний аналіз.

Для створення моделі був використаний метод вузлових точок [8]. Відповідно до нього багатовимірна функція може бути розглянута як функція, що складається з багатьох часткових одновимірних функцій. Розгалуження цих функцій відбувається у вузловій точці. Вона дає змогу як би "пов'язати" одновимірні (однофакторні) функції в багатофакторну модель.

Запропоновано також основний питомий параметр C' , що характеризує якість виконання ТО із сервісним супроводженням локомотива (грн/км), визначати як відношення витрат на його проведення B_{TO} до величини пробігу MS_{TO} між їх проведенням, тобто

$$C'_i = \frac{\sum B_{TO_i}}{MS_{TO_{i+1}}}. \quad (6)$$

Схеми чергувань ТО із сервісним супроводженням залежно від пробігу MS_{TO} за видами наведені на рис. 1.

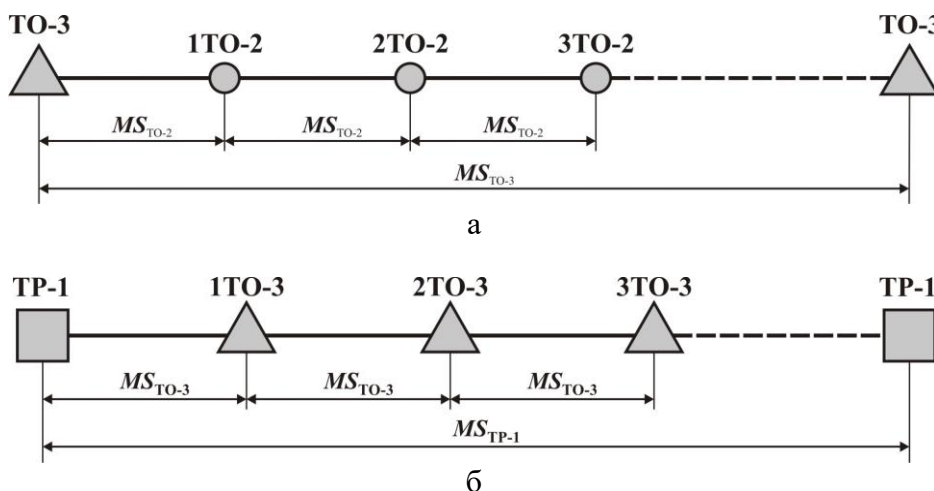


Рис. 1. Чергування видів ТО-2 (а) і ТО-3 (б) із сервісним супроводженням залежно від лінійного пробігу MS між ними

Виходячи з рис. 1, а показник C'_i для ТО-2 із сервісним супроводженням буде визначатися як

$$C'_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO-2}} B_{TO-2}}{MS_{TO-3}}, \quad (7)$$

де B_{TO-2} – витрати на проведення ТО-2 із сервісним супроводженням локомотива, грн;

MS_{TO-3} – загальний лінійний пробіг між проведенням ТО-3 із сервісним супроводженням, км;

N_{TO-2} – кількість ТО-2 із сервісним супроводженням, які виконуються між проведенням ТО-3.

У свою чергу показник C'_i для ТО-3 із сервісним супроводженням (рис. 1, б), можна визначити як

$$C'_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO-3}} B_{TO-3}}{MS_{TP-1}}, \quad (8)$$

де B_{TO-3} – витрати на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням локомотива, грн;

MS_{TP-1} – загальний лінійний пробіг між проведенням ПР-1, км;

N_{TO-3} – кількість ТО-3 із сервісним супроводженням, які виконуються між проведенням ПР-1.

Багатофакторна модель якості виконання ТО-3 із сервісним супроводженням локомотива запропонована в такому вигляді:

$$C' = \frac{1}{C'_0} \prod_{i=1}^n f_i(x_i), \quad (9)$$

де C'_0 – числове значення відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням у вузловій точці;

$f_i(x_i)$ – однофакторні функції;

n – кількість факторів.

Модель (9) значно спрощує аналіз впливу різних факторів на досліджуваний параметр, дає можливість знаходити екстремальне або бажане значення досліджуваного параметра, а також звести цю задачу до елементарного аналізу однофакторних залежностей виразу (9).

Контроль впливу всіх факторів, що визначають якість проведення ТО-3 із сервісним супроводженням, практично неможливий через надмірну складність їх урахування. Тому для даної методики були обрані такі фактори: коефіцієнт рівня технології k_{PT} , забезпечення запасними частинами й матеріалами $k_{3ч}$ і рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу k_{PK} .

Відповідно до прийнятих факторів і виразу (9) модель якості супроводження буде мати такий вигляд:

$$C' = C'_0{}^2 f(k_{PT}) f(k_{3ч}) f(k_{PK}). \quad (10)$$

Для знаходження параметра C'_0 й однофакторних залежностей, що входять у цей вираз для ТО-2 із сервісним супроводженням магістральних локомотивів, був проведений пасивний експеримент, у результаті якого отриманий статистичний масив. Були визначені межі цих факторів:

$$0,21 \leq k_{PT} \leq 0,46;$$

$$0,08 \leq k_{3ч} \leq 0,62;$$

$$0,016 \leq k_{PK} \leq 0,072.$$

У результаті апроксимації даних пасивного експерименту за програмою

Statistica були отримані такі однофакторні залежності:

$$C'_1 = f(k_{PT}) = 1,082 - 3,64k_{PT}; \quad (11)$$

$$C'_2 = f(k_{3Ч}) = 0,62 - 0,81k_{3Ч}; \quad (12)$$

$$C'_3 = f(k_{PK}) = 0,32 - 0,45k_{PK}. \quad (13)$$

Числове значення відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням у вузловій точці одержано за допомогою виразу

$$C'_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} C'_i}{N_T}, \quad (14)$$

$$C' = 0,3^{-2} (1,082 - 3,64k_{PT}) (0,62 - 0,81k_{3Ч}) (0,32 - 0,45k_{PK}). \quad (15)$$

На основі алгебраїчних перетворень було одержано

$$C' = a_0 + a_1k_{PT} + a_2k_{3Ч} + a_3k_{PK} + a_4k_{PT}k_{3Ч} + a_5k_{PT}k_{PK} + a_6k_{3Ч}k_{PK} + a_7k_{PT}k_{3Ч}k_{PK}. \quad (16)$$

Коефіцієнти $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ даного рівняння були отримані за методом найменших квадратів. Коефіцієнт множинної кореляції при цьому склав

де C'_i – фактичне експериментальне значення відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням, грн/км; N_T – кількість експериментальних точок статистичного масиву.

З даного виразу видно, що C'_0 являє собою середнє значення відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням в отриманому масиві даних. У результаті обчислень за цією формулою отримане значення $C'_0 = 0,3$.

З урахуванням числового значення параметра C'_0 у вузловій точці й аналітичних виразах однофакторних функцій модель (10) перетворена до виду

$R = 0,998$. Перевірка отриманих коефіцієнтів за критерієм Стьюдента t підтвердила їх адекватність. З урахуванням цього отримано

$$C' = 3,97 - 14,5k_{PT} - 7,34k_{3Ч} - 33,8k_{PK} + 28,5k_{PT}k_{3Ч} + 140,3k_{PT}k_{PK} + 85,96k_{3Ч}k_{PK} - 360,8k_{PT}k_{3Ч}k_{PK}. \quad (17)$$

Високий рівень коефіцієнта множинної кореляції $R = 0,998$ свідчить також про можливість застосування в задачах визначення рівня якості проведення ТО-3 із сервісним супроводженням усіх видів мультиплікативних моделей типу (9). Ранжирування факторів за цією моделлю наведено в таблиці.

Для зручності аналізу трифакторну модель параметра можна подати в графічному вигляді, але для цього необхідно знайти координати вузлової точки за відповідними факторами: k_{PT} , $k_{3Ч}$ і k_{PK} . Щоб знайти ці координати, у

виразах (11)-(13) значення C'_i прийнято за величину параметра C'_0 і рівняння було розв'язано стосовно відповідних факторів. У результаті виконання такої процедури було отримано: $k_{PT_0}=0,214$, $k_{3ч_0}=0,395$ і $k_{PK_0}=0,044$.

Таблиця

Ранжирування факторів k_{PT} , $k_{3ч}$, k_{PK}

| Ранг | Фактор | dC'/dk_i |
|------|----------|------------|
| 1 | k_{PT} | 3,64 |
| 2 | $k_{3ч}$ | 0,81 |
| 3 | k_{PK} | 0,45 |

Таким чином, координати C'_0 , k_{PT_0} , $k_{3ч_0}$ і k_{PK_0} створюють у багатовимірному просторі особливу точку, що є вузловою (рис. 2), у якій відбувається перетинання функцій (11) - (13), що входять у вираз (10).

Методика одержання багатфакторної моделі для оцінки рівня якості проведення ТО-3 із сервісним супроводженням дає змогу здійснити їх варіювання в широкому діапазоні. Припустимо, потрібно знайти сполучення факторів, які забезпечують заданий рівень відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням, наприклад, $C'_3=0,285$. Цю задачу можна розв'язати або методом послідовного перебору числових значень факторів (що у свою чергу є дуже рутинною операцією) або на основі умови рівності ефектів, що привносяться кожним із цих факторів.

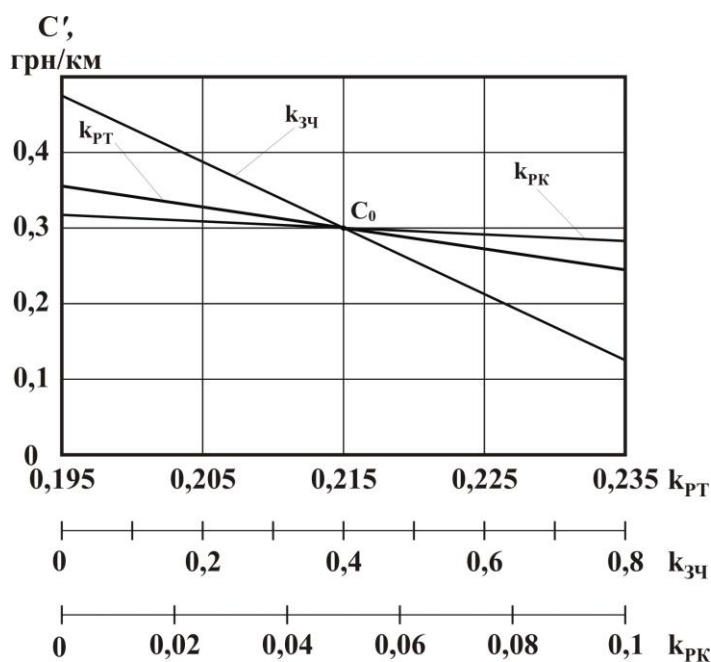


Рис. 2. Графічна інтерпретація багатфакторної моделі для оцінки рівня якості виконання супроводження - 2 тепловоза

Ця умова в математичній формі з урахуванням виразу (14) може бути записана таким чином:

$$C'_3 = \frac{C'_S{}^n}{C'_0{}^{n-1}}, \quad (18)$$

де C'_S – числове значення відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням, що привноситься кожним фактором;

C'_0 – середнє значення відносних витрат на проведення ТО-3 із сервісним супроводженням в отриманому масиві даних;

n – кількість факторів, що розглядаються.

Умова рівності ефектів дає змогу знайти таке сполучення факторів, при якому кожен з них привносить у досліджуваний процес однаковий ефект.

Стосовно прикладу, що розглядається, вираз (18) можна перетворити до виду

$$0,285 = \frac{C'_S{}^3}{0,3^2}. \quad (19)$$

У результаті розв'язання даного рівняння знаходимо

$$C'_S = \sqrt[3]{0,285 \cdot 0,3^2} = 0,295. \quad (20)$$

Для знаходження координат факторів, що забезпечують $C'_S = 0,295$ необхідно у виразах (11) - (13) параметр C'_i дорівняти числовому значенню параметра C'_S і розв'язати ці рівняння щодо кожного з факторів.

У результаті розв'язання було отримано $k_{PT} = 0,216$, $k_{ЗЧ} = 0,401$ і $k_{PK} = 0,056$. Саме при такому сполученні факторів можна забезпечити рівень якості

ТО-3 із сервісним супроводженням у відповідності до середнього значення відносних витрат на його проведення $C'_S = 0,295$.

За таким же принципом було проведено моделювання сполучення факторів k_{PT} , $k_{ЗЧ}$ і k_{PK} (у відсотках) залежно від зниження рівня відносних витрат на проведення ТО-2 із сервісним супроводженням (теж у відсотках). Діаграма за цим моделюванням подана на рис. 3.

З даної діаграми видно, що при зменшенні відносних витрат на сервісне проведення ТО-2 із сервісним супроводженням найбільш значне зростання спостерігається за фактором k_{PK} , який характеризує підвищення рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Таким чином, запропонована методика дає змогу істотно спростити задачу ідентифікації, аналізу й синтезу основних факторів, які впливають на рівень ТО із сервісним супроводженням локомотивів.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Запропоновано якість ТО із сервісним супроводженням оцінювати за допомогою коефіцієнтів: рівня технології k_{PT} , завантаження застосовуваного механізованого обладнання $k_{ЗМ}$, забезпечення запасними частинами й матеріалами $k_{ЗЧ}$, а також рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу k_{PK} .

2. Формалізована математична модель якісної оцінки сервісу на основі багатофакторного аналізу. Для створення моделі, з метою підвищення ефективності багатофакторного аналізу, був використаний метод вузлових точок. Відповідно до цього методу багатовимірні функція може бути розглянута як функція,

що складається з багатьох часткових одновимірних функцій. Розгалуження цих функцій відбувається в точці, яка дає змогу як би "пов'язати" одновимірні (однофакторні) функції в багатофакторну модель.

3. На підставі проведених розрахунків визначене вузлове значення коефіцієнтів

k_{PT} , $k_{ЗЧ}$ і $k_{РК}$, при яких можна забезпечити рівень якості сервісу супроводження у відповідності до середнього значення відносних витрат на його проведення $C'_S = 0,295$.

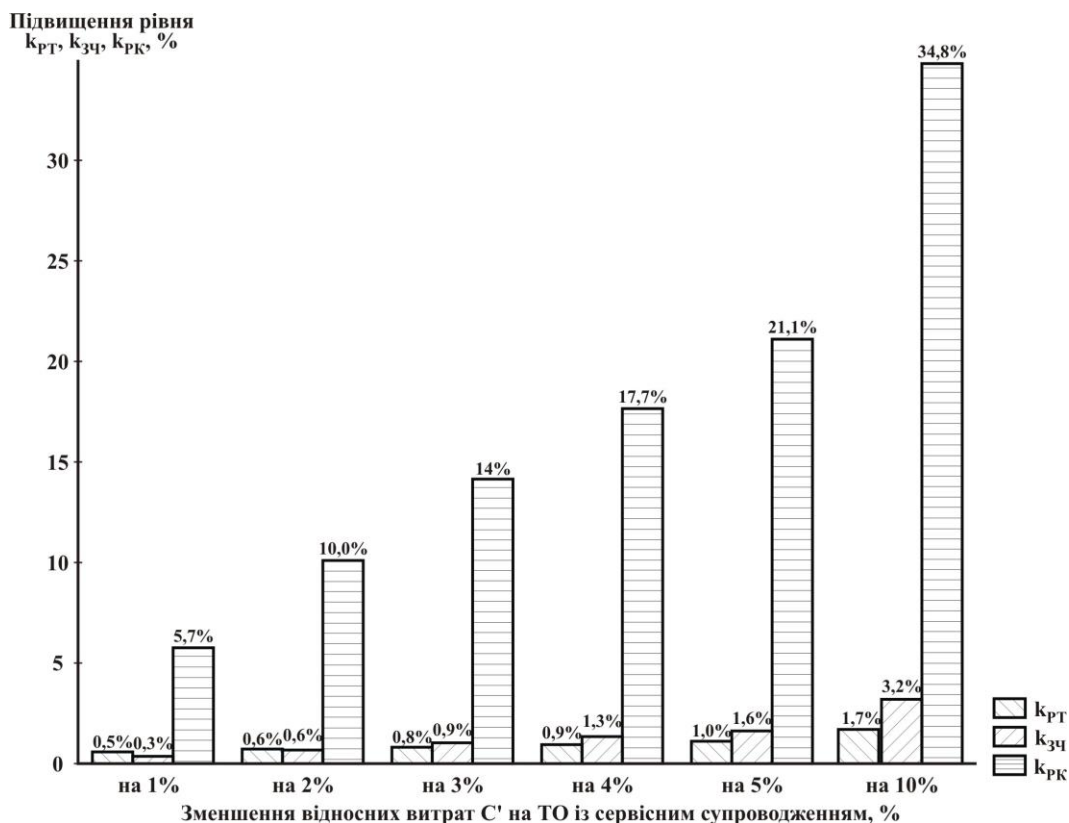


Рис. 3. Динаміка зростання рівня факторів k_{PT} , $k_{ЗЧ}$ і $k_{РК}$ залежно від зниження відносних витрат на ТО-2 із сервісним супроводженням

Список використаних джерел

1. Бутько, Т. В. Совершенствование методов расчета параметров системы технического содержания локомотивов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / Т.В. Бутько. – Харьков: ХИИТ, 1969. – 321 с.
2. Горский, А. В. Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст] / А. В. Горский, А.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1994. – 210 с.
3. Иванкова, Л. Н. Сервис на транспорте [Текст] : учеб. пособие / Л.Н. Иванкова. – М.: Маршрут, 2005. – 75 с.
4. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2005. – 117 с.

5. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів) [Текст] : наказ №093-ЦЗ; затв. 30.06.2010 р. – К.: Укрзалізниця, 2010. – 27 с.
6. Сметанин, С. А. Качественная оценка сервисного технического обслуживания тепловозов [Текст] / С.А. Сметанин // Транспортні інновації. – 2010. – №6. – С. 9-15.
7. Тартаковский, Э. Д. Качество ремонта и надежность тепловозов [Текст] / Э.Д. Тартаковский. – М.: Транспорт, 1993. – 81 с.
8. Федорец, В. А. Методика многофакторного анализа надежности тяговых электрических двигателей локомотивов [Текст] / В.А. Федорец, В.Я. Кузнецов, А.П. Фроленко // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. – №7. – С. 35-37.
9. Фирменное обслуживание подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. – №5. – С. 36-40.
10. Четвергов, В. А. Надежность локомотивов [Текст] / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков; под общ. ред. В.А. Четвергова. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.
11. Rail freight service productivity from the manager's perspective Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 26, Issue 6, November 1992, pp 457-469.
12. Mark J., Carlos M. Supply chain management for servitised products: A multi-industry case study. International Journal of Production Economics, Volume 114, Issue 1, July 2008, P. 27-39.
13. James T., Jens O. Trends and perspectives in industrial maintenance management. Journal of Manufacturing Systems, Volume 16, Issue 6, 1997, P. 437-453.
14. Partha P., Rajkumar R. Cost modelling techniques for availability type service support contracts: A literature review and empirical study. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 3, Issue 2, 2010, P. 142-157.
15. Athanasios Ballis, John Golias. Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals. transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 36, Issue 7, August 2002, P. 593-611.

Калабухін Юрій Євгенович, д-р техн. наук, професор, декан економічного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (093) 437-54-89.

Ольховська Тетяна Олександрівна, інженер ДП "Південна залізниця". Тел. (093) 151-73-15.

Коваленко Сергій Анатолійович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.

Ткаченко Віктор Олександрович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.

Kalabuxin Ury E., doct. of techn. sciences, professor, the dean of economic faculty Ukrainian state University of railway transport. Tel.: (093) 437-54-89.

Olkhovskaya Tatyana A., engineer of Southern Railway. Tel.: (093) 151-73-15.

Kovalenko Sergey, master Ukrainian State University of Railway Transport.

Tkachenko Victor A., master Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 21.09.2016 р.

УДК 629.4.53: 629.424.1.192

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗІВ

Д-р техн. наук О. Б. Бабанін, Є. В. Сироватський, Д. О. Відіборов

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗОВ

Д-р техн. наук А. Б. Бабанин, Е. В. Сыроватский, Д. А. Видиборов

INCREASE OF ACCURACY OF COMPUTER SYSTEM FOR TESTS OF POWER SYSTEMS OF DIESEL LOCOMOTIVES

Doct. of techn. sciences O. B. Babanin, E. V. Syrovatsky, D. O. Vidiborov

Розглянуто механізм появи похибок у вимірювальному пристрої й розкриті їх функціональні, основні й додаткові характеристики. Виходячи з аналізу фізичного характеру кожної вимірювальної ланки запропонована методика складання рівняння похибки всього ланцюга шляхом підсумовування похибок ланок із ваговими коефіцієнтами (коефіцієнтами впливу), які залежать від виду їх розташування в структурній схемі. Такий метод розрахунку дає змогу виявити роль кожної ланки у формуванні результуючої похибки вимірювального пристрою і створити передумови для оптимізації його структурної схеми. Наведено приклад визначення коефіцієнтів впливу для аналого-цифрового перетворювача для вимірювання напруги тягового генератора тепловоза. Основний принцип такого підходу запропонований для підвищення точності реєстрації параметрів у комп'ютерній системі для випробування енергетичних систем тепловозів.

Ключові слова: вплив, залежність, ланка, похибка, сигнал, схема, точність, фактор, характеристика, чутливість.

Рассмотрен механизм появления погрешностей в измерительном устройстве и раскрыты их функциональные, основные и дополнительные характеристики. Исходя из анализа физического характера каждого измерительного звена предложена методика составления уравнения погрешности всей цепи путем суммирования погрешностей звеньев с весовыми коэффициентами (коэффициентами влияния), которые зависят от вида их расположения в структурной схеме. Такой метод расчета разрешает выявить роль каждого звена в формировании результирующей погрешности измерительного устройства и создать предпосылки для оптимизации его структурной схемы. Приведен пример определения коэффициентов влияния для аналого-цифрового преобразователя для измерения напряжения тягового генератора тепловоза. Основной принцип такого подхода предложен для повышения точности регистрации параметров в компьютерной системе для испытания энергетических систем тепловозов.

Ключевые слова: влияние, зависимость, звено, погрешность, сигнал, схема, точность, фактор, характеристика, чувствительность.

The mechanism of occurrence of errors in the measuring device is examined and their functional, basic and additional characteristics are opened. Proceeding from the analysis of physical character of each measuring part the technique of drawing up of the equation of an error

of all circuit by summation of errors of parts with weight factors (factors of influence) which depend on a kind of their arrangement in the block diagram is offered. Such method of calculation allows to reveal a role of each part in formation results errors of the measuring device and to create preconditions for optimization of his block diagram. The example of definition of factors of influence for the analog-digital converter for measurement of a voltage of the traction generator of a diesel locomotive is resulted. The main principle of such approach is offered for increase of accuracy of registration of parameters in computer system for test of power systems of diesel locomotives.

Keywords: *influence, dependence, part, error, signal, the scheme, accuracy, the factor, the characteristic, sensitivity.*

Вступ. Підвищення якості продукції та забезпечення її відповідності вимогам стандартів є одним з важливих факторів підвищення ефективності виробництва. На цей час в умовах жорсткої конкуренції в єдиній системі міжнародних економічних відносин основними умовами конкурентоспроможності підприємства є якість створюваної продукції, її ціна і здатність підприємства виконати вимоги замовника у встановлений термін. У процесі впровадження комп'ютерних вимірювальних систем важливу роль відіграє точність їх вимірювання, що безпосередньо залежить від точності периферійних вимірювальних пристроїв (ВП). Саме вони є основним засобом одержання інформації про контрольований процес. Для правильної оцінки точності периферійних ВП на стадії впровадження необхідне дослідження його фізичної схеми з метою виявлення й можливо більш повного обліку зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих (збурюючих) факторів, які призводять до утворення похибок. Тому підвищення точності вимірювань на цей час є дуже актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До теперішнього часу в галузі вимірювальної техніки опублікована значна кількість робіт, у яких викладаються методи розрахунку й проектування різних видів ВП та їх елементів, об'єднаних загальними принципами дії: манометричних [1,4], гіроскопічних [7], оптико-електронних [8], електровимірювальних [11] та ін. У більшості цих робіт параметри

ВП розглядаються як невинуваті величини і не завжди враховується дія на них впливів випадкового характеру. У роботах [13-18] відображений взаємозв'язок між тим, як розуміється точність, як вона розглядається, і тим, як і якими методами вирішуються питання про управління нею у різних галузях (електроенергетика, відеотехніка, нафтова промисловість, радіоелектроніка, ракетно-космічна техніка, медицина). Показано, що субстратному й предметному розумінню точності повинен обов'язково відповідати технологічний рівень управління й вплив на предмет (об'єкт), з метою додання йому відповідних властивостей на основі вдосконалювання класів точності вимірювань. У той же час необхідно відзначити, що точність та клас точності не є безпосереднім показником точності вимірювань, які виконуються ВП. Це викликає необхідність у більш строгому обґрунтуванні точності периферійних ВП на основі визначення необхідних теоретичних оцінок.

Визначення мети та задачі дослідження. У даній статті викладений метод розрахунку точності периферійних ВП для комп'ютерних систем діагностування тепловозів, який дає змогу оцінювати їх похибку незалежно від того, на якому принципі основана їх дія.

Основна частина дослідження. Похибку ВП можна визначити за допомогою спеціального рівняння, що являє собою залежність від первинних похибок. Вони виникають у вимірювальних

ланках під впливом різних внутрішніх і зовнішніх факторів.

Будемо розглядати вимірювальний вузол як перетворювач деякого вхідного сигналу x у вихідний сигнал y , що перебуває під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів z_1, z_2, \dots, z_k , як це показано на рис. 1.

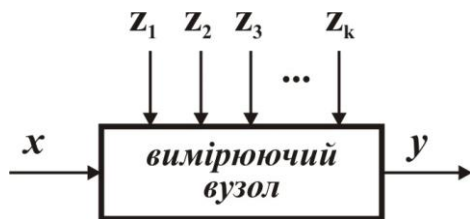


Рис. 1. Схема впливу на вимірюючий вузол зовнішніх факторів

Ідеальну (абсолютно точну) характеристику однієї з таких ланок вимірювального ланцюга можна виразити як [6]

$$y_0 = f_0(x). \quad (1)$$

Вона в сукупності з такими ж ідеальними характеристиками інших ланок усього вимірювального ланцюга забезпечує

$$\Delta y_{\text{набл}} = y_{\text{роз.ном}} - y_0 = f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}) - f_0(x). \quad (3)$$

При цьому розрізняють функціональну, основну й додаткову похибки.

У реальній розрахунковій характеристиці, на відміну від номінальної (2), береться до уваги та обставина, що параметри q_1, \dots, q_m під впливом багатьох факторів відхиляються від номінальних значень q_{10}, \dots, q_{m0} , і, крім того, ураховується дія додаткових збурень q_{m+1}, \dots, q_n

$$\Delta y_{\text{ф}} = y_{\text{роз}} - y_{\text{роз.ном}} = f(x, q_1, \dots, q_n) - f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}). \quad (5)$$

точне відтворення необхідної характеристики ВП у цілому.

Обрана схема математично описується деякою номінальною розрахунковою характеристикою

$$y_{\text{роз.ном}} = f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}), \quad (2)$$

де q_{10}, \dots, q_{m0} – номінальні значення різних параметрів (геометричних, фізичних і т.д.), які пов'язані з конструкцією й методом вимірювання.

Якщо ідеальна (1) і номінальна розрахункова (2) характеристики ланки виражаються однаковими функціями, то при належному виборі параметрів q_{10}, \dots, q_{m0} характеристика (2) буде такою ж, як і (1), тобто абсолютно точною.

Однак на практиці, з метою спрощення схеми, конструкції або методу вимірювання, виявляється доцільним знайти наближений розв'язок, при якому характеристика (2) буде трохи відрізнятися від заданої (1), але бути досить близькою до неї.

Величина похибки цього наближення визначається різницею вихідних величин, які розраховуються з рівнянь (2) і (1)

(сил тертя, небалансу, паразитних наведень, термоелектрорухомих сил і т.д.)

$$y_{\text{роз}} = f(x, q_1, \dots, q_m, q_{m+1}, \dots, q_n). \quad (4)$$

У результаті такої різниці реальної розрахункової характеристики (4) від номінальної (2) виникає так звана функціональна похибка

Цю похибку у першому (лінійному) наближенні можна подати як [6]

$$\Delta y_{\phi} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \Delta q_i, \quad (6)$$

де $\Delta q_i = q_i - q_{i0}$ – первинна похибка параметра q_i .

$$\Delta y_{\delta} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \Delta q_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d^2 y}{dq_i^2} \right)_0 \Delta q_i^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left(\frac{d^2 y}{dq_i dq_j} \right)_0 \Delta q_i \Delta q_j. \quad (7)$$

Вибір припустимого ступеня наближення й оцінка похибки, яка пов'язана з відкиданням залишкового члена ряду Тейлора, здійснюється за відомими правилами [2].

Первинну похибку можна подати у вигляді суми двох частин

$$\Delta q_i = \Delta q_i' + \Delta q_i'', \quad (8)$$

де $\Delta q_i'$ – основна первинна похибка при нормальних умовах роботи;

$\Delta q_i''$ – первинна похибка, викликана відхиленням умов роботи ВП від нормальних.

Для визначення залежності похибок $\Delta q_i''$ від зовнішніх факторів виразимо параметри q_i у вигляді функцій

$$q_i = \varphi_i(z_1, \dots, z_k); \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

де z_1, \dots, z_k – зовнішні фактори, які характеризують умови експлуатації (параметри навколишнього середовища, режими живлення й т.д.).

За номінальні значення зовнішніх факторів приймають їхні значення z_{10}, \dots, z_{k0} , які відповідають нормальним умовам, при яких виконується регулювання

Рівняння (6) впливає з рівняння (5), якщо в нього підставити вираз (4), попередньо розкладений у ряд Тейлора, і обмежитися лінійними членами розкладання. Нульовий індекс у частковій похідній означає, що вона обчислюється для номінального значення параметра.

Друге наближення утворюється, якщо при розкладанні зберегти другі й змішані похідні

та градування ВП. Наприклад, номінальними значеннями атмосферного тиску й температури є відповідно 760 мм рт. ст. і 20 °С.

При номінальних значеннях зовнішніх факторів $z_1 = z_{10}, \dots, z_k = z_{k0}$ рівняння (9) буде мати вигляд

$$q_{i0} = \varphi_i(z_{10}, \dots, z_{k0}). \quad (10)$$

При відхиленні зовнішніх факторів від номінальних значень виникають додаткові похибки

$$\Delta q_i'' = \varphi_i(z_1, \dots, z_k) - \varphi_i(z_{10}, \dots, z_{k0}). \quad (11)$$

У лінійному наближенні

$$\Delta q_i'' = \sum_{j=1}^k \left(\frac{dq_i}{dz_j} \right)_0 \Delta z_j, \quad (12)$$

де Δz_j – відхилення j -го фактора від номінального значення.

Нульовий індекс у частковій похідній означає, що вона обчислюється для значення $z_j = z_{j0}$, яке відповідає нормальним умовам.

У другому наближенні

$$\Delta q_i'' = \sum_{j=1}^n \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \Delta z_j + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \left(\frac{d^2 q_i}{dz_j^2} \right)_0 \Delta z_j^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ r \neq j}}^k \sum_{r=1}^k \left(\frac{d^2 q_i}{dz_j dz_r} \right)_0 dz_j dz_r. \quad (13)$$

Підставляючи вираз (8), а потім (12) у (6), одержимо лінеаризоване рівняння функціональної похибки

$$\Delta y_\phi = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \Delta q_i' + \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \sum_{j=1}^k \left[\left(\frac{dq_i}{dz_j} \right)_0 \Delta z_j \right] \right\}. \quad (14)$$

Підсумовуючи похибки наближення (3) і функціональну похибку (14), одержуємо повне рівняння похибок вимірювальної ланки

$$\Delta y = f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}) - f_0(x) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \Delta q_i' + \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \sum_{j=1}^k \left[\left(\frac{dq_i}{dz_j} \right)_0 \Delta z_j \right] \right\}. \quad (15)$$

Загальну похибку можна подати у вигляді суми

$$\Delta y = \Delta y_{осн} + \Delta y_{доод}. \quad (16)$$

Основна похибка складе

$$\Delta y_{осн} = f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}) - f_0(x) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \Delta q_i'. \quad (17)$$

Додаткова похибка

$$\Delta y_{доод} = \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{dy}{dq_i} \right)_0 \sum_{j=1}^k \left[\left(\frac{dq_i}{dz_j} \right)_0 \Delta z_j \right] \right\}. \quad (18)$$

Позначимо через i порядковий номер ланки, через y_{i-1} вхідний сигнал i -ї ланки та через y_i – її вихідний сигнал.

Вхідний сигнал першої ланки, що є чутливим елементом ВП, позначимо через вихідний сигнал усього вимірювального ланцюга – через y .

Відповідно абсолютна похибка i -ї ланки, яка виражена в одиницях її вихідного сигналу, буде Δy_i , а загальна

абсолютна похибка вимірювального ланцюга – Δy .

Знайдемо зв'язок між загальною похибкою вимірювального ланцюга Δy й похибками її ланок $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_N$, де N – загальна кількість ланок.

Якби ланки ВП були ідеально точними, то при сталому режимі вимірювання система мала б один ступінь свободи, і вихідні сигнали ланок $y_1, y_2,$

..., y_N , так само, як і вихідний сигнал y усього вимірювального ланцюга, однозначно відповідали б одна одній та вимірюваній величині x , як показано на рис. 2, а.

У реальному ВП під впливом незалежних похибок вимірювальних ланок сигнали y_1, y_2, \dots, y_N на виході ланок 1, ..., N можуть одержувати незалежні від x прирости, і система набуває $N + 1$ ступенів свободи (рис. 2, б).

У цьому випадку

$$y = f(x, y_1, \dots, y_N). \quad (19)$$

При $x = const$ вихідний сигнал y одержує приріст за рахунок збільшення проміжних сигналів y_1, y_2, \dots, y_N , які обумовлені похибками ланок. Це збільшення сигналу y (що є абсолютною похибкою ВП) у лінійному наближенні можна подати у вигляді повного диференціала функції (19) при $x = const$

$$\Delta y = \sum_{i=1}^N \left(\frac{dy}{dy_i} \right)_0 \Delta y_i. \quad (20)$$

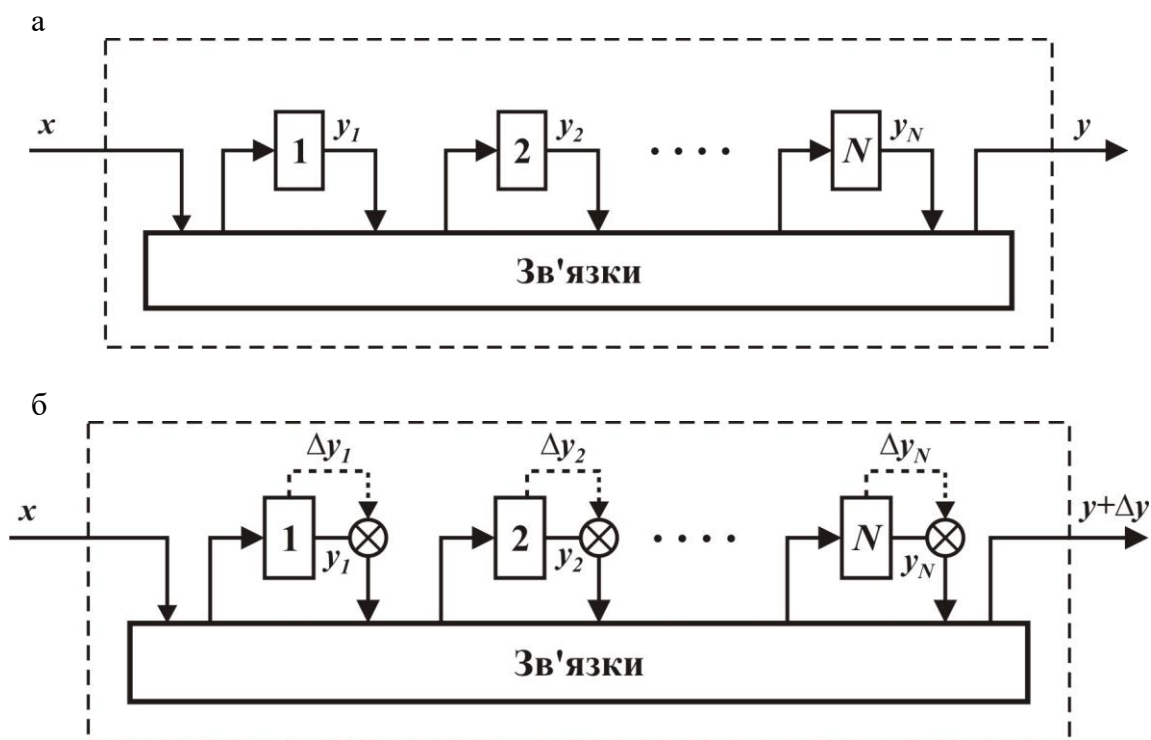


Рис. 2. Проходження сигналів через вимірювальні ланки:
а – при відсутності похибок; б – при наявності похибок

Даний вираз являє собою рівняння похибки ВП у розмірній формі, а часткова похідна, що входить до нього, – коефіцієнт впливу i -ї ланки на загальну похибку ВП.

Для переходу до безрозмірної форми вираз (20) перетворимо таким чином:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{dy}{dy_i} \right)_0 \frac{y_i}{y} \frac{\Delta y_i}{y_i}, \quad 21$$

де $\frac{\Delta y_i}{y_i}$ – відносна похибка i -ї ланки;

$\frac{\Delta y}{y}$ – відносна похибка ВП.

З іншого боку, можна записати, що

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^N \Psi_i \frac{\Delta y_i}{y_i}, \quad (22)$$

де $\Psi_i = \left(\frac{dy}{dy_i} \right)_0 \frac{y_i}{y}$ – безрозмірний коефіцієнт впливу i -ї ланки.

Загальна чутливість S вимірювального ланцюга є функцією чутливості S_1, \dots, S_N ланок

$$S = \varphi(S_1, \dots, S_N). \quad (23)$$

Вид даної функції визначається типом структурної схеми ВП.

Якщо чутливості ланок одержують незалежні збільшення $\Delta S_1, \dots, \Delta S_N$, то збільшення загальної чутливості в лінійному наближенні буде складати

$$\Delta S = \sum_{i=1}^N \frac{dS}{dS_i} \Delta S_i. \quad (24)$$

Перепишемо цей вираз у такому вигляді:

$$\frac{\Delta S}{S} = \sum_{i=1}^N \frac{dS}{dS_i} \frac{S_i}{S} \frac{\Delta S_i}{S_i}. \quad (25)$$

Якщо ланки мають пропорційні характеристики (як показано на рис. 3), то відносні зміни чутливості $\Delta S / S$ й $\Delta S_i / S_i$ можна замінити відносними змінами сигналів.

Припустимо, що необхідна характеристика i -ї ланки виражається як

$$y_i = S_i y_{i-1}. \quad (26)$$

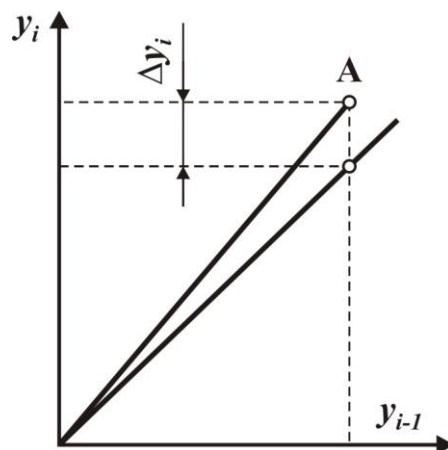


Рис. 3. Зміна характеристик ланок ВП

Якщо при деякому фіксованому значенні вхідного сигналу вихідний сигнал відрізняється від необхідного (точка А на рис. 3), то виникає абсолютна похибка Δy_i , яку можна трактувати як результат зміни чутливості ланки

$$y_i + \Delta y_i = (S_i + \Delta S_i) y_{i-1}. \quad (27)$$

З рівнянь (26) і (27) можна одержати таке співвідношення:

$$\frac{\Delta S_i}{S_i} = \frac{\Delta y_i}{y_i}. \quad (28)$$

Аналогічно можна одержати таке ж співвідношення для ВП у цілому

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta y}{y}. \quad (29)$$

Підставляючи (28) і (29) у вираз (25), одержимо

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum \frac{dS}{dS_i} \frac{S}{S_i} \frac{\Delta y}{y_i}. \quad (30)$$

Порівнюючи вирази (30) і (22), одержуємо формулу для визначення безрозмірного коефіцієнта впливу i -ї ланки структурної схеми, що складається з ланок із пропорційними характеристиками:

$$\Psi_i = \frac{dS}{dS_i} \frac{S_i}{S}. \quad (31)$$

Як приклад знайдемо коефіцієнти впливу для аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для вимірювання напруги тягового генератора тепловоза, структурна схема якого наведена на рис. 4.

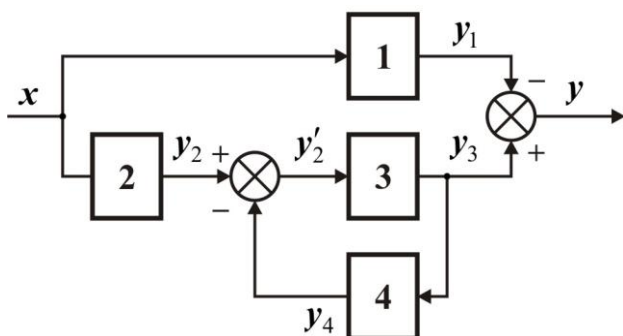


Рис. 4. Структурна схема АЦП для вимірювання напруги тягового генератора тепловоза

За методикою, викладеною в [6], визначений вираз загальної чутливості для даного АЦП

$$S = \frac{S_1 + S_1 S_3 S_4 + S_2 S_3}{1 + S_3 S_4}. \quad (32)$$

Знайдемо часткові похідні:

$$\frac{dS}{dS_1} = 1; \quad (33)$$

$$\frac{dS}{dS_2} = \frac{S_3}{1 + S_3 S_4}; \quad (34)$$

$$\frac{dS}{dS_3} = \frac{S_2}{(1 + S_3 S_4)^2}; \quad (35)$$

$$\frac{dS}{dS_4} = \frac{-S_2 S_3^2}{(1 + S_3 S_4)^2}. \quad (36)$$

Підставляючи (32) і (33) - (36) у (31), знаходимо безрозмірні коефіцієнти впливу ланок:

$$\Psi_1 = \frac{S_1 + S_1 S_3 S_4}{S_1 + S_2 S_3 + S_1 S_3 S_4}; \quad (37)$$

$$\Psi_2 = \frac{S_2 S_3}{S_1 + S_2 S_3 + S_1 S_3 S_4}; \quad (38)$$

$$\Psi_3 = \frac{S_2 S_3}{(1 + S_3 S_4)(S_1 + S_2 S_3 + S_1 S_3 S_4)}; \quad (39)$$

$$\Psi_4 = \frac{-S_2 S_3^2 S_4}{(1 + S_3 S_4)(S_1 + S_2 S_3 + S_1 S_3 S_4)}. \quad (40)$$

Так, для схеми АЦП (рис. 4) були визначені такі коефіцієнти впливу:

$$S_1 = 5; \quad \Psi_1 = 0,095; \quad S_2 = 500; \\ \Psi_2 = 0,905; \quad S_3 = 2; \quad \Psi_3 = 0,043; \\ S_4 = 10; \quad \Psi_4 = -0,862.$$

Від'ємне значення коефіцієнта Ψ_4 (який відображає негативний зворотний зв'язок) вказує, що похибки ланок 3 і 4 передаються на вихід вимірювального ланцюга з ослабленням. Загальне зменшення похибки всієї схеми становить 0,181 або 18,1%.

Визначення вагових значень коефіцієнтів впливу дає змогу оцінити якість процесу вимірювання і, як результат, запровадити необхідні конструктивні зміни у ВП для зменшення його похибки в цілому.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Розглянуто механізм появи похибок у вимірювальному пристрої й розкриті їх функціональні, основні й додаткові характеристики.

2. Виходячи з аналізу фізичного характеру кожної вимірювальної ланки запропонована методика складання

рівняння похибок всього ланцюга шляхом підсумовування похибок ланок із ваговими коефіцієнтами (коефіцієнтами впливу), які залежать від виду їх розташування в структурній схемі. Такий метод розрахунку дає змогу виявити роль кожної ланки у формуванні результуючої похибки ВП і

створити передумови для оптимізації його структурної схеми. Основний принцип такого підходу запропонований для підвищення точності ресстрації параметрів у комп'ютерній системі для випробування енергетичних систем тепловозів.

Список використаних джерел

1. Атомаян, Э. Т. Приборы и методы измерения электрических величин [Текст] / Э.Т. Атомаян. – М.: Высшая школа, 1982.
2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Физматгиз, 1982.
3. Гинзбург, В. Б. Магнитоупругие датчики [Текст] / В.Б. Гинзбург. – М.: Энергия, 1970.
4. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества [Текст] / П.П. Кремлевский. – М.: Машиностроение, 1975.
5. Кукуш, В. Д. Электрорадиоизмерения [Текст] / В.Д. Кукуш. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Купершмидт, Я. Л. Точность телеизмерений [Текст] / Я.Л. Купершмидт. – М.: Энергия, 1978.
7. Левшина, Е. С. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи) [Текст] / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
8. Малиновский, В. Н. Электрические измерения [Текст] / В.Н. Малиновский. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Мирский, Г. Я. Микропроцессоры в измерительных приборах [Текст] / Г.Я. Мирский. – М.: Радио и связь, 1984.
10. Новицкий, П. В. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / П.В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1977.
11. Орнатский, П. П. Автоматические измерения и приборы [Текст] / П.П. Орнатский. – К.: Вища школа, 1983.
12. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / В.П. Преображенский. – М.: Энергия, 1978.
13. Misbah Aiad, Peng Hin Lee. Non-intrusive load disaggregation with adaptive estimations of devices main power effects and two-way interactions. *Energy and Buildings*, Volume 15, October 2016, pp 131-139.
14. Almeida Santos C., Oliveira Costa C., Batista J. A vision-based system for measuring the displacements of large structures: Simultaneous adaptive calibration and full motion. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volumes 72–73, May 2016, pp 678-694.
15. Nour Eddin Yakdi, Francois Huet, Kieu Ngo. Detection and sizing of single droplets flowing in a lab-on-a-chip device by measuring impedance fluctuations. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 29, November 2016, pp 794-804.
16. Chien-Yi Huang, Kuo-Ching Ying. Dynamic parametric design and feasibility assessment for a high resistance measuring system. *Measurement*, Volume 92, October 2016, pp 42-49.
17. Maurizio Natali, Jose Maria Kenny, Luigi Torre. Science and technology of polymeric ablative materials for thermal protection systems and propulsion devices: a review. *Progress in Materials Science*, In Press, Accepted Manuscript, Available online, September 2016.

18. Javier Ena, Teresa Lozano, Gema Verdú, Carlos R. Argente, Victor L. Accuracy of ankle-brachial index obtained by automated blood pressure measuring devices in patients with diabetes mellitus. *Diabetes Research and Clinical Practice*, Volume 92, Issue 3, June 2011, pp 329-336.

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (093) 151-73-15.

Сироватський Євген Володимирович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.

Відіборов Дмитро Олексійович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.

Babanin Aleksandr Borisovich, doct. of techn. sciences, professor, Ukrainian state university of a railway transportation. Tel.: (093) 151-73-15.

Syrovatskyu Eugene, master of Ukrainian State University of Railway Transport.

Vidiborov Dmitri, master of Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 22.09.2016 р.

УДК 629.423.24

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОПРУЖНОГО СТАНУ ГАЛЬМІВНОГО ДИСКА ВИСОКОШВИДКІСНОГО ПОЇЗДА

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, А. Є. Кошель, асп. І. Р. Вихопень

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНОГО ДИСКА ВИСОКОСКОРОСТНОГО ПОЕЗДА

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, А. Е. Кошель, асп. И. Р. Вихопень

RESEARCH THERMOELASTIC STATE OF THE BRAKE DISC HIGH-SPEED TRAIN

Ph.D. assoc. N. D. Chigirik, A. E. Koshel, asp. I. R. Vihopen

Запропоноване розрахункове порівняння гальмівних дисків для високошвидкісних поїздів, виготовлених з легованої сталі, і дисків з композитів на основі карбиду кремнію SiC – SiC, армованого ниткоподібними кристалами β – SiC. Критерієм ухвалення рішення є неперевищення величини термонапружень у диску руйнівних значень напруг матеріалу диска. Розрахунки проведені методом кінцевих елементів у програмному модулі SolidWorks Simulation.

Ключові слова: високошвидкісний поїзд, гальмівний диск, термонапруження, метод кінцевих елементів, програмний модуль SolidWorks Simulation.

Предложено расчетное сравнение тормозных дисков для высокоскоростных поездов, изготовленных из легированной стали, и дисков из композитов на основе карбида кремния SiC – SiC, армированного нитевидными кристаллами β – SiC. Критерием принятия решения является не превышение величины термонапряжений в диске разрушающих значений напряжений материала диска. Расчет проведен методом конечных элементов в программном модуле SolidWorks Simulation.

Ключевые слова: высокоскоростной поезд, тормозной диск, термонапряжения, метод конечных элементов, программный модуль SolidWorks Simulation.

One of the main factors of traffic safety of any mode of transport, including rail, rolling stock equipment is highly reliable brake system elements, and even more so when it comes to high-speed rail transport.

The process of braking of railway rolling stock has a high thermal load of the friction elements, so to ensure the high efficiency of the disc brake pads need to ensure that the design, which could counteract the negative effects of high temperatures. Equally important is the use of steam during the production of new disc brake friction materials, including ceramic matrix composite.

Friction elements of these materials today are at the test stage, or already used in high-speed trains, such as - TVG (France), Talent (Germany), Pendolino (Italy), APT (England), AVE (Spain), HSR- 350x (Korea), Shinkansen (Japan) and some other.

Based on the new properties of the material it is advisable to consider the possibility of improving the friction elements of the brake is to a first approximation, calculation methods.

The paper presents the algorithm for calculating the brake disc thermal loads using the method of V. Inozemtsev. Carried out a review of existing research results pairs disc brake friction in the operating conditions. Detailed description of the main technical requirements for the design of disc brakes for use on railway rolling stock.

Keywords: *high-speed train, brake disc, thermoelectric voltages, finite element method, SolidWorks Simulation software module.*

Вступ. Одним з визначальних факторів безпеки руху будь-якого залізничного транспорту, а тим паче високошвидкісного, є оснащення рухомого складу високонадійними елементами гальмової системи.

Крім цього, елементи гальм через їхню специфіку роботи є й найбільш витратними запасними частинами. Кількість і вартість їх суттєво впливає на загальну суму експлуатаційних витрат рухомого складу.

Зносостійкість пар тертя визначає й періодичність технічного обслуговування поїздів, що у свою чергу також відбивається на коефіцієнті працездатності рухомої одиниці.

Процес гальмування залізничного рухомого складу характеризується високим тепловим навантаженням фрикційних елементів, тому для забезпечення високої ефективності роботи дискового гальма необхідно забезпечити відповідну конструкцію колодок, що встановлюються, замінити конструкцію диска із самовентильованням на більш просту – невентильовану. Для цього необхідно провести дослідження нових матеріалів і конструктивних рішень при проектуванні

деталей пари тертя, що дасть змогу оптимізувати необхідну кількість гальмових обладнань, установлюваних на осі колісної пари.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розроблення й застосування дискових гальм на залізничному транспорті в країнах СНД почалося з 1958 року. З того часу досить велика увага вчених приділена теоретичним і експериментальним дослідженням роботи пари тертя дискового гальма в експлуатаційних умовах, тому що від фрикційно-зношувальних властивостей пари тертя залежить ефективність і якість гальмування. Над цією проблемою працювали такі вчені, як: А.В. Чичинадзе, В.Г. Іноземцев, Є.І. Галай, П.К. Рудов, А.І. Турков, П.А. Тищенко, Д.В. Титарев, А.М. Ножевников, А.А. Мишин, М.Д. Фокін, Е.Н. Байбакова, Л.А. Вуколов, А.І. Колесніченко, Ю.П. Федосєєв та ін. [1].

У результаті проведених робіт зроблено кілька основних висновків:

- значний вплив на роботу пари тертя роблять конструкційні фактори: площа тертя, взаємне перекриття, форма й розміри контактуючих елементів, жорсткість конструкції та ін.;

- на параметри роботи пари тертя великий вплив робить вибір їх матеріалів; фрикційні матеріали в контакті розвивають відносно високий і стабільний коефіцієнт тертя; основною характеристикою фрикційних матеріалів є здатність поглинати або розсіювати кінетичну енергію без сильного зношування самого матеріалу і його руйнування;

- до характеристик фрикційних матеріалів ставляться такі вимоги: стабільність коефіцієнта тертя, висока зносостійкість, стабільність фрикційних властивостей при нагріванні, стійкість до утворення тріщин від теплових і силових навантажень, високий опір до тужавлення в холодному й нагрітому станах, опір до налипання, здатність працювати при температурах до 800...1000 °C та ін.

Визначення мети та задачі дослідження. Сьогодні найбільші перспективи застосування у швидкісному залізничному рухомому складі мають композиційні матеріали з керамічною матрицею. Фрикційні елементи із цих матеріалів або прогноуються, або вже застосовуються у високошвидкісних поїздах TVG (Франція), Talent (Німеччина), Pendolino (Італія), ART (Англія), AVE (Іспанія), HSR-350x (Корея), Shinkansen (Японія) і в ряді інших. Слід зазначити, що маса одного сталевого гальмівного диска становить більше 100 кг і зниження його маси у 2 рази за рахунок використання композиційних матеріалів з керамічною матрицею дасть змогу зменшити сумарну масу швидкісного поїзда більш ніж на 5 т [2].

Всеросійським інститутом авіаційних матеріалів (ВІАМ) розроблений композиційний матеріал нового покоління – SiC-SiC композит (карбід кремнію), армований ниткоподібними кристалами β -SiC [3].

Основна особливість структури цих композитів полягає в наявності армуючого каркаса з хаотично розташованими в обсязі ниткоподібних кристалів β -SiC, щільно покритих оболонкою матеріалу матриці SiC і жорстко зв'язаних у вузлах перетинань,

при цьому утворюється значна пористість (до 80-90 %), що практично не впливає на питому міцність композита. Реально досягнута міцність композита SiC-SiC, рівна 180 МПа при щільності 1,4 г/см³ (з реалізацією міцності армуючих компонентів 10000 МПа, робоча температура яких становить 1100 °C) [4].

Виходячи з нових властивостей матеріалу доцільно розглянути можливість удосконалення фрикційних елементів розрахунковими методами.

Основна частина дослідження. При розрахунках приймемо: електропоїзд моделі «Тарпан» (ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», Україна) з максимальною розрахунковою масою $m = 648000$ кг (36 осей \times 18000 кг), що рухається зі швидкістю $v = 200$ км/год (0,05556 км/с), починає гальмування й через 69,5 с зупиняється (прискорення гальмування – 0,8 м/с² (-0,0008 км/с²).

Зупинні гальмування здійснюються, як правило, при постійній силі натискання, однак коефіцієнт тертя фрикційних матеріалів, що застосовуються в сучасних гальмах, нелінійно змінюється залежно від швидкості. Через це теплові розрахунки значною мірою ускладнюються [1].

Використання методу розрахунків В.Г. Іноземцева і Є.І. Ворожі, на основі отриманих аналітичних залежностей, дає змогу найбільш просто й з достатньою точністю розв'язувати задачу з розрахунку теплового режиму фрикційних вузлів. Ці розв'язки отримані для граничних умов при допущенні, що описувані фрикційні елементи є напівобмеженими тілами. Інше допущення стосується закону зміни теплового потоку в процесі зупинного гальмування. Зокрема прийнято, що щільність теплового потоку миттєво зростає до максимального значення q_0 , а надалі зі зниженням швидкості генерування теплоти зменшується за лінійним законом.

Щільність теплового потоку визначається за такою формулою:

$$q_0 = \frac{K_H \varphi_k V(t) r_{\vartheta}}{RA_{a1}}, \quad (1)$$

де K_H – нормальна сила натискання накладки;

φ_k – коефіцієнт тертя;

r_{ϑ} – ефективний радіус тертя;

$V(t)$ – лінійна швидкість на радіусі r_{ϑ} ;

A_{a1} – номінальна площа контакту накладки і диска;

R – радіус колеса по колу кочення.

У випадку фрикційного гальмування генерування теплоти відбувається в результаті пружного деформування поверхневих шарів диска й накладки. Інтенсивність тепловиділення пропорційна роботі тертя в зоні контакту.

Прийнято вважати, що перенос теплоти від поверхні контакту вглиб тіл тертя здійснюється пружними тепловими коливаннями мікрочастинок і тепловим рухом електронів провідності. Тому в початкові моменти фрикційної взаємодії відбувається нагрівання поверхневого шару, а фронт прогріву поширюється вглиб контактуючих елементів з якоюсь кінцевою швидкістю. Температурний режим кожного елемента залежить від щільності вхідного в нього теплового потоку.

Щільність теплового потоку $q_3(t)$, що спрямований у навколишнє середовище

при конвективному теплообміні, визначається рівнянням Ньютона:

$$q_3(t) = \alpha'(t)[\mathcal{G}_H(0,t) - \mathcal{G}_C], \quad (2)$$

де α' – коефіцієнт тепловіддачі;

$\mathcal{G}_H(0,t)$ – температура тепловіддаючої поверхні;

\mathcal{G}_C – температура навколишнього середовища.

Тривалість дії теплового потоку при гальмуванні характеризується числом Фур'є. При малих числах Фур'є $F_0 < 0,01$ тепловіддачі з тилового боку елемента практично немає, і можна вважати, що фрикційний елемент нагрівається потоком

У табл. 1 наведено значення параметра A , який розрахований для фрикційних елементів з різних матеріалів. Число Фур'є може бути визначене за формулою

$$F_0 = 10^{-3} At, \quad (3)$$

де t – час дії теплового потоку, с.

Розв'язання задач про температурний режим тіл тертя гальма пов'язане з необхідністю вибору розрахункових теплових схем, що враховують геометричну форму цих тіл, а також виду рівняння теплопровідності.

Таблиця 1

Залежність параметра A від товщини елемента, що нагрівається

| Матеріал тіла, що нагрівається | Параметр A при глибині нагрівання h , мм | | | | | | |
|--------------------------------|--|------|--------|------|-------|--------|--------|
| | 10 | 20 | 30 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Сталь | 114 | 28,5 | 12,667 | 4,56 | 3,167 | 2,327 | 1,781 |
| Чавун | 104 | 26 | 11,556 | 4,16 | 2,889 | 2,122 | 1,625 |
| Композит | 4 | 1 | 0,444 | 0,16 | 0,111 | 0,0816 | 0,0625 |

У дисковому гальмі однакова величина щільності теплового потоку по всій номінальній площі контакту A_{al} може бути досягнута вибором раціональної конструкції вузла кріплення фрикційної

накладки, що забезпечує необхідний закон розподілу питомих тисків.

На рис. 1 подана схема вузла тертя й теплової взаємодії фрикційних пар у дисковому гальмі.

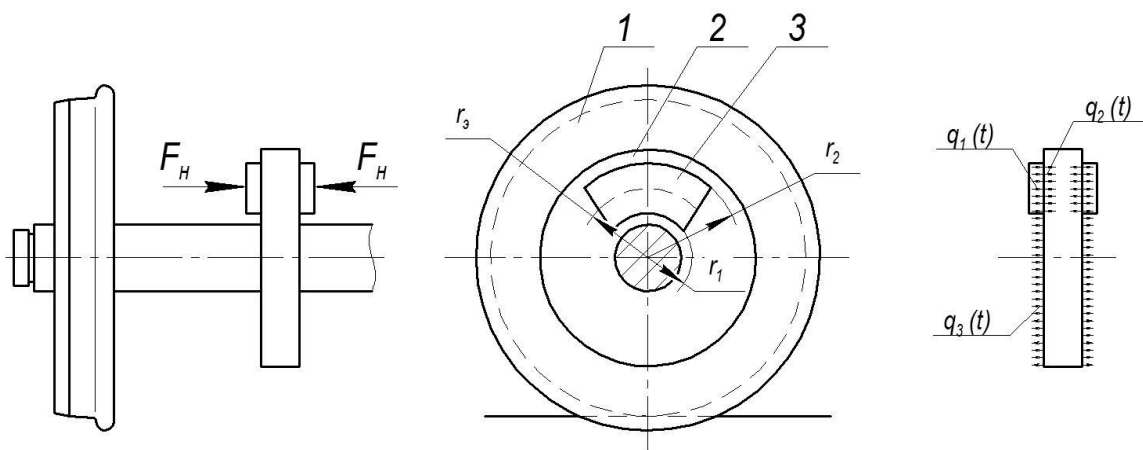


Рис. 1. Схема фрикційної пари:

a – схема вузла тертя; b – тепла схема для однієї щокі гальмівного диска; $q_1(t)$ – щільність теплового потоку, що спрямований у накладку; $q_2(t)$ – щільність теплового потоку, що спрямований у диск; $q_3(t)$ – щільність теплового потоку, що спрямований у навколишнє середовище; 1 – колесо; 2 – гальмівний диск; 3 – фрикційна накладка гальмівної колодки

З урахуванням прийнятих вище допущень процеси зупинного гальмування описуються одновимірним рівнянням теплопровідності Фур'є:

$$\frac{dv_1}{dt} = a_1 \frac{d^2 v_1}{dz_1^2}, \quad (4)$$

де a_1 – коефіцієнт теплопровідності елемента 1 (диск) і елемента 2 (накладка) фрикційної пари;

z_1 – глибина в елементі 1 (диск) перпендикулярна до поверхні контакту тіл тертя.

Опис напівобмеженого тіла (на прикладі фрикційного елемента 1 (диска)). Одновимірне нагрівання матеріального

півпростору постійним тепловим потоком q_1 описується таким граничним завданням:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_1}{dt} &= a_1 \frac{d^2 v_1}{dz_1^2} \\ -\lambda_1 \frac{dv_1}{dz_1} &= q_1 \\ \frac{dv_1(\infty, t)}{dz_1} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{крайові умови} \quad (5)$$

$v_1(\infty, t) = v_0$ – початкові умови

Опис необмеженої пластини. При одновимірному нагріванні постійним тепловим потоком ($q_1 = const$) тепловий режим описується граничним завданням:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_1}{dt} &= a_1 \frac{d^2 v_1}{dz_1^2} \\ \lambda_1 \frac{dv_1(0,t)}{dz_1} &= q_1 \\ \frac{dv_1(h_1,t)}{dz_1} &= 0 \\ dv_1(z_1,0) &= v_0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Проведемо тепловий розрахунок гальмівного диска на прикладі деталей фрикційної пари «гальмівний диск – накладка» для застосування у візках моделі

68-7049 (рис. 1, б) високошвидкісного електропоїзда «Тарпан».

Гальмівний диск і фрикційні накладки виготовлені з композитного матеріалу SiC-SiC, армованого ниткоподібними кристалами: товщина диска 50 мм; зовнішній діаметр диска – 620 мм; товщина накладки 22 мм; мінімальна гранична товщина накладки в експлуатації 5 мм; площа накладки 375 см²; коефіцієнт тертя – 0,75.

Результати розрахованих значень приростів температур на поверхні тертя диска при екстреному гальмуванні наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку приростів температур на поверхні тертя диска при екстреному гальмуванні

| № п/п | Параметр розрахунку | Час гальмування <i>t</i> , с | | |
|-------|--|------------------------------|--------|--------|
| | | 5 | 35 | 69,5 |
| 1 | Швидкість при гальмуванні <i>v</i> , м/с | 51,56 | 27,56 | 0 |
| 2 | Число Фур'є <i>F₀₂</i> | 0,1425 | 0,855 | 1,71 |
| 3 | <i>q₀(t)</i> , кВт/м ² | 1741 | 920 | 0 |
| 4 | <i>q₂(t)</i> , кВт/м ² | 1589 | 869 | 0 |
| 5 | <i>θ'₂(0)</i> | 0,5647 | 1,2658 | 1,9654 |
| 6 | <i>θ''₂(0)</i> | 0,05984 | 0,7896 | 2,3256 |
| 7 | <i>v₂(0,t) – v₀</i> , С° | 521 | 869 | 723 |

Отримані результати дають змогу констатувати, що максимальна температура гальмівного диска досягає 869 °С при екстреному гальмуванні, і до кінця гальмування знижується до 723 °С. На початку ж гальмування температура підвищується до 521 °С.

Результати проведених розрахунків умов роботи фрикційної пари прийнято як вхідні дані для розв'язання задачі напружено-деформованого стану матеріалу пари тертя від спільної дії температури й сил гальмування. Ця задача розв'язується методом кінцевих елементів у середовищі

розрахункового модуля SolidWorks Simulation. Гальмівний диск зроблений з легованої сталі, а накладки – з композитного матеріалу SiC-SiC на основі ниткоподібних кристалів β – SiC. Фізико-механічні властивості сталі, застосованої в моделі фрикційного диска, наведені на рис. 2.

Фізико-механічні властивості композита SiC-SiC, армованого ниткоподібними кристалами β – SiC, що застосований у моделі фрикційної накладки, наведені на рис. 3.

Категорія:
 Ім'я:
 Описання:
 Істочник:
 Sustainability:

| Свойство | Значение | Единицы измерения |
|----------------------------------|-----------|-------------------|
| Модуль упругости | 2.1e+011 | Н/м ² |
| Коеффіцієнт Пуассона | 0.28 | Не применимо |
| Модуль сдвига | 7.9e+010 | Н/м ² |
| Массовая плотность | 7700 | кг/м ³ |
| Предел прочности при растяжении | 723825600 | Н/м ² |
| Предел прочности при сжатии | | Н/м ² |
| Предел текучести | 620422000 | Н/м ² |
| Коеффіцієнт теплового расширения | 1.3e-005 | /К |
| Теплопроводность | 50 | W/(м·К) |

Рис. 2. Фізико-механічні властивості легованої сталі

Категорія:
 Ім'я:
 Описання:
 Істочник:
 Sustainability:

| Свойство | Значение | Единицы измерения |
|----------------------------------|-----------|-------------------|
| Модуль упругости | 430000000 | Н/м ² |
| Коеффіцієнт Пуассона | 0.25 | Не применимо |
| Модуль сдвига | | Н/м ² |
| Массовая плотность | 3150 | кг/м ³ |
| Предел прочности при растяжении | 150000000 | Н/м ² |
| Предел прочности при сжатии | 150000000 | Н/м ² |
| Предел текучести | 150000000 | Н/м ² |
| Коеффіцієнт теплового расширения | 4.1e-006 | /К |
| Теплопроводность | 200 | W/(м·К) |

Рис. 3. Фізико-механічні властивості композита SiC-SiC, армованого ниткоподібними кристалами β – SiC

Модель фрикційної пари з розбитою на її деталях сіткою кінцевих елементів наведена на рис. 4.

Модель невентильованого гальмівного диска з легованої сталі закріплена в отворах кріпильних болтів з обмеженням по всіх ступенях вільності.

Картина закріплення, навантаження й результати розрахунків цього варіанта пари тертя подані на рис. 5.

Як видно з результатів розрахунків, напруження, що виникають від дії

температури на 35-й секунді гальмування (869°C), перевищують границю текучості матеріалу гальмівного диска 6327 кг/см² в 1,3 рази, що призведе до руйнування диска при першому ж гальмуванні.

Результати розрахунків варіанта пари тертя, де невентильований гальмівний диск виготовлено з композитного матеріалу SiC-SiC, армованого ниткоподібними кристалами β – SiC, наведено на рис. 6.

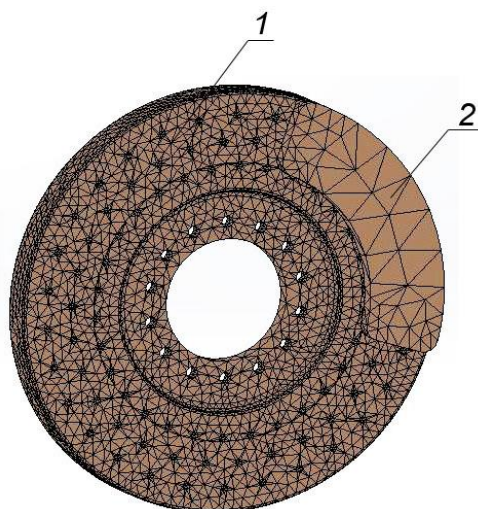


Рис. 4. Сітка кінцевих елементів на моделі фрикційної пари: 1 – фрикційний диск; 2 – фрикційна накладка (друга не видна)

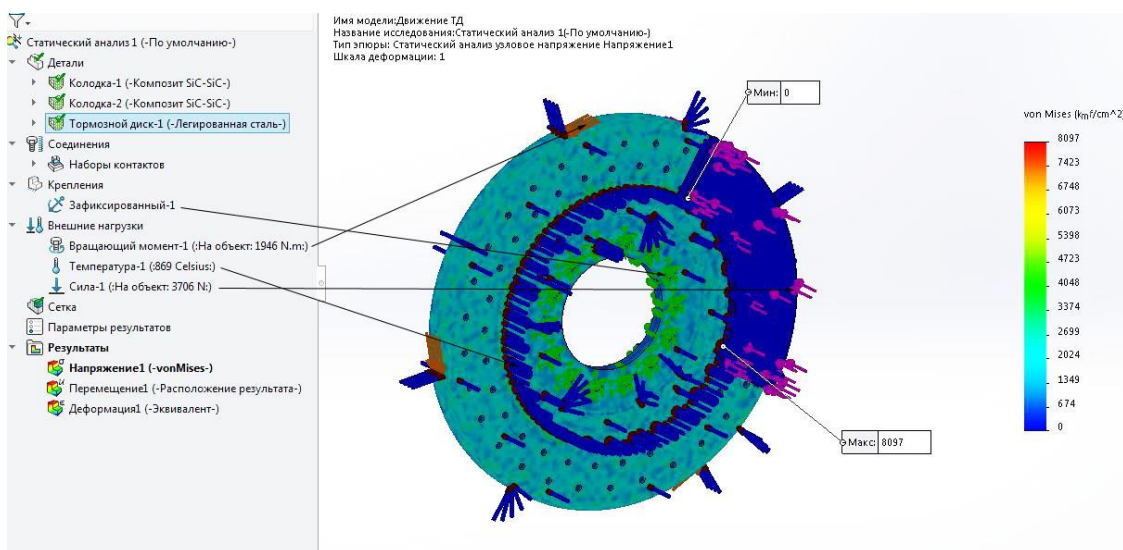


Рис. 5. Результати розрахунку напружено-деформованого стану деталей фрикційної пари диск – накладки (диск виготовлений з легованої сталі)

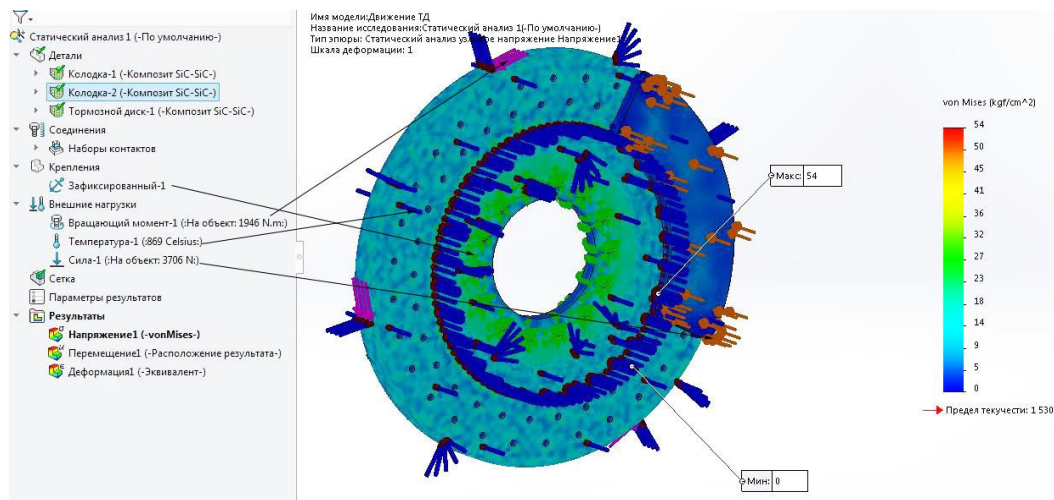


Рис. 6. Результати розрахунку напружено-деформованого стану деталей фрикційної пари диск – накладки (диск виготовлений з композитного матеріалу)

У зв'язку зі специфічною внутрішньою будовою композита SiC-SiC, армованого ниткоподібними кристалами β -SiC, його міцність становить 180 МПа (1800 кг/см^2) при робочій температурі $1100 \text{ }^\circ\text{C}$.

У нашому випадку температура диска на 35-й хвилині гальмування 869°C , що абсолютно не викликає напруженого стану диска. У цьому випадку на диск діють сили, що виникають від поїзда, який рухається по інерції, і сили тертя між накладками й фрикційним диском, які значно менші від границі міцності (180 МПа) композита, з якого він зроблений, і становлять 54 кг/см^2 ($5,3 \text{ МПа}$). Границя міцності на вигин даного матеріалу не менше 100 МПа.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, розраховані дані з теплового навантаження розглянутої

конструкції диска із застосуванням методу, запропонованого В.Г.Іноземцевим, показують, що температури поверхневого й об'ємного нагрівання, що досягаються в експлуатації, далекі від рівня процесу виникнення мікро-тріщин та інших руйнувань у диску. Це дає можливість застосовувати в конструкції візків для швидкісного залізничного транспорту невентильовані гальмівні диски з композитного матеріалу SiC-SiC (карбїду кремнію), армованого ниткоподібними кристалами β -SiC.

Це у свою чергу в три рази зменшує невіднеснену масу фрикційних елементів, дає їм можливість без руйнувань сприймати температурні навантаження навіть від екстрених гальмувань, що значно підвищує безпеку й надійність експлуатації швидкісного рухомого складу.

Список використаних джерел

1. Мошков, А. А. Разработка рациональной конструкции блока дискового тормоза для скоростных грузовых и высокоскоростных пассажирских вагонов [Текст]: дис.... канд. техн. наук : 05.22.07 / Мошков Алексей Александрович. – М., 2014. – 217 с.
2. Кулик, В. И. Современные системы торможения на основе фрикционных композитных материалов с углеродной и керамической матрицей [Электронный ресурс] /

В.И. Кулик, Д.Ф. Устинова, А.С. Нилов // Оборонный заказ. Интернет-приложение – 2007. – №17 (декабрь) – Режим доступа: <http://www.ozakaz.ru/index.php/articles/n-25-12-2007/217-n27032011-18-45>. – Загл.с экрана. – (Дата обращения: 25.07.2016).

3. SiC–SiC композиты, армированные нитевидными кристаллами [Текст] / Д.В. Гращенков [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – №5. – С. 1-13.

4. Ghadimi B. Kowsary F. Khorami M., Thermal analysis of locomotive wheel-mounted brake disc [Текст]: Applied Thermal Engineering. - Volume 51. – 2013. С. 948–952.

5. Wu S.C., Zhang S.Q., Xu Z.W., Thermal crack growth-based fatigue life prediction due to braking for a high-speed railway brake disc [Текст]: International Journal of Fatigue. - Volume 87. – 2016. С. 359–369.

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.730-19-99.

Кошель Андрій Євгенійович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту, машиніст-інструктор моторвагонного депо «Люботин». Тел. +38(066)-96-13-084.

Вихопень Іван Романович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-19-99.

Chigirik Nataliya Dmitrivna - tehnichnih Ph.D., assoc. of department " Maintenance and repair of rolling stock." Tel.730 19-99.

Koshel Andrey Evgenievich - driver instructor motor-wagon depot "Lyubotin." Tel. +38 (066) -96-13-084.

Vyhopen Ivan Romanovich. - graduate student of "Maintenance and repair of of rolling stock." Tel. 730 19-99.

Стаття прийнята 22.09.2016 р.

УДК 656.027

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ І РОЗВИТКУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ В УКРАЇНІ

Канд. техн. наук А. О. Ковальов, А. Є. Проплеткіна, В. Д. Богатирьова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ВИСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ В УКРАИНЕ

Канд. техн. наук А. А. Ковалев, А. Е. Проплеткина, В. Д. Богатырева

DEFINITION OF EFFICIENCY AND IMPLEMENTATION IN UKRAINE HIGH-SPEED

Ph. D. tehn. A. O. Kovalov, A. E. Propletkina, V. D. Bogatureva

У статті розглянуто ефективність впровадження і розвитку в Україні проектів високошвидкісного пасажирського руху. На основі визначення розміру потрібних інвестицій в проект та терміну його окупності пропонується визначати ступінь прибутковості запропонованого проекту при реалізації.

Ключові слова: пасажирські високошвидкісні магістралі, впровадження і розвиток, пасажирські перевезення, швидкісне сполучення.

В статье рассмотрена эффективность внедрения и развития в Украине проектов высокоскоростного пассажирского движения. На основе определения размера необходимых инвестиций в проект и срока его окупаемости предлагается определять степень прибыльности предлагаемого проекта при реализации.

Ключевые слова: *пассажирские высокоскоростные магистрали, внедрение и развитие, пассажирские перевозки, скоростное сообщение.*

The article describes the efficiency of the implementation and development of the Ukrainian high-speed passenger traffic projects. In Ukraine, thanks to a good geopolitical position historically formed favorable conditions for the development of the railway network. Construction of high-speed lines in Europe proved to be effective, however, the experience of analysis shows that the result is not always positive.

Investments - allocation of capital in order to profit. Investments are an integral part of the modern economy. From investment loans are different levels of risk for the investor (lender) - loan and interest must be repaid within a specified period regardless of the profitability of the project, investments (capital invested) returned and generate revenue only in profitable projects. If the project is unprofitable - investment may be lost completely or partially. The economic rationale for the organization of high-speed and high-speed movement in Ukraine is an investment project which involves a phased investment in construction, which will continue to receive an annual income from the carriage of passengers.

On the basis of determining the amount of the necessary investment in the project and its payback period is proposed to determine the degree of profitability of the proposed project under implementation.

Keywords: *high-speed passenger lines, the introduction and development, passenger transport, high-speed connection.*

Вступ. В Україні завдяки вдалому геополітичному розташуванню сформувалися сприятливі умови для розвитку залізничної мережі. Будівництво високошвидкісних магістралей в Європі довело свою ефективність, проте аналіз досвіду свідчить про те, що результат не завжди є позитивним. Будівництво таких магістралей та впровадження спеціалізованого рухомого складу вимагає великих капіталовкладень, що обчислюються мільярдами доларів (1).

Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту можливо досягти через впровадження та розвиток швидкісних магістралей. Невідповідність технічної і технологічної бази потребам залізничного транспорту, знос основних виробничих фондів, недосконала політика ціноутворення, конкуренція з боку інших видів транспорту, низька якість транспортних послуг приводить до значних

збитків. Тому сучасні тенденції розвитку пасажирських високошвидкісних магістралей потребують більш ретельного підходу з точки зору визначення розмірів потрібних інвестицій і терміну окупності проектів.

Аналіз останніх досліджень. З європейського досвіду видно, що, незважаючи на наявність добре розвинутої мережі автомобільних доріг, масове охоплення населення власними автомобілями, залізничний транспорт при проведенні відповідної роботи має переваги перед автомобільним транспортом на відстанях 250-500 км, а також успішно конкурує з авіацією на відстанях 500-1000 км за умови використання раціональної топології мережі високошвидкісних пасажирських перевезень на залізницях [2, 3].

Перші прогностичні розрахунки економічної доцільності побудови високошвидкісної магістралі в Україні були

виконані французькою фірмою «SYSTRA» за загальноєвропейською методикою. Обсяги перевезення пасажирів між містами України ця фірма визначала за допомогою методу «тяжіння», сутність якого полягає у тому, що кількість пасажирів у швидкісному сполученні визначалася прямо пропорційно кількості мешканців у містах, між якими ведуться розрахунки, та обернено пропорційно відстані між цими містами [4].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення ефективності

впровадження проектів залізничного транспорту в галузі високошвидкісних пасажирських перевезень. Задачами дослідження є розрахунок потрібних розмірів інвестицій в проект, а також розрахунок терміну його окупності.

Основна частина дослідження. Витрати на перевезення пасажирів слід розраховувати по окремих елементах витрат за принципами, що призначені для пасажирських перевезень з урахуванням підходів, зазначених у таблиці.

Таблиця

Особливості визначення показників пасажирських перевезень

| Показник | Підходи до визначення |
|---|--|
| Кількість одиниць високошвидкісних поїздів | Визначати залежно від пасажиропотоку на кожній ділянці, розрахункової відстані між кінцевими станціями, середньої швидкості руху з урахуванням зупинок, кількості рейсів швидкісних поїздів протягом доби, середньої населеності поїзда на даному напрямку та сумарної кількості місць у вагонах |
| Амортизаційні відрахування | Визначати на основі нової прогнозованої вартості будівництва або ціни та нормативного строку служби окремо для ВШМ, станцій, ремонтного заводу вагонних депо, рухомого складу, ремонтного устаткування та інших основних засобів |
| Вартість будівництва, витрати на обслуговування, утримання та ремонт колії, станцій та ремонтних підрозділів, а також витрати на ремонти пасажирських поїздів (без урахування оплати праці) | Розраховувати за даними, адаптованими до умов України та з урахуванням курсу валют |
| Витрати на електроенергію на тягу поїздів | Приймати за паспортними даними рухомого складу |
| Нарахування на оплату праці робітників ВШМ | Визначати відповідно до українського законодавства |

Інвестиції – розміщення капіталу з метою отримання прибутку. Інвестиції є невід'ємною частиною сучасної економіки. Від кредитів інвестиції відрізняються ступенем ризику для інвестора (кредитора) – кредит і відсотки необхідно повертати в обумовлені терміни незалежно від

прибутковості проекту, інвестиції (інвестований капітал) повертаються і приносять дохід тільки в прибуткових проектах. Якщо проект збитковий – інвестиції можуть бути втрачені повністю або частково.

Суму потрібних інвестицій можливо розрахувати за формулою

$$I = (1 - N/Z)K, \quad (1)$$

де I – сума потрібних інвестицій для реалізації великомасштабних проєктів з державних джерел, грн;

N – внутрішня норма прибутковості по проєкту, грн;

Z – внутрішня норма прибутковості в галузі, грн;

K – капітальні вкладення за проєктом.

Економічне обґрунтування доцільності організації швидкісного та високошвидкісного руху в Україні є інвестиційним проєктом, який передбачає поетапне вкладання коштів у будівництво, що дозволить надалі отримувати щорічно прибутки від перевезення пасажирів [5].

Для вирішення задач такого типу використовують чистий дисконтований

дохід (ЧДД), який можливо отримати під час реалізації проєкту та після його закінчення [6]. Цей показник можливо визначити за такими методами:

$$C = -I + \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

де C – чистий дисконтований дохід, грн;

D – чисті грошові потоки за проєктом, грн;

E – норма дисконту, що задається інвестором;

t – розрахунковий рік;

T – період розгляду інвестиційного проєкту, р.

Приклад визначення доцільності реалізації проєкту в залежності від отриманого чистого дисконтованого доходу на 16-й рік з урахуванням беззбитковості наведено на рисунку.

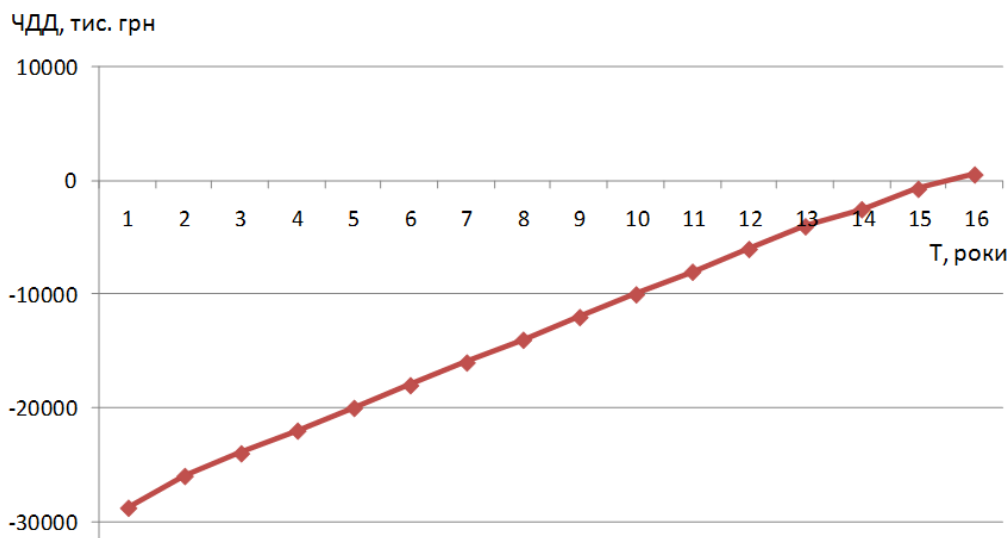


Рис. Діаграма залежності ЧДД від терміну окупності проєкту

Термін окупності визначається за формулою

$$T = \frac{K}{P} + 1, \quad (3)$$

де K – капітальні вкладення, грн;

P – річний прибуток, грн.

За результатами розрахунків за наведеними підходами розмірів потрібних

інвестицій і терміну окупності розрахункового проекту можливо зробити висновок про ефективність впровадження того чи іншого проекту.

Не менш важливим показником ефективності інвестиційного проекту є внутрішня норма прибутковості

$$\sum_{t=0}^T \frac{D_t}{(1+V)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1+V)^t}, \quad (4)$$

де V – внутрішня норма прибутковості (відсоткова ставка, за якою чистий дисконтований дохід дорівнює 0).

Для оцінки проекту значення внутрішньої норми прибутковості порівнюють з нормами прибутку, що вимагає інвестор. Проекти, у яких ці значення вище вимог прибутку, є ефективними. Якщо навпаки (як правило, значення чистого дисконтованого доходу в таких випадках є від'ємним) – проект вважається неефективним.

Для більш повного аналізу визначення ефективності інвестиційного проекту необхідно враховувати індекс прибутковості – відношення приведених доходів, що очікуються від інвестицій, до суми інвестованого капіталу

$$R = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t}}{I}. \quad (5)$$

Значення індексу прибутковості, що менше або рівне одиниці, означає нерентабельність проекту, який не приносить інвестору додаткового доходу. До реалізації приймаються проекти зі значенням індексу доходності більше одиниці.

Для забезпечення оптимального способу організації швидкісного руху пасажирських поїздів в роботі пропонується порівняння варіантів, що забезпечують пропуск поїздів з

мінімальним співвідношенням витрат (капіталовкладень і експлуатаційних витрат) до одиниці продукції [7]. Тобто вибір способу організації швидкісного руху базується на мінімізації питомих витрат або максимізації питомого економічного ефекту. Основним змінним фактором за варіантами, які порівнюються, обрано максимальну кількість поїздів, що пропускається по лімітуючому елементу дільниці, яка розглядається.

Загальні витрати (капіталовкладення та експлуатаційні витрати) [6] можливо розрахувати за формулою

$$S = \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} + \sum_{t=1}^T \frac{L_t}{(1+E)^t}, \quad (6)$$

де K_t – капіталовкладення на реалізацію проекту швидкісного руху за i -м варіантом, млн грн;

L_t – експлуатаційні витрати, що пов'язані з утриманням основних засобів дільниці та з пробігом поїздів, млн грн.

Економічний ефект від реалізації i -го варіанта організації руху швидкісних поїздів

$$C = \sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{L_t + K_t}{(1+E)^t}, \quad (7)$$

де F_t – доходи від перевезень за i -м варіантом, млн грн.

Таким чином, викладені підходи дозволяють визначити основні показники, що впливають на ефективність впровадження і розвитку високошвидкісного руху в Україні, а також обрати один із варіантів способу організації руху з урахуванням мінімізації витрат або максимізації економічного ефекту.

Висновки. Основними показниками економічної ефективності інвестицій в умовах ринкової економіки вважаються: чистий дисконтований дохід, внутрішня

норма прибутковості, термін окупності і ін. Наведені підходи визначення ефективності впровадження високошвидкісного руху в Україні дозволять визначити ступінь прибутковості проекту та розмір потрібних інвестицій для його реалізації, а також

обрати оптимальний спосіб організації руху поїздів. У перспективі плануються розрахунки з впровадження високошвидкісного руху за конкретними варіантами організації перевезень пасажирів.

Список використаних джерел

1. Ковальов, А. О. Перспективи розвитку швидкісних пасажирських перевезень в Україні на основі світового досвіду [Текст] / А.О. Ковальов, В.О. Грищенко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип 154. – С. 20-24.
2. Дикань, В. Л. Обеспечение конкурентоспособности предприятия [Текст]: монография / В.Л. Дикань. – Харьков: Основа, 1995. – 160 с.
3. Wang, L. A two-layer optimization model for high-speed railway line planning [Text]/ Li Wang, Li-min Jia, Yong Qin, Jie Xu, Wen-ting Mo// Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). –2011. –Vol. 12. – Is. 12. – P. 902-912.
4. Предварительное технико-экономическое обоснование проекта высокоскоростных железных дорог в Украине [Текст] / «SYSTRA». – К., 2002.
5. Момот, А. В. Аналіз наукових підходів щодо обґрунтування економічної доцільності будівництва в Україні високошвидкісних магістралей [Текст] / А.В. Момот // Матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми економіки на залізничному транспорті ЕКУЖТ-2012», 11-13 жовтня 2012 р., м. Судак. – К. : РВЦ ДЕДУТ, 2012. – С. 275-276.
6. Климова, Е. В. Оценка экономической эффективности способов организации скоростного движения пассажирских поездов: [Текст]: автореф. дис... канд. экон. наук: 08.00.05: / Е.В. Климова; [Сибирск. гос. универ. путей сообщ.]. – Новосибирск, 2015. – 24 с.
7. Лунина, Т. А. Совершенствование методики оценки эффективности вариантов проекта организации скоростного движения пассажирских поездов [Текст] / Т.А. Лунина, Е.В. Климова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 1. – С. 165–168.

Ковальов Антон Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (096)410-67-26. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.

Проппеткіна Алла Євгеніївна, магістр ІППК. Тел. (095) 47-33-645. E-mail: Propletkina.Alla@mail.ru.

Богатирьова Вікторія Дмитрівна, магістр ІППК. Тел. (066) 37-17-925. E-mail: viktoriya.bogatyreva.1993@mail.ru.

Kovalov Anton Aleksandrovich, Ph. D., associate Professor of the office of freight and commercial work of the Ukrainian state University of railway transport. Tel. (096)410-67-26. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.

Propletkina Alla Evheniivna, listener IPPK. Tel. (095) 47-33-645. E-mail: Propletkina.Alla@mail.ru.

Bogatureva Viktoriya Dmutrivna, listener IPPK. Tel. (066) 37-17-925. E-mail: viktoriya.bogatyreva.1993@mail.ru.

Стаття прийнята 22.09.2016 р.

УДК 656.025.4/6:656.236

НОВА КОНЦЕПЦІЯ ТАРИФНОЇ ПОЛІТИКИ ДЛЯ ВНУТРІШНІХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Канд. техн. наук С. М. Продащук, асист. Г. Є. Богомазова, Р. А. Пурий

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

Канд. техн. наук. С. Н. Продащук, ассист. А. Е. Богомазова, Р. А. Пурий

THE NEW CONCEPT OF TARIFF POLICY FOR INTERNAL RAIL FREIGHT

Phd. tehn. S. Prodaschuk, assist. G. Bogomazova, R. Purii

Залізничний транспорт, генеруючи більше половини вантажообігу України, є однією з найважливіших галузей сучасної економіки. На сьогоднішній день проблемі ефективного роздержавлення природних монополій належить одне з ключових місць в економічній політиці країни. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розроблення нової стратегії ціноутворення в сегменті вантажних залізничних перевезень, яка тісно пов'язана з розширенням сфери конкурентних відносин, ефективності промислового сектора та економіки в цілому.

Ключові слова: реформування, тарифоутворення, вантажні перевезення.

Железнодорожный транспорт, генерируя более половины грузооборота Украины, является одной из важнейших отраслей современной экономики. На сегодняшний день проблема эффективного разгосударствления естественных монополий занимает одно из ключевых мест в экономической политике страны. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка новой стратегии ценообразования в сегменте грузовых железнодорожных перевозок, которая тесно связана с расширением сферы конкурентных отношений, эффективности промышленного сектора и экономики в целом.

Ключевые слова: реформирование, тарифообразование, грузовые перевозки.

Railway, generating more than half of turnover Ukraine is one of the most important branches of modern economy. Today the problem of effective privatization of natural monopolies is one of the key places in the economic policy of the country. In this regard, particular urgency is the development of a new pricing strategy in the segment of rail freight, which is closely linked to the expansion of competitive relations, efficiency of the industrial sector and the economy as a whole. This article analyzes the changes in the cost of freight at the moment. Due to the fact that in general terms the freight rate – it is a constant, which is equal to the cost of transportation of cargo per kilometer distance, however, to date, it is influenced by many factors, including seasonality of transportation, speed of delivery, market conjuncture, the quantity of cargo traffic as well as changes in the exchange rate.

Key words: reform, tariff, freight transportation.

Вступ. На сьогодні залізниці України
стоять на порозі корінних структурних

перетворень, які обумовлені необхідністю
формування на залізничному транспорті

ринкових відносин і конкурентного середовища. На даний момент усі держави Європи та країни СНД, окрім України, завершили процеси структурних реформ на залізничному транспорті.

Формування на залізничному транспорті ринкових відносин і конкурентного середовища потребує прийняття принципових рішень на державному рівні щодо вдосконалення структури, методів та принципів управління на залізницях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми тарифної політики на залізничному транспорті в контексті його розвитку та реформування висвітлювалися в працях вітчизняних й іноземних учених, серед яких Аксьонов В.Н., Алфимов С.А, Ахполов І.К., Бараш Ю.С., Бороздіна О.Н., Давидов Г.Є., Єлісеєва Т.В., Карпенко О.О., Крейнін А.В., Кібалов Є.Б., Колесникова Н.М., Кожевников Р.А., Макаренко М.В., Нікуліна О.В., Онікієнко В.В., Сич Є.М., Пащенко Ю.Є., Писаревский Г.Є., Саликбаєва Г.І., Холопов К.В., Чернюк Л. Г. та ін. У статті [1] розглядаються витрати, що пов'язані з плануванням вантажних перевезень за видами транспорту, а саме зовнішні фактори в кількісному виразі, які надаються в цінових дослідженнях цих витрат на одиницю вантажів. У дослідженні [2] наголошується на тому, що фіксована ціна може бути негативною. Теорія багатопрофільного ціноутворення для стимулювання конкуренції з метою підвищення ефективності галузі надана авторами в роботі [3]. В роботах [4, 5] дослідники вказують на залежність вартості перевезення залізницею від форми власності вантажних вагонів. Формування транспортних тарифів на залізничні вантажні перевезення з умовою отримання максимального прибутку галузі визначено у статті [6].

Визначення мети та задач дослідження. Метою роботи є розроблення

нової стратегії ціноутворення на внутрішні вантажні залізничні перевезення в умовах демонополізації діяльності Укрзалізниці, лібералізація ринку вантажних перевезень – скасування «дискримінаційних» тарифних схем за видами вантажів (тариф визначається для кожного виду вантажу окремо) та перехід до плати за використання інфраструктури (тариф залежить від ваги та відстані), створення математичної моделі гнучкої тарифікації, що реагуватиме на кон'юктурні зміни ринку та розширення сфери конкурентних відносин у цьому сегменті.

Основна частина дослідження. Згідно з даними Держкомстату України [7] за 2015 рік залізничний транспорт забезпечив 62 % вантажообігу в країні, а якщо виключити з цієї статистики трубопроводи, то залізниця згенерувала 83 % вантажообігу. Ключовий бізнес Укрзалізниці – це вантажні перевезення, що генерують близько 80 % усіх доходів [8]. Розглянемо порівняння індикативної вартості перевезення 1 тонни вантажу на 1 кілометр в Україні та сусідніх країнах на однакову відстань у кінці 2015 року в доларах США (рис. 1). Розмір тарифу інфраструктурної та локомотивної складових в Україні у 2015 р. знизився до 1,12 дол./100 км, у тому числі на внутрішні перевезення – до 0,97 дол. Виходячи з поточного значення курсу національної валюти (близько 27 грн/дол.), без індексації тариф на внутрішні перевезення в Україні знизиться до 0,9 дол./100 км і буде одним із найнижчих у світі, але далеко не таким низьким, як стверджують у Мінінфраструктури.

Якщо порівняти тарифи в Україні та сусідніх країнах, то в Україні вартість перевезення 1 тонни на 1 кілометр складає до 1 цента. В Білорусі аналогічний показник складає 2,6 цента, а в Польщі – 11,2 цента. Всі ці факти свідчать про те, що підхід до тарифоутворення має змінитися.

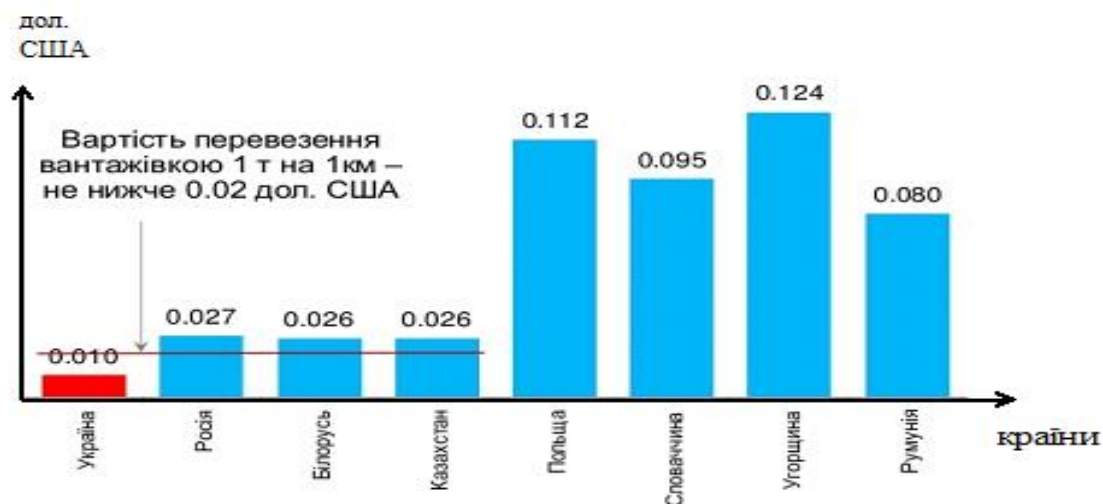


Рис. 1. Середня дохідна ставка на перевезення залізничним транспортом

Порівнюючи рівень тарифів в Україні та країнах-сусідах, сума недоотриманого доходу становить мінімум 30 млрд грн за 2015 рік. І це без урахування втрат на транзитних вантажах, дискримінації вагонів (в Україні є дві різні ціни на користування вагоном залежно від власника – інвентарний і приватний вагон), дискримінації вантажів на коротких відстанях та проблемних додаткових послугах (наприклад, з подачею зерновозів у період збору врожаю). Але важливим є не тільки середній рівень тарифів, але і механізм їх формування та вплив на економіку. Формально тарифи на перевезення магістральними лініями в межах України визначаються шляхом застосування базових тарифів, розрахованих у 2009 році на основі звітних даних шести залізниць за 2007 рік. Логічним кроком є підвищення тарифів (після кризи 2008 року, коли їх індексація була заморожена внаслідок економічного занепаду за ініціативою хімічної та металургійної промисловості), яке відбулося з 23 липня 2014 р. на 12,5 %, з 31 січня 2015 р. на 30 %, а з 30 квітня 2016 р. ще на 15 %. З 30 квітня 2016 року тарифи на вантажні перевезення в межах України (внутрішнє, експортне, імпорتنе

сполучення) проіндексовано на 15 %, хоча раніше ПАТ «УЗ» планувало у 2016 році підвищити тариф на перевезення вантажів на 30 % у два етапи: з 1 січня 2016 р. на 15 % і з 1 липня ще на 15 % [9].

З одного боку, немає заперечення щодо необхідності підвищення вантажних тарифів, що зумовлено темпами зростання цін на продукцію, яку споживає галузь (електроенергію, дизпаливо, запчастини для ремонту, елементи будови колії), але рівень інфляції значно випереджає темпи зростання тарифів на вантажоперевезення і створює диспропорцію між цінами на продукцію і вантажним тарифом, проте це має відбуватися за прозорими правилами, зрозумілими і придатними для прогнозування такого зростання у майбутньому. Поточні тарифи на УЗ регламентуються Збірником тарифів [10]. Він містить 29 різних схем тарифікації, хоча тільки за чотирма схемами перевозяться 97 % усіх вантажів. Основна його суть зводиться до різного рівня тарифів для кожного з трьох тарифних класів, залежно від ступеня обробки та маржинальності вантажу. Так, до «низького класу» належать низькомаржинальні сировинні вантажі – вугілля, щебінь, руда, сіль, тоді як нафтопродукти і метал платять

«високий» тариф. Саме для низького тарифного класу зростання тарифів є найбільш болючим – транспортна складова в кінцевій ціні цих вантажів може сягати 25-35 % (наприклад, для вапняку та щебеню). Таким чином, понад 70 % вантажів перевозяться за низькими тарифами. Результатом цього стало зниження у вантажообігу частки найвигіднішого для залізниці третього класу вантажів з 24 % у 2000 році до 11 % у 2015 році [8].

Основними недоліками поточної системи тарифоутворення є:

- *непередбачуваність* – поточні принципи зміни тарифів не зрозумілі і не піддаються прогнозуванню ринком. Тариф піднімається адміністративно та директивно;

- *інертність і неповоротність* – зміна тарифів є тривалим бюрократичним процесом, а накопичення дисбалансів у тарифікації загострює фінансові проблеми УЗ;

- *статичність* – не реагує на кон'юнктурні зміни на сировинних ринках, що не дає можливості УЗ отримувати підвищену націнку в періоди зростання світових цін (у період зниження ваги транспортної складової у кінцевій ціні продукції клієнтів) і, навпаки, призводить

до падіння вантажопотоку в періоди зниження світового попиту.

Багато в чому усування недоліків поточної системи полягає у виділенні з тарифу інфраструктурної, інвестиційної, а також вагонної та локомотивної складової. ПАТ «УЗ» розділяється на перевізника і оператора залізничної інфраструктури, який гарантує рівний доступ до інфраструктури для всіх перевізників. Фактично мова йде про те, що регламентованою залишається лише інфраструктурна складова тарифу, яку буде визначати Національна комісія з регулювання транспорту (НКРТ). Планується, що тариф буде уніфікований для всіх видів вантажів, і на європейський манер залежатиме лише від ваги та відстані перевезення. Однією із компонент є інвестиційна складова ($D_{інв}$) – ці кошти мають бути направлені на оновлення парку вагонів, стан яких вже сьогодні не дає можливості забезпечити потреби економіки країни. Сьогодні знос вантажного парку залізниць України складає 80 % вагонів, 85 % локомотивів і до 95% електровозів.

Згідно з Методикою розрахунку тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом [11] собівартість перевезення вантажів рухомим складом залізниць розраховується за формулою

$$C_c = (A_i^{ВАН} + A_i^{ПОР} + A_T^{ВАН} + A_T^{ПОР} + A_B^{ВАН} + A_B^{ПОР}) + [(B_i + B_T + B_B) \times (1 + \alpha) + (D_i + D_T + D_{інв}) \times P] \times L, \quad (1)$$

де $A_i^{ВАН}$, $A_i^{ПОР}$ – інфраструктурні складові по початково-кінцевих операціях (далі – ПКО) відповідно для завантаженого та порожнього вагонів;

$A_T^{ВАН}$, $A_T^{ПОР}$ – локомотивні складові по ПКО відповідно для завантаженого та порожнього вагонів;

$A_B^{ВАН}$, $A_B^{ПОР}$ – вагонні складові по ПКО відповідно для завантаженого та порожнього вагонів;

B_i – інфраструктурна складова по операції руху (далі – ОР) за відправко-кілометрами;

B_T – локомотивна складова по ОР за відправко-кілометрами;

B_B – вагонна складова по ОР за відправко-кілометрами;

D_i – інфраструктурна складова по ОР за тонно-кілометрами;

D_T – локомотивна складова по ОР за тонно-кілометрами;

$D_{инв}$ – інвестиційна складова за тонно-кілометрами;

α – коефіцієнт порожнього пробігу вагонів (розрахований як відношення порожнього пробігу вагонів до пробігу навантажених вагонів);

L – відстань перевезення, км;

P – маса відправки, т;

При визначенні собівартості перевезень вантажів у вагонах парку залізниць локомотивами власника до локомотивної складової по ОР B_T включаються лише витрати на маневрову роботу, складова D_T не враховується.

При визначенні собівартості перевезень вантажів у вагонах власника локомотивами залізниць складові A_B^{BAN} , A_B^{POP} та B_B не враховуються.

При визначенні собівартості перевезень вантажів рухомим складом власника до локомотивної складової по ОР B_T включаються лише витрати на маневрову роботу, складові A_B^{BAN} , A_B^{POP} , B_B та D_T не враховуються.

Тариф має встановлюватися на максимально високому рівні, що допускається ринком, з урахуванням цін, встановлених реальними або потенційними конкурентами, за винятком особливих обставин (як наприклад, необхідність перевезення соціально значущих вантажів, які не мають альтернативного засобу транспортування). Тариф за таким підходом має, як мінімум, покривати мінімальний рівень змінних витрат тривалого періоду на здійснення конкретних перевезень.

Сформулював цей принцип ціноутворення на залізницях ще у 1927 році математик Френк Рамсей [12]. В узагальненому вигляді він звучить так: залізниця має встановлювати націнку до своїх змінних витрат тривалого періоду для

індивідуальних клієнтів обернено пропорційно еластичності їх попиту ε . Таким чином, для клієнтів із низькою еластичністю попиту (які не мають альтернативи залізниці, як наприклад, вугледобувні компанії, залізничні компанії, нерудні кар'єри тощо) залізниця має встановлювати більш високу націнку, ніж для клієнтів з високою еластичністю попиту (які можуть переключитися на інший вид транспорту, як наприклад, контейнерні перевезення тощо). Проте залізниця має тонко розуміти стійкість попиту на власний сервіс і розсудливо оцінювати обсяги вантажопотоку при різному рівні тарифу, що можливо лише при розумінні особливостей та маржинальності бізнесу клієнтів. Аналогічно, ціна має встановлюватися відповідно до прогнозованої сезонної зміни попиту на товар (врожай, зміна попиту на товар). Оскільки економіка в Україні багато в чому залежить від роботи залізниці, то необдумане підвищення цін у моменти економічної кризи матиме негативний вплив на інші галузі. Для попередження стагнації економіки використовується індекс споживчих цін, який враховуватиме інфляційні процеси в країні.

Прогнозування майбутніх обсягів перевезення в роботі здійснюється за допомогою штучних нейронних мереж. Даний спосіб прогнозування, на відміну від математичних розрахунків за методами Хольта-Вінтерса, авторегресійної моделі, має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних за рахунок самонавчання. Можливість навчання – одна з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Технічно навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами. В процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними даними й вихідними, а також здійснювати узагальнення, що є необхідним при прогнозуванні обсягів перевезень, які не можна описати стандартними функціями,

$$\varepsilon = \left| \frac{Q_{i+1} - Q_i / \bar{Q}}{C_{i+1} - C_i / \bar{C}} \right|. \quad (2)$$

Цільова функція при цьому матиме вигляд

$$C_{i+1} = \varepsilon^{-1} \cdot \frac{Q_i}{\bar{Q}} \cdot C_c \cdot I \rightarrow \max \quad (3)$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} C_{i+1} > C_c \\ i > 0 \end{cases}, \quad (4)$$

де C_i – ціна перевезення в i -му періоді, грн;

ε – еластичність попиту;

I – індекс споживчих цін;

i – період;

Q_i – об’єм вантажу в i -му періоді, т;

\bar{Q} – середній об’єм перевезень в i -му періоді, т;

\bar{C} – середня ціна перевезення.

Інший приклад диспропорцій у тарифній політиці – це дискримінація

вантажів на коротких відстанях (до 200 км). Базовий тариф складається з двох частин – початково-кінцевих операцій (умовно постійні витрати) та операції руху (змінні витрати). Тариф за операцію руху, як правило, становить понад 70-80 % від усього тарифу. Витрати на переміщення вантажу визначаються двома факторами – відстанню та масою вантажу (тобто витратами енергії локомотива на переміщення вантажу). Вартість операції руху з перевезення 1 т вантажу на 1 км для першої найпоширенішої схеми згідно зі Збірником тарифів [10] спирається на коефіцієнти k і k_L (коефіцієнти, що коригують вартість за операцію руху залежно від відстані перевезення та інтенсивності вантажних операцій відповідно). Природа даних коефіцієнтів пов’язана з радянською системою, коли перевезення на довгі відстані заохочувалися, а на короткі відстані не стимулювалися. Як видно з рис. 2, перевезення на відстань від 100 км значно дешевші.

Це не означає, що держава має субсидювати перевезення на короткі плечі. Завдання залізниці – встановити справедливую, не завищену ціну, а доцільність таких перевезень диктуватиметься ринком.

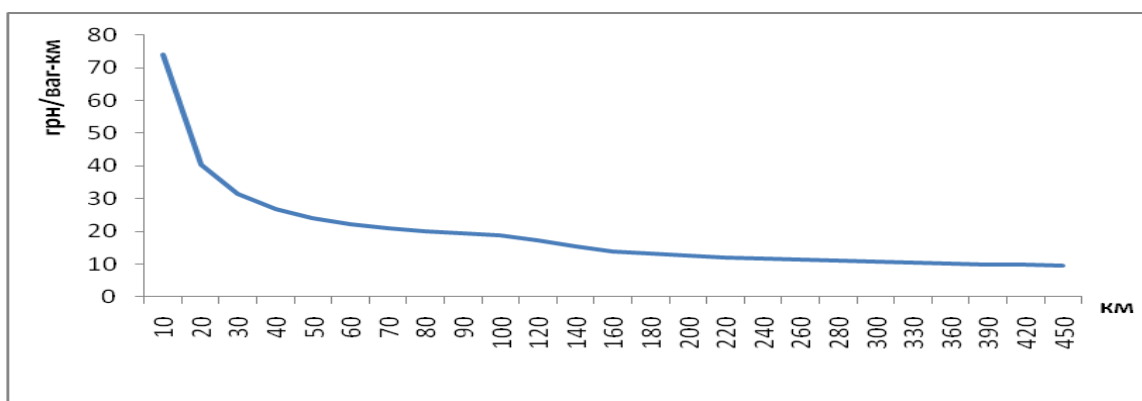


Рис. 2. Залежність вартості перевезення повністю завантаженого піввагона від відстані

Така методологія призводить до того, що на короткому плечі практично всі вантажі 2-го та 3-го класів транспортуються вантажівками. Доказом цього є карта навантаження і призначення зерна за 2015 рік (рис. 3). На півдні України

також вирощують зернові, але залізниця транспортує лише незначний обсяг, а вантажівки, що рухаються з порушенням усіх можливих вагових норм, знищують автомобільні дороги.

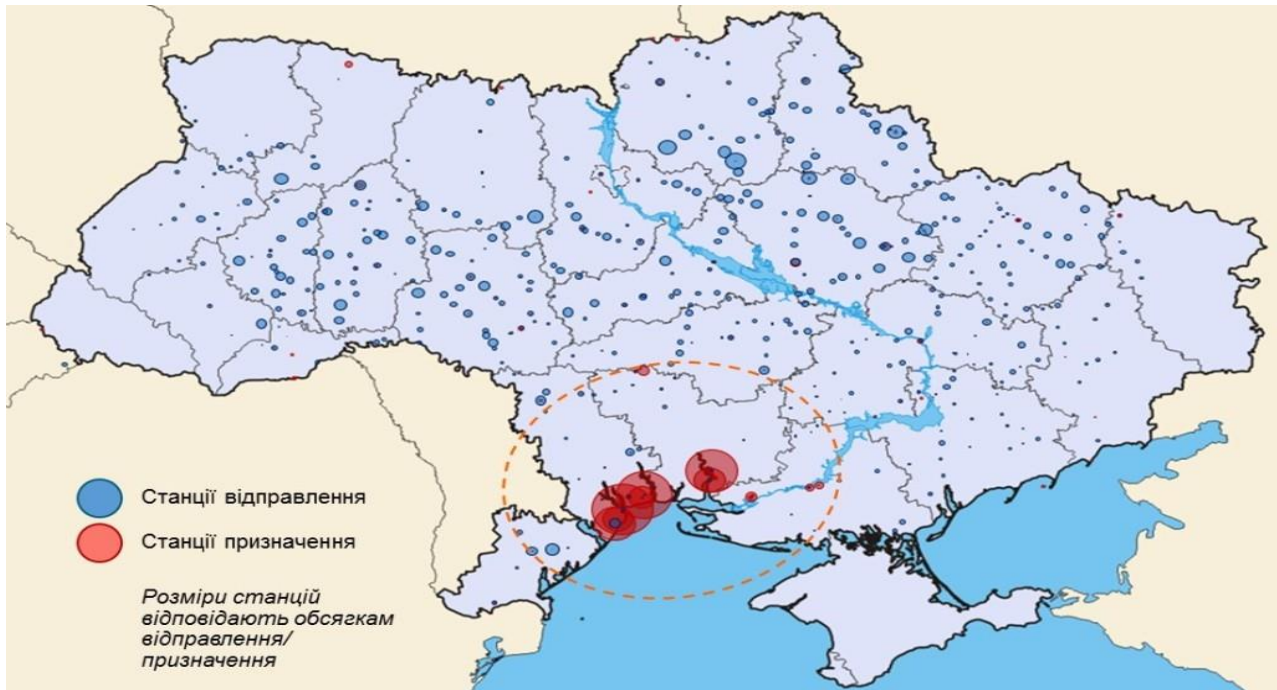


Рис. 3. Карта навантаження-розвантаження зерна за 2015 р.

Іншим прикладом є дискримінація вагонів, що перебувають у власності Укрзалізниці. Формально вартість використання вагонного парку Укрзалізниці може бути на 5-50 % нижчою, ніж при використанні приватного вагона, що призводить до виникнення цілої посередницької індустрії, найбільше від якої потерпають зерновози та піввагони.

Дана система тарифів на вантажні перевезення призводила до деградації залізниці, а також стимулювала розвиток сировинних галузей, що вело до виродження економічної системи країни, адже за своєю бізнес-моделлю сировинні активи не потребують фундаментальних досліджень, інвестицій в інновації. Тому

поступова або повна ліквідація класів транспортування вантажів залізничним транспортом в Україні має стати центральним кроком у процесі фактичного реформування залізниці. Основним завданням такого кроку має стати створення рівних умов транспортування залізницею, тобто усунення дискримінації та неявного крос-субсидіювання між галузями.

Україна має відійти від радянської практики адміністративного встановлення тарифів, яке реалізує як приховане субсидіювання певних галузей, так і зловживання монопольним становищем для інших. Тому новий підхід до тарифо-

утворення в Україні має ґрунтуватися на таких засадах:

1. Прозорість та передбачуваність

Рішення НКРТ щодо підняття тарифів мають керуватися чіткою логікою, а динаміка зростання, за світовою практикою, має регламентуватися формулою, де визначені основні драйвери або маяки індексації. Доцільно використовувати індекси споживчих цін (як в Австралії та Великобританії).

2. Економічна безпека

Підвищення тарифів має відбуватися лише після розрахунку та аналізу наслідків таких дій для основних галузей економіки, які інтегровані із залізничними перевезеннями. НКРТ має бути впевнена у тому, що масштаб можливого падіння вантажопотоку через зростання тарифів буде несуттєвим і не матиме значних наслідків для економічної безпеки країни. У випадках, коли є ризик соціального або енергетичного напруження, НКРТ має вдаватися до розроблення спецтарифів для найбільш «чутливих» вантажів та ретельно контролювати вагу транспортної складової в цих сегментах економіки. Проте це не означає, що потрібно «тягнути» збиткові галузі.

3. Визначення “справедливої” норми прибутку Укрзалізниці

Зважаючи, що маржинальність сировинного бізнесу є нестійкою величиною, НКРТ має моніторити кінцеві

ринкові ціни і мати змогу підвищувати тарифи в періоди зростання сировинних ринків (тобто періоди надприбутків експортних компаній), або ж вводити мораторій на підвищення тарифів у періоди рецесії та криз, коли існує ризик ще більшого падіння вантажопотоку в результаті утворення «негативної маржі» експортерів тощо. Для прийняття ринком такого підходу УЗ має чітко визначити напрямки інвестування отриманих «надприбутків», які мають йти на підтримку та розвиток інфраструктурних об'єктів, «розшиття» вузьких місць тощо. Загалом, питання прибутковості державного монополіста є досить складним та дискусійним і потребує пошуку компромісу між державними та приватними інтересами в галузі.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Після аналізу наявної системи тарифоутворення та виявлення її недоліків було зроблено висновок, що стратегія ціноутворення та її втілення мають бути нерозривно пов'язані з реформуванням галузі в цілому, а отже, з докорінною перебудовою системи відносин власності та розширенням сфери конкурентних відносин. Запропоновані шляхи удосконалення методів тарифної політики враховують досвід закордонних залізничних компаній.

Список використаних джерел

1. Demir, E. A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing [Text] / E. Demir, Y. Huang, S. Scholts, T. Van Woensel // Transportation research part E: Logistics and transportation review. – May 2015. – Vol. 77. – P. 95–114.
2. De Borger, B. Optimal two-part tariffs in a model of disparate choice [Text] / B. De Borger // Journal of public economics. – April 2000. – Vol. 76. – Issue 1. – P. 127–150.
3. G. Waters, W. Evolution of railroad economics [Text] / W. G. Waters // Research in transportation economics. – 2007. – Vol. 20. – P. 11–67.
4. Лаврухін, О. В. Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів всіх форм власності [Текст] / О. В. Лаврухін, Г. С. Бауліна, Г. Є. Богомазова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – С. 48-55.

5. Лаврухін, О. В. Удосконалення технології оперативного планування вантажної роботи при взаємодії власників рухомого складу із залізницею [Текст] / О.В. Лаврухін, В.С. Блиндюк, Г.Є. Богомазова, [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 12–17.

6. Формалізація процесу побудови залізничних вантажних тарифів при умові отримання максимального прибутку [Текст] / О.В. Лаврухін, Г.Є. Богомазова // Сучасні проблеми правового, економічного та соціального розвитку держави: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. Хар. нац. ун-ту внутр. справ. – Харків: ХНУВС, 2015. – С. 357–360.

7. Вантажні перевезення за 2015 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2015/tz/vp/vp_u/vp1215_u.htm – (Дата звернення 23.03.2016).

8. Міністерство інфраструктури України. Реформа залізничного транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cfts.org.ua/import/get_file.php?parent_id=39259&id=73837. – (Дата звернення 23.03.2016).

9. З 30 квітня тарифи на вантажні перевезення в межах України проіндексовано на 15 % [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=249008811&cat_id=244277212 – (Дата звернення 23.03.2016).

10. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом в межах України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0340-09> – (Дата звернення 23.03.2016).

11. Методика розрахунку тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом [Текст] / зареєстр. в Мін-ві юстиції України 27 червня 2013 р., № 1082/23614; затв. Наказом Мін-ва інфраструктури України 20 червня 2013 р., № 18. – 13 с.

12. Гальперин, В. М. Микроэкономика – экономическая школа [Текст] / В.М. Гальперин, С.М. Игнатъев, В.И. Моргунов. – СПб.: Экономическая школа, 1999. – Т. 2. – 349 с.

Продашук Світлана Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-26.

Богомазова Ганна Євгенівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85, 21-97.

Пурій Роман Андрійович, магістр групи 18-VI-УППМ, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85.

Prodaschuk Svitlana, cand. of techn. sciences, associate professor department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-26.

Bogomazova Ganna, assistant department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85, 21-97.

Purii Roman, master student of the group 18-VI-UPPM, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85.

Стаття прийнята 22.09.2016 р.

УДК 649.42

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗЕРВІВ РЕМОНТНОГО ГОСПОДАРСТВА ПРИ ПЕРЕХОДІ НА УТРИМАННЯ ШРС

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, М. М. Костюченко, С. І. Соколенко

ОБОСНОВАНИЕ РЕЗЕРВОВ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА СОДЕРЖАНИЕ СПС

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, Н. Н. Костюченко, С. И. Соколенко

JUSTIFICATION RESERVE MAINTENANCE MANAGEMENT DURING THE TRANSITION TO THE SRS CONTENT

Supervisor prof. A. S. Krashenin, N. N. Kostyuchenko, S. I. Sokolenko

Система утримання ШРС в умовах України на першому етапі передбачає організацію ТО та ТР силами постачальників ШРС, а в подальшому її адаптування в ремонтну галузь для можливості виконання ТО, ПР у будь-якому депо.

Відповідно до цього в статті проаналізовано питання щодо визначення методики оцінки резервів ремонтного господарства депо.

Показано, що пошук резервів ремонтного господарства доцільно проводити за допомогою положень теорії масового обслуговування. На основі визначення основних характеристик ТМО показана процедура їх пошуку і лімітуючі параметри системи.

Ключові слова: ШРС – швидкісний рухомий склад; пропускна спроможність; ремонтна потужність депо.

Система содержания ШРС в условиях Украины на первом этапе предусматривает организацию ТО и ТР силами поставщиков ШРС, а в дальнейшем ее адаптацию в ремонтную отрасль для возможности выполнения ТО, ПР в любом депо.

В соответствии с этим в статье проанализированы вопросы определения методики оценки резервов ремонтного хозяйства депо.

Показано, что поиск резервов ремонтного хозяйства целесообразно проводить с помощью положений теории массового обслуживания. На основе определения основных характеристик ТМО показана процедура их поиска и лимитирующие параметры системы.

Ключевые слова: СПС - скоростной подвижной состав; пропускная способность; ремонтная мощность депо.

System maintenance cabinets in Ukraine under the first phase involves the organization of TO and TS own cabinets suppliers, and further adapt it to the repair industry to be able to perform maintenance, PR, in any depot.

Accordingly, the article analyzes the issue of determining the methodology for assessing the reserves replacement depot management.

It is shown that the search for reserves appropriate to repair the economy by means of the theory of mass service. Based on the definition of the main characteristics of TMO shows the procedure of finding and limiting system parameters.

The main indicators of quality of repair operation capacity management adopted plots repair.

This was defined probability of the system, describing the capacity and the likelihood of liberties positions, the probability of employment, length of the queue is not serviced requests for repairs, the average waiting time beginning service.

The article presents the calculated results of which determined the optimum size power repair areas. Also built depending graphic that enable visual perception of the impact of various factors on the areas of power repair depot.

Keywords: SPS - speed rolling stock; bandwidth; repair depot power.

Вступ. Реформування економіки країни неможливе без перебудови ключових галузей промисловості. Залізничний транспорт залишається одним з видів транспорту, що забезпечує масове перевезення населення в приміському і дальньому сполученні. За останні роки привабливість залізничного транспорту дещо знизилась з ряду причин, і в тому числі через конкуренцію з автомобільними перевезеннями. В умовах стагнації галузі і зношеності основних фондів все трудніше забезпечити привабливість послуг залізниць на фоні росту цін і нерозвинутого сервісу.

В цих умовах одним з напрямків підвищення інтересу клієнтів до послуг залізниць є перехід на швидкісне сполучення на дальніх відстанях.

Досвід розвитку швидкісного руху за кордоном показує, що це ключовий напрям створення конкурентоспроможності і привабливості залізниць [1].

Разом з цим слід враховувати, що перехід на високошвидкісне сполучення потребує значних зусиль з перебудови ремонтного господарства.

Вже зараз слід готуватися до концепції утримання рухомого складу, коли організація ремонту буде відбуватися незалежно від депо приписки, що передбачає визначення резервів потужностей ремонтного господарства [4,5,6].

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питанням визначення та поліпшення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу (ТРС) в нашій країні і за кордоном приділяється значна увага.

УкрДУЗТ і ряд науково-дослідних організацій і вузів виконали цикл науково-дослідних робіт щодо розробки методологій визначення життєвого циклу локомотивів [1].

Ці дослідження напряму взаємопов'язані з питанням ефективного утримання ТРС [2,3].

Розробці і оптимізації технічного обслуговування і ремонту рухомого складу присвячені роботи Бабаніна О.Б., Ісаєва І.Т., Калабухіна Ю.Є., Капіци М.І., Мямліна С.В., Стрекопитова В.В., Тартаковського Е.Д., Четвергова В.А. та інших вчених.

Мета статті полягає в розробці методики визначення резервів потужностей ремонтних ділянок локомотивних депо на основі моделювання їх роботи методами теорії масового обслуговування (ТМО).

Виклад основного матеріалу. При переході на утримання ШРС в умовах України слід відмітити необхідність на деякий час підтримувати їх технічний стан силами постачальників ШРС і в подальшому адаптувати ремонтну галузь для виконання ТО, ПР в будь-якому депо.

Виробнича програма ремонтного підприємства може визначатися виходячи з очікуваної середньої інтенсивності надходження заявок на обслуговування і ремонт.

Проте, щоб уникнути накопичення кількості заявок і надмірного збільшення термінів очікування ними початку ремонту, виробнича потужність каналів (обслуговуючих позицій) підприємства, тобто потокових технологічних ліній, стендів, обладнання повинна бути дещо більшою, ніж виробнича програма підприємства.

Методи теорії масового обслуговування дозволяють визначитися з необхідним і достатнім відсотком такого перевищення [7,8]. За термінологією ТМО приймаємо:

1) n – число обслуговуючих каналів – кількість ремонтних ліній або стендів, відповідного призначення;

2) λ – потік вимог – середнє добове надходження заявок;

3) ν – кількість обслуговуваних в одиницю часу кожним каналом вимог – добова виробнича потужність однієї ремонтної позиції.

Згідно з положеннями ТМО, необмеженого збільшення черги обслуговуваних заявок і переповнення каналів можна уникнути тільки при дотриманні такої нерівності [7]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\nu} < n. \quad (1)$$

Це можна пояснити неминучими в виробничих умовах перервами в технологічному процесі і простоями обладнання.

Розглянемо наступну задачу. Нехай необхідно відремонтувати за рік 500 реле локомотивів.

Середньодобове надходження заявок (реле) на ремонт при такій програмі, або потік заявок, $\lambda = 20$; приймаємо, що число каналів $n = 2$, робота в одну зміну.

Потрібно визначити:

- при якому перевищенні виробничою потужністю ремонтних ліній N_I потоку заявок λ чи при якому відповідному значенні α черга заявок на ремонт не досягне 100 од., а терміни очікування початку ремонту – 5 діб;

- з якою інтенсивністю буде зменшуватися довжина черги і терміни очікування початку ремонту в міру зростання $(N_I - \lambda)/\lambda$, %, і відповідно при зменшенні чисельного значення α .

Методика вирішення поставлених завдань буде полягати в послідовному визначенні ймовірності незайнятості

жодного каналу (ремонтної лінії) – P_0 , ймовірності зайнятості однієї P_1 і обох P_2 каналів із забезпеченням усіх заявок; ймовірності наявності черги заявок $P_{оч}$ і на підставі цих даних в розрахунку середньої величини черги заявок (очікування ремонту) і середнього часу очікування ними початку ремонту [7,8,9,10]. Для вирішення використовуємо наступні залежності ТМО.

Ймовірність того, що зайнято і обслуговує усі вимоги точно k обслуговуючих каналів, дорівнює

$$P_k = \frac{\frac{a^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-\alpha)}} \text{ при } 0 \leq k \leq n. \quad (2)$$

Окремий випадок, коли всі обслуговуючі канали вільні:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-\alpha)}}. \quad (3)$$

Ймовірність наявності черги необслугованих заявок

$$P_{оч} = 1 - (P_0 + P_1 + P_2 \dots P_n). \quad (4)$$

Середня довжина черги незабезпечених заявок M

$$M = \frac{\frac{a^{n+1}}{n \cdot n! \left(1 - \frac{a}{n}\right)^2}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-\alpha)}}. \quad (5)$$

Середній час очікування початку обслуговування

$$T = \frac{P_{оч}}{n\nu - \lambda}. \quad (6)$$

Перевіримо спочатку, чи буде достатнім перевищення виробничою потужністю підприємства запланованої програми на 25 од. При такому перевищенні:

N – річна програма підприємства дорівнює 5000 од.;

N_p – річна розрахункова виробнича потужність підприємства, $N_p = 5025$ од.;

N_1 – змінна виробнича потужність, $N_1 = 20,1$ шт.;

v – виробнича потужність однієї лінії, $v = 10,05$ шт.;

n – число каналів (обслуговуючих позицій), $n = 2$;

λ – прийнятий потік вимог (середнє надходження заявок), $\lambda = 20$;

δ – перевищення виробничою потужністю потоку, що надходить до ремонту, у відсотках

$$\delta = \frac{N_1 - a}{\lambda} = 0,5\%;$$

$$a = \frac{\lambda}{v} = \frac{20}{10,05} = 1,99; \quad a^2 = 3,96; \quad a^3 = 7,88.$$

Імовірність зайнятості обох каналів (ремонтних позицій) з залежності (3)

$$P_0 = \frac{1}{1 + 1,990 + 1,980 + \frac{7,88}{2,1(2 - 1,990)}} = \frac{1}{399} = 0,0025.$$

Імовірність зайнятості одного P_1 і двох P_2 каналів із забезпеченням ремонтів всіх заявок з залежності (2)

$$P_1 = \frac{1,990}{399} \approx 0,0050; \quad P_2 = \frac{1,980}{399} \approx 0,0050.$$

Імовірність наявності черги з залежності (4):

$$P_{оч} = 1 - (0,0025 + 0,0050 + 0,0050) = 0,9875.$$

Середня довжина черги заявок, що очікують ремонт, з залежності (5)

$$M = \frac{7,88}{2 \cdot 2(1 - 0,995)^2} = 197,4 \approx 197 \text{ шт.}$$

Середній час очікування початку ремонту з залежності (6)

$$T = \frac{0,9875}{2 \cdot 10,05 - 20} = 9,875 \approx 10 \text{ діб.}$$

Прийняте перевищення виробничою потужністю ремонтного підприємства, його програми або потоку заявок на ремонт не є достатнім, так як і черга очікування

ремонтів, і час очікування початку ремонту значно перевершують задані межі.

Визначимо тепер, чи буде достатнім перевищення виробничою потужністю

підприємства його програми на 50 од. При такому перевищенні:

N_p – річна розрахункова виробнича потужність ремонтного підприємства, $N_p = 5050$ шт.,

N_1 – змінна виробнича потужність, $N_1 = 20,2$ шт.,

v – виробнича потужність однієї лінії, $v = 10,10$ шт.,

$$\frac{N_1 - \lambda}{\lambda} = 1,0\%; \quad a = 1,98; \quad a^2 = 3,92; \quad a^3 = 7,76.$$

Інші розрахункові параметри не змінюються.

Імовірність зайнятості обох каналів буде

$$P_0 = \frac{1}{1 + 1,980 + 1,960 + \frac{7,76}{2(2 - 1,980)}} = \frac{1}{399} = 0,0050.$$

Імовірність зайнятості одного і двох каналів

$$P_1 = \frac{1,980}{199} \approx 0,0099; \quad P_2 = \frac{1,960}{199} \approx 0,0098.$$

Імовірність черги $P_{оч} = 1 - (0,0050 + 0,0099 + 0,0098) = 0,9750$.

Середня довжина черги

$$M = \frac{7,76}{199} = \frac{4(1 - 0,990)^2}{199} = 97,4 \approx 97 \text{ шт.}$$

Середній час очікування початку ремонту

$$T = \frac{0,9750}{2 \cdot 10,10 - 20} \approx 5 \text{ діб.}$$

Таким чином, в цьому випадку поставлені вище умови майже задовольняються, так як час очікування

заявками початку ремонту досягає 5 діб. Подальші розрахунки проводимо аналогічним порядком при послідовному збільшенні виробничої потужності підприємства в порівнянні з його програмою

$$\left(\frac{N_1 - \lambda}{\lambda} \right) \text{ на } 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,5 \text{ та } 6,0 \text{ \%}.$$

У табл. 1 наведені результати розрахунку довжин черги і часу очікування ремонту в залежності від відсотка перевищення виробничою потужністю ремонтного підприємства потоку заявок на ремонт. Дані таблиці показують, що обмеження черги заявки на ремонт деталей 100 од. і часу очікування ними початку ремонту 5 діб забезпечуються при збільшенні виробничої потужності підприємства по відношенню до його програми на 1,5 %. При подальшому

збільшенні $\frac{N_1 - \lambda}{\lambda}$ довжина черги і час очікування початку ремонту ще більш скорочуються; однак при збільшенні $\frac{N_1 - \lambda}{\lambda}$ більш ніж на 3-4 % інтенсивність зменшення зазначених величин падає, що наочно ілюструється графіком, поданим на рис. 1.

Слід, однак, відзначити, що час очікування заявками початку ремонту залежить не тільки від співвідношення $\frac{N_1 - \lambda}{\lambda}$, але і від виробничої програми підприємства. Зі збільшенням виробничої програми зменшуються середні терміни очікування заявками початку ремонту. Це підтверджується результатами розрахунку, виконаного стосовно до чотирьох заявок, виконання яких доцільно за різними програмами. Вихідні дані і результати такого розрахунку наведено в табл. 2. З таблиці видно, що терміни очікування деталями початку ремонту скорочуються обернено пропорційно збільшенню їх виробничої програми (рис. 2).

Таблиця 1

Розрахунок середніх довжин черги і часу очікування початку ремонту заявок (реле)

| Розрахункова виробнича потужність підприємства, шт. | | | Значення співвідношень | | Імовірність | | | | Середня довжина черги заявок, що очікують ремонту, М | Середній час очікування заявками ремонту, Т, діб |
|---|--------|---------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|--|--|
| Річна | Змінна | Одним каналом | $\frac{N_1 - \lambda}{\lambda}$ | $\alpha = \frac{\lambda}{v}$ | незайнятості каналу, P_0 | зайнятості одного каналу, P_1 | зайнятості двох каналів, P_2 | Черги, $P_{оч}$ | | |
| 5025 | 20,1 | 10,05 | 0,50 | 1,990 | 0,0025 | 0,0050 | 0,0050 | 0,9875 | 197 | 10 |
| 5050 | 20,2 | 10,10 | 1,00 | 1,980 | 0,0050 | 0,0099 | 0,0098 | 0,9750 | 97 | 5 |
| 5075 | 20,3 | 10,15 | 1,50 | 1,970 | 0,0076 | 0,0149 | 0,0147 | 0,9628 | 64 | 3,2 |
| 5100 | 20,4 | 10,20 | 2,00 | 1,960 | 0,0101 | 0,0198 | 0,0194 | 0,9507 | 48 | 2,4 |
| 5125 | 20,5 | 10,25 | 2,50 | 1,951 | 0,0126 | 0,0246 | 0,0240 | 0,9388 | 38 | 1,9 |
| 5150 | 20,6 | 10,30 | 3,00 | 1,941 | 0,0152 | 0,0295 | 0,0288 | 0,9265 | 31 | 1,5 |
| 5225 | 20,9 | 10,45 | 4,50 | 1,913 | 0,0230 | 0,0440 | 0,0420 | 0,8910 | 20 | 1,0 |
| 5300 | 21,2 | 10,60 | 6,00 | 1,886 | 0,0283 | 0,0534 | 0,0505 | 0,8678 | 16 | 0,7 |

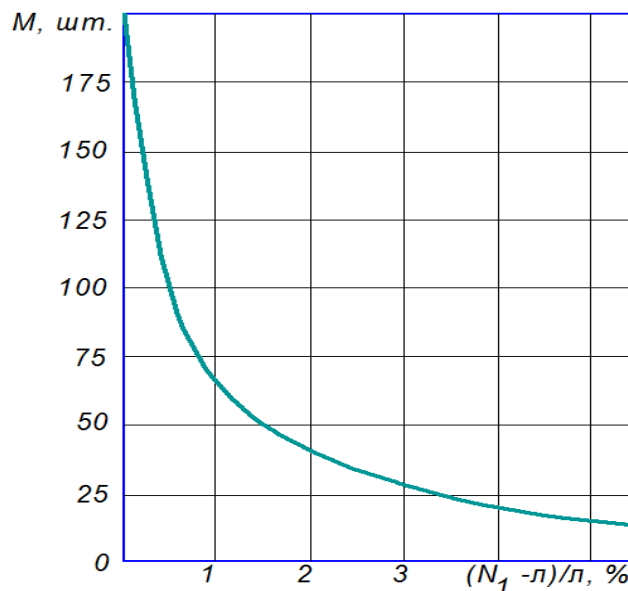


Рис. 1. Залежність середньої довжини черги заявок, що очікують ремонту, від відсотка перевищення виробничою потужністю підприємства потоку заявок на ремонт

Таблиця 2

Вихідні дані і результати розрахунку

| Вихідні та розрахункові дані | Деталь | | | |
|--|--------|-----|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Річна виробнича програма, тис. шт. | 2,5 | 10 | 15 | 20 |
| Прийнятий середньодобовий потік заявок (надходження заявок на ремонт) λ , шт. | 10 | 40 | 60 | 80 |
| Прийняте число обслуговуючих каналів, n | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Середній час очікування заявками початку ремонту, діб, при $(N_1 - \lambda)/\lambda$ дорівнює: | | | | |
| 0,5 при $\alpha = 1,990$ | 20,0 | 5,0 | 3,3 | 2,5 |
| 1,0 » $\alpha = 1,980$ | 10,0 | 2,4 | 1,6 | 1,2 |
| 1,5 » $\alpha = 1,970$ | 6,4 | 1,6 | 1,1 | 0,8 |
| 2,0 » $\alpha = 1,960$ | 4,8 | 1,2 | 0,8 | 0,6 |
| 2,5 » $\alpha = 1,951$ | 3,8 | 1,0 | 0,6 | 0,5 |
| 3,0 » $\alpha = 1,941$ | 3,1 | 0,8 | 0,5 | 0,4 |
| 4,5 » $\alpha = 1,913$ | 2,0 | 0,5 | 0,3 | 0,25 |
| 6,0 » $\alpha = 1,886$ | 1,4 | 0,4 | 0,2 | 0,18 |

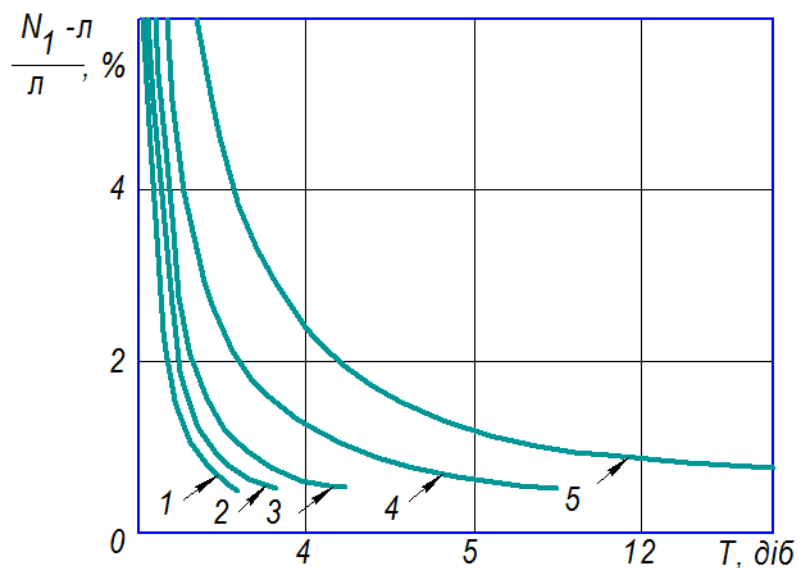


Рис. 2. Залежність середнього часу очікування початку ремонту заявки від виробничої програми і відсотка перевищення виробничою потужністю підприємства потоку їх заявок на ремонт:

1 – $N = 20000$ од., $\lambda = 80$; 2 – $N = 15000$ од., $\lambda = 60$; 3 – $N = 10000$ од., $\lambda = 40$;
4 – $N = 5000$ од.; $\lambda = 20$; 5 – $N = 2500$ од., $\lambda = 10$

Висновки:

1. Необхідність забезпечення ШРС послугами ремонтного господарства не

тільки приписного парку, а і ШРС інших депо потребує врахування забезпечення резервних потужностей депо для виконання

нормативів простою в ТО, ПР і високого рівня якості ремонту;

2. З урахуванням експлуатаційної ситуації величина резерву повинна не перевищувати відповідної межі доцільності

і зайвих потужностей ремонтного господарства;

3. Розглянута методика показує необхідність врахування особливостей системи ТО, ПР і раціональної зони її дії.

Список використаних джерел

1. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин [и др.]. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
2. Галкин, В. Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четверов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
3. Северцев, Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н. А. Северцев. – М.: Высш. школа, 1989. – 432 с.
4. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, О. С. Крашенінін [та ін.] // зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 132. – С. 5-11.
5. Крашенінін, О. С. Покращення організації технічного обслуговування та поточного ремонту тягового рухомого складу в післянормативний термін його використання [Текст] / О. С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, Ю.В. Черняк // Транспортні інновації. – К., 2011. – № 9. – С. 26-28.
6. Крашенінін, О. С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О. С. Крашенінін, П. О. Харламов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля: наук. журнал. – Луганськ, 2012. – № 3(174). – С. 109-113.
7. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е. С. Вентцель. – 2-е изд. — М.: Наука, 1988. — 208 с.
8. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – 4-е изд. – М.: Наука, 1969.
9. Гнеденко, Б. В., Элементарное введение в теорию вероятностей [Текст] / Б.В. Гнеденко, А.Я. Хинчин. – 7-е изд. – М.: Наука, 1970.
10. Колмогоров, А. Н. Основные понятия теории вероятностей [Текст] / А.Н. Колмогоров. – 2-е изд. – М.: Наука, 1974.
11. Ansell J. Risk, Analysis, Assessment and Management / J. Ansell, F. Wharton - Wiley, 1992.
12. Zadeh L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process / Zadeh L.A. // IEEE Trans. Sys. Man. Cyb, SMC - 3, 1977. - No.1.

Крашенінін Олександр Семенович д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097)991-70-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Костюченко Микола Миколайович, магістр TEMPUS кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (093) 767-04-79. E-mail: ohotnikoyan@mail.ru.
Соколенко Сергій Іванович, магістр магістр TEMPUS кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (093) 281-56-01. E-mail: Santabooboo@mail.ru.

Krashenin Alexander S. Ph.D. prof. Department Maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (097) 991-70-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Nikolai Kostyuchenko, master tel. (093) 767-04-79, e-mail: ohotnikoyan@mail.ru.
Sergei Sokolenko, master tel. (093) 281-56-01. E-mail: Santabooboo@mail.ru.

Стаття прийнята 23.09.2016 р.

УКД 656.213

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОЇЗДОПОТОКІВ У МЕЖАХ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ

Канд. техн. наук Т. В. Головко, С. Е. Гусаров

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЕЗДОПОТОКОВ В ПРЕДЕЛАХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Канд. техн. наук Т. В. Головко, С. Э. Гусаров

IMPROVEMENT OF TRAIN FLOW WITHIN INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS

Cand. of Eng. Sciences T. V. Golovko, S. E. Gusarov

У статті розглянуто питання щодо удосконалення організації поїздопотоків у межах міжнародних транспортних коридорів (МТК), а саме причини затримок їх на прикордонних передавальних станціях. Розроблено математичну модель просування міжнародних вагонопотоків по мережі залізниць України, структура якої включає цільову функцію - питомі експлуатаційні витрати на один вагон упродовж всього логістичного ланцюга та систему обмежень, яка визначає технічні, технологічні та нормативні умови. Прийнято рішення про впровадження інтерактивної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень, яка буде допомагати в покращенні процесу просування вагонопотоків в умовах функціонування МТК.

Ключові слова: міжнародні транспортні коридори, прикордонні передавальні станції, система прийняття рішень.

В статье рассмотрены вопросы совершенствования организации поездопотоков в рамках международных транспортных коридоров, а именно причины задержек их на пограничных передаточных станциях. Разработана математическая модель продвижения международных вагонопотоков по сети железных дорог Украины, структура которой включает целевую функцию - удельные эксплуатационные затраты на один вагон в течение всей логистической цепи и систему ограничений, которая определяет технические, технологические и нормативные условия. Принято решение о внедрении интерактивной компьютерной системы поддержки принятия решений, которая будет помогать в улучшении процесса продвижения вагонопотоков в условиях функционирования МТК.

Ключевые слова: международные транспортные коридоры, пограничные передаточные станции, система принятия решений.

The article deals with the issue of improving the organization of train flow within international transport corridors, namely causes of their delays at border transmission stations. Each delay in transmission of carriages at border stations leads to increased consumption of resources of all kinds. Most of them are connected to time-consuming, while others should be attributed to energy, industrial, human, informational and, above all, material resources.

The mathematical model of promoting international carriage traffic on the railway network of Ukraine, which structure includes the objective function - specific operating costs for each carriage

throughout the logistics chain and system constraints, which determines technical, technological and regulatory conditions.

The decision on the introduction of interactive computer decision support system that will help to improve carriage traffic promotion process under conditions of ITC. Creation of transport corridors and their entry into the international transport system considered a national priority direction of development of transport system in Ukraine.

Keywords: *international transport corridors, border transmission stations, decision-making system.*

Вступ. Україна пронизана потужними міжнародними транзитними й експортно-імпортними вантажопотоками. Найбільший серед них вантажопотік Захід – Схід, що з'єднує країни Європи з Росією та Закавказьким регіоном. Розташування України дозволяє їй виконувати роль своєрідного мосту для транзитних перевезень вантажів і пасажирів між європейськими країнами з країнами СНД з виходом на порти Чорного моря, країни Азії та Далекого Сходу.

Прибутки залізниці в значній мірі залежать від раціональної організації вагонопотоків у поїзди. За умов ринкових відносин залізниця повинна мінімізувати свої затрати, причому основним напрямком повинна бути раціональна організація роботи та удосконалення системи організації вагонопотоків. Постає питання більш раціонального використання технічного та інформаційного оснащення станцій для зменшення витрат часу та коштів. Сучасні інформаційні системи дозволяють охоплювати широкий спектр робіт, тому їх використання є доцільним.

Міжнародні транспортні коридори (МТК) України залишаються основними транспортними вантажними коридорами, навіть за умов зниження обсягів транзитних перевезень. Тому розвиток міжнародних транспортних коридорів на території України сприяє підвищенню ефективності українських зовнішньоторговельних перевезень і забезпеченню гарантії їх здійснення на основі міжнародних угод і домовленостей, зміцненню економічної безпеки країни, а також залученню на вітчизняні комунікації транзитних

перевезень третіх країн і отриманню за рахунок цього додаткових валютних прибутків.

Аналіз попередніх досліджень. Умови міжнародних перевезень залізничним транспортом суттєво відрізняються від умов перевезень вантажів у внутрішньому сполученні. Вони являють собою складний процес, учасниками якого є вантажовідправники та вантажоодержувачі, експедитори, митні та прикордонні органи, залізничні адміністрації різних країн, оператори вагонного парку, сухі порти. Тому дослідженню удосконалення організації поїздопотоків у межах міжнародних транспортних коридорів останнім часом приділяється багато уваги в роботах М.І. Данька, Т.В. Бутько, Д.В. Ломотька, О.А. Малахової та інших вчених [3,4,5,12,13]. Удосконаленню міжнародних залізничних перевезень та максимізації прибутку у транспортних коридорах присвячені статті закордонних авторів Jöm Pachtl, William H.K. Lam, S.C. Wong [1,2].

Визначення мети та задачі дослідження. Розвиток економіки України, інтеграція залізниць України до загальноєвропейської транспортної системи в умовах зростання обсягів перевезень, зростання попиту на транспортні послуги загострюють проблему задоволення потреб економіки у повному та якісному забезпеченні перевезеннями, вимагають підвищення ефективності роботи транспорту, зокрема залізничного.

Тому збільшення конкуренції на ринку транспортних послуг вимагає від залізниць України, щоб вони працювали у злагоженому синхронному режимі з

більшою відповідальністю щодо дотримання графіків роботи та безпеки руху. Все це поступово і неухильно змушуватиме залізничний транспорт працювати на належному рівні, у тому числі й при обслуговуванні міжнародних транспортних коридорів.

Основна частина дослідження.

Створення транспортних коридорів та входження їх до міжнародної транспортної системи визнано пріоритетним загальнодержавним напрямом розвитку транспортно-дорожнього комплексу України [10].

Але існує ряд перешкод для ефективного транзитного переміщення поїздів. У першу чергу, це стосується невідповідності показників транзитних перевезень в Україні міжнародним вимогам відносно швидкості, цілісності вантажів, неперервності, тарифів і цін на послуги.

Це відбувається здебільшого через низькі темпи розвитку внутрішньо-державної системи транзитних перевезень, недостатній розвиток мережі шляхів прямування, віднесених до міжнародних транспортних коридорів, низькі швидкості просування транзитних поїздів та значні затримки міжнародних составів на прикордонних передавальних станціях у процесі реалізації технології передавання составів за кордон. Це призводить до значних збільшень строків доставки вантажів та затягування процесів просування транзитних міжнародних поїздів залізницями України, що поступово формує негативний імідж залізниць України та їх транзитного потенціалу [11].

Ефективність організації міжнародних перевезень вантажів значно залежить від злагодженої організації роботи прикордонної передавальної станції (ППС).

Специфіка функціонування сучасних ППС полягає в тому, що більшість із них було створено на базі сортувальних або

дільничних станцій, найбільш близьких до кордонів. До набуття станціями статусу прикордонних обробка поїзних документів та передача інформації проходила паралельно із технічним та комерційним оглядом і не перевищувала норм часу на виконання технічних операцій. Але, після появи відповідних додаткових контролюючих служб, на ППС при обробці вантажопотоку у міждержавному сполученні багато часу займає саме оформлення вантажів та передача поїзної інформації між державами, що тягне за собою збільшення простоїв вагонів. Для виконання комплексу митних, прикордонних та інших операцій технічне оснащення і технологія роботи прикордонних передавальних станцій потребує суттєвих змін [7,8].

Основні причини затримок вагонів, що є найбільш поширеними та характерними для всіх ППС ДН-2 (див. рисунок):

- 1) митний огляд;
- 2) митне оформлення;
- 3) відсутність електронного повідомлення митниці відправлення;
- 4) технічна або комерційна несправність вагона;
- 5) розбіжність інформації у товарно-транспортній накладній (ТТН) і вантажній митній декларації (ВМД);
- 6) затримання суміжними службами (прикордонною, фітосанітарною, ветеринарною або санітарно-карантинною);
- 7) затримання службою екологічного та радіаційного контролю;
- 8) неправильно оформлені документи;
- 9) закриття або відсутність коду експедитора;
- 10) порушення маршруту прямування;
- 11) відсутність інформації в центральній базі даних;
- 12) відсутність рахунку-фактури.

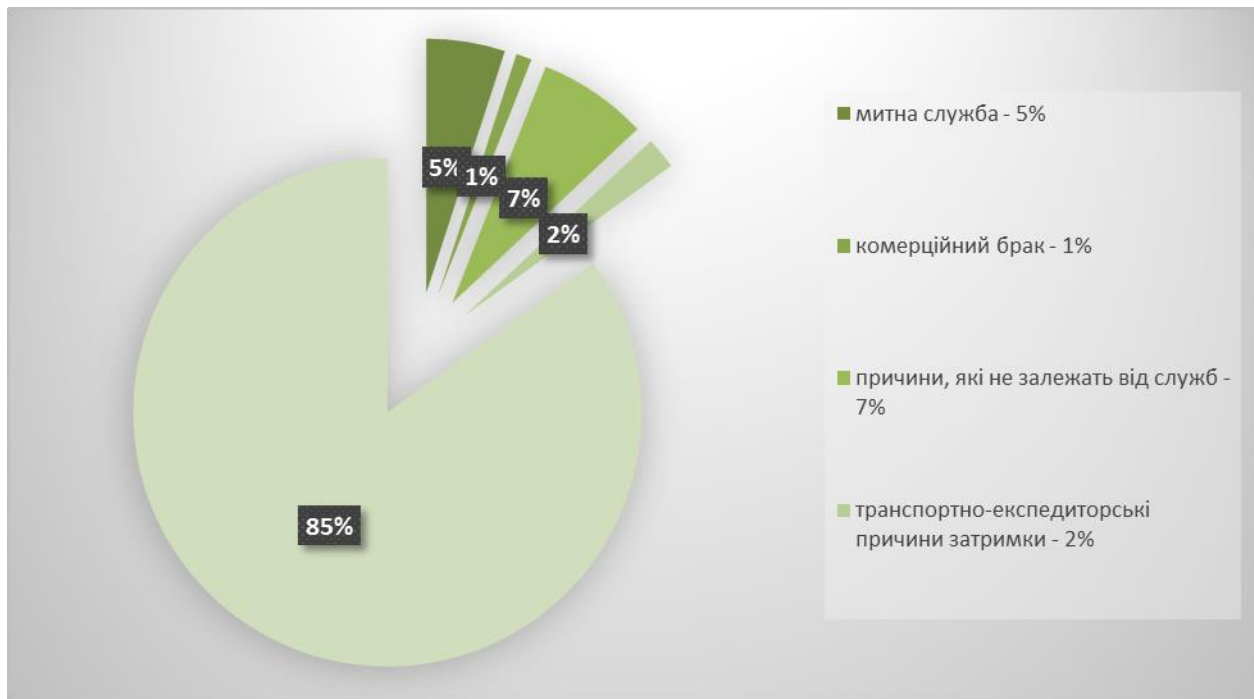


Рис. Аналіз причини затримок вагонів на прикордонних станціях

При виконанні операцій, які здійснюються на прикордонних передавальних станціях, можливі затримки вагонів з таких причин:

- збільшення тривалості митних та прикордонних операцій;
- неякісне оформлення перевізних документів;
- технічні та комерційні несправності вагонів;
- відчеплення вагонів, затриманих прикордонними, митними, санітарно-карантинними, ветеринарними та іншими органами;
- тимчасове закриття кордону;
- непрофесійність роботи прикордонних та митних служб.

Кожна затримка вагонів на прикордонних передавальних станціях призводить до збільшення витрат ресурсів всіх видів. Більшість із них пов'язана з витратами часу, інші слід віднести до паливно-енергетичних, виробничих, людських, інформаційних та, передусім, матеріальних ресурсів.

Оснащення передавальних станцій повинно забезпечити виконання такого [8,9]:

- погодження сторонами розмірів руху;
- операцій з приймання, відправлення, розформування та формування поїздів;
- операцій, пов'язаних з технічним та комерційним оглядом (ТО та КО) поїздів, прикордонним, митним, екологічним, ветеринарним та іншими видами державного контролю.

Якщо за своїм технічним оснащенням ППС не може виконати зазначені обсяги і види робіт, важливо передати частину роботи на менш завантажену сортувальну станцію суміжної сторони та удосконалити її роботу задля скорочення витрат ресурсів всіх видів та пришвидшення просування вагонопотоків міжнародного слідування.

Через складність взаємозв'язків усіх підрозділів залізничного транспорту між собою практично неможливо оцінити простої в очікуванні здачі поїздів у інші

країни. Тому необхідно розробити математичну модель просування міжнародних вагонопотоків по мережі залізниць України, структура якої включає цільову функцію – питомі експлуатаційні витрати на один вагон упродовж всього логістичного ланцюга та систему обмежень, яка визначає технічні, технологічні та нормативні умови.

У неявному вигляді цільова функція являє сумарні питомі експлуатаційні витрати, що припадають на один поїзд міжнародного сполучення, і може бути подана у такому вигляді (1):

$$C_1(m) = \sum_{i=1}^7 C_i(m) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де C_1 – питомі витрати, що припадають на формування поїзда міжнародного сполучення, грн;

C_2 – питомі витрати, що припадають на просування поїзда міжнародного сполучення від станції формування до сортувальної станції, грн;

C_3 – питомі витрати, пов'язані з простоем поїзда під технічними операціями на сортувальній станції, грн;

C_4 – питомі витрати, пов'язані з простоем поїзда під очікуванням нитки ГР, грн;

C_5 – питомі витрати, пов'язані зі слідуванням поїзда з сортувальної станції на прикордонну передавальну станцію, грн;

C_6 – питомі витрати, що пов'язані з простоем поїзда на ППС, грн;

C_7 – питомі витрати на просування поїзда від ППС до прикордонної станції суміжної держави.

Таким чином, в результаті виключення одного із елементів цільової функції, а саме питомі витрати, що припадають на очікування нитки графіка руху міжнародним поїздом, сукупні питомі витрати можуть зменшитися як для транзитних, так і для міжнародних поїздів.

Також очевидно, що на величину кожної складової C_i впливає значна кількість незалежних параметрів, які важко адекватно визначити стандартними математичними методами, тому в такій постановці задачу визначення мінімальних експлуатаційних витрат при забезпеченні стійкого просування поїзда міжнародного сполучення доцільно віднести до слабко-структурованих і вирішувати відповідними методами.

В умовах підходу до станцій одночасно можуть знаходитись декілька поїздів, причому вибір пріоритетного пропуску залежить від декількох факторів, які безпосередньо впливають на умови пропуску.

Для формалізації процедури планування роботи вихідні дані подамо у вигляді матриць: X – вектор-матриця, яка містить інформацію про порядок пропуску поїзда; N – матриця, яка містить повну інформацію про поїзд: номер поїзда, його тип та час очікування до відведеної нитки графіка даному поїзду; Q – матриця, яка містить інформацію про витрати на простій поїздів: тип поїзда, час простою на станціях під обробкою та витрати на простій.

Цільову функцію моделі у явному вигляді можна подати як

$$C = \sum_{i=2}^k \left(Q_{N_{x_i,2,3}} \cdot \sum_{j=1}^{i-2} Q_{N_{x_{i-1,2},2}} \right) \Rightarrow \min, \quad (2)$$

де k – кількість поїздів, які знаходяться на підході до станцій;

i – параметр цикла.

Обмеження, які пов'язані із часом очікування нитки графіка (3),

$$\sum_{i=1}^n Q_{N_{x_i,2,2}} \leq N_{n,3}, \quad \text{де } n=1\dots k. \quad (3)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проаналізувавши усі причини затримок поїздів міжнародного сполучення та питомі витрати на шляху їх прямування, можна зробити висновок, що вплинути на час просування поїзда міжнародного значення можна шляхом

впровадження системи підтримки прийняття рішень на автоматизовані робочі місця відповідних оперативних працівників. СППР буде обирати найбільш раціональний спосіб пропуску міжнародних поїздів на залізничному полігоні.

Список використаних джерел

1. Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000627>.
2. Enhancing international rail transportation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210970614000535>.
3. Бутько, Т. В. Нечітка логіка в ситуаційних моделях на залізничному транспорті [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, О.П. Бочаров // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 66. – С. 5-10.
4. Бутько, Т. В. Принципи створення систем підтримки прийняття рішень на залізничному транспорті [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2005. – Вип. 2. – С. 5-12.
5. Ломотько, Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів [Текст] : дис... д-ра техн. наук: 05.22.01 – «Транспортні системи» / Д.В. Ломотько; МОН України, Українська державна академія залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 189 с.
6. Бідюк, П. І. Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень [Текст]: навч. посібник / П.І. Бідюк, Л.О. Коршевнюк. – К.: ННК „ІПСА” НТУУ „КПІ”, 2010. – 13 с.
7. Класифікація та структура інформаційних систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://bankreferatov.com.ua/referat/nformatika/1_object36361.html.
8. Технологічний процес роботи Харківської дирекції Південної залізниці [Текст] : технічна документація. – 2011. – 364 с.
9. Умови руху та порядок обслуговування поїздів на прикордонних станціях від 05.06.2011 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://poizd.uz.ua/58-umovi-ruhu-ta-rogyadok-obslugovuvannya-poizdiv-na-prikordonnix-stanciyah.html>.
10. Мережа міжнародних транспортних коридорів на території України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/en/show/transport.html>.
11. Укрзалізниця: вантажопотік міжнародними транспортними коридорами України за 8 місяців поточного року збільшився на 2% від 16.09.2013 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mtu.gov.ua/en/news/36717.html>.
12. Долгополов, П. В. Удосконалення диспетчерського керівництва дільниці на основі прогнозного моделювання перевізного процесу [Текст] / П.В. Долгополов, Т.В. Головка, Т.В. Галишинець, [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С. 61-65.
13. Калашнікова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтегрованості [Текст] / Т.Ю. Калашнікова, Є.Д. Кіценко // Вісник

національного технічного університету «ХПІ». Сер. Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – Вип. 49. – С. 36-39.

Головка Тетяна Владиславівна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-88. E-mail: tishatares@gmail.com.

Гусаров Сергій Едуардович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (050)850-26-74. E-mail: sergeigussrov@gmail.com.

Golovko Tatiana, Candidate of Engineering Sciences of the Department of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: tishatares@gmail.com.

Husarov Serhiy, Master's Degree student, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050)850-26-74. E-mail: sergeigussrov@gmail.com.

Стаття прийнята 23.09.2016 р.

УДК 656.223.1

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПРЯМУВАННЯ МІЖРЕГІОНАЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, О. М. Івать

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ СЛЕДОВАНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, О. М. Івать

IMPROVEMENT OF THE FORMATION SYSTEM FOR RATIONAL ITINERARY INTERREGIONAL PASSENGER TRAINS ON THE RAILWAYS OF UKRAINE

Cand. of techn. sciences D. V. Konstantinov, O. M. Ivat

У роботі розглянуто питання про раціональну організацію маршрутів прямування міжрегіональних пасажирських поїздів на залізницях України. Запропоновано удосконалення моделі системи підтримки прийняття рішень на основі використання еволюційного моделювання та генетичного алгоритму, призначеної для формування маршрутів прямування. На основі удосконаленої моделі можливе створення автоматизованої системи управління формуванням оптимальних маршрутів прямування міжрегіональних пасажирських поїздів.

Ключові слова: міжрегіональні поїзди, пасажирські перевезення, генетичний алгоритм, моделювання маршрутів, оптимальний маршрут.

В работе рассмотрен вопрос про рациональную организацию маршрутов следования межрегиональных пассажирских поездов на железных дорогах Украины. Предложено усовершенствование модели системы поддержки принятия решений на основе использования эволюционного моделирования и генетического алгоритма, предназначенной

для формування маршрутов следования. На основе усовершенствованной модели возможно создание автоматизированной системы управления формированием оптимальных маршрутов следования межрегиональных пассажирских поездов.

Ключевые слова: межрегиональные поезда, пассажирские перевозки, генетический алгоритм, моделирование маршрутов, оптимальный маршрут.

The paper examined the rational organization of routes for movement interregional passenger trains on the railways of Ukraine. In modern conditions in rail-based high-speed inter-regional passenger traffic are unchanged for several decades the transportation process technologies that limit the ability of passenger transport flexibility to respond to fluctuations in demand consumer market of passenger transportation. Therefore, to improve inter-regional passenger transport is necessary to use organizational technologies, which are based on the concept of flexible adaptive regulation of the transportation process and long-term operational nature in accordance with the principles of passenger logistics. An improved model of decision support system based on the use of evolutionary modeling and genetic algorithm designed to create a route. This can be achieved by combining and creating a common model of high-speed inter-regional transport, whose task will be to develop inter-regional train routes from the collection of the data on adjusting work stations and the results further determine the best direction to follow. Based on the improved model of the possible creation of an automated system of formation of optimum routes inter-regional movement of passenger trains.

Keywords: interregional trains, passenger transport, the genetic algorithm, modeling route, the optimal route.

Вступ. Одним з найважливіших завдань підвищення якості роботи транспорту є удосконалення роботи підсистем планування та управління. Необхідність обробки великого обсягу інформації, потрібної для прийняття ефективних управлінських рішень на різні періоди часу, потребує використання сучасних інформаційних технологій, які можуть функціонувати в якості систем підтримки прийняття рішень (СППР) на основі сучасних науково-математичних методів.

У сучасних умовах в основі залізничних швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень лежать недостатньо ефективні технології перевізного процесу, які обмежують здатність пасажирського комплексу гнучко реагувати на коливання попиту споживачів ринку пасажирських перевезень. Виходячи з цього для зниження збитковості пасажирських перевезень необхідним є застосування організаційних технологій, в основу яких покладено концепції гнучкого

адаптивного регулювання перевізного процесу оперативного та довгострокового характеру відповідно до принципів пасажирської логістики.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Пасажирські перевезення залізничного транспорту збиткові. Однією з причин є невідповідність темпів зростання цін на продукцію та ресурси (металопрокат, залізобетонні шпали, запасні частини для рухомого складу, дизельне паливо та електроенергія тощо) темпом підвищення тарифів на пасажирські перевезення, неефективне використання місткостей пасажирських вагонів різних типів поїздів, недостатньо ефективного планування перевезень, незручність діючих розкладів руху для багатьох пасажирів, що призводить до підвищення експлуатаційних витрат порівняно з рівнями доходів.

За дослідженнями фахівців, загальна потреба в перевезенні пасажирів залізничним транспортом (крім приміського

сполучення) становить близько 60,5 млн осіб на рік. При цьому потенційний обсяг пасажирських перевезень з урахуванням наявного парку пасажирських вагонів без його поновлення та з урахуванням списання зменшився у 2013 р. на 200 тис. людей, у 2014 р. – на 4,9 млн осіб, у 2015 р. – на 3,1 млн людей, у 2016 р. – на 2,3 млн осіб і у 2017 р. може знизитись ще на 1,2 млн осіб. Послугами пасажирського транспорту за перший квартал 2016 року скористалося на 4,6 % менше українців. За січень-березень 2016 р. послугами пасажирського транспорту скористалися 1,7 млрд пасажирів, виконана пасажирська робота в обсязі 28,6 млрд пас.км, що становить відповідно 95,4 і 99,9 % обсягів січня-березня 2015 р. [1].

За останні п'ять років українські залізниці отримали збитки від пасажирських перевезень близько 30 млрд грн. Головними причинами цього є застарілий рухомий склад, низькі швидкості руху, низькі показники населеності та пасажиропотоків на фоні високих експлуатаційних витрат, що постійно зростають. Отже, потрібно шукати нові шляхи для досягнення прибутковості швидкісних пасажирських перевезень [2].

Запропоновані раніше в роботах [4, 5, 6, 7] моделі формування адаптивної системи пасажирських перевезень у приміському сполученні можуть бути раціонально використані для удосконалення системи міжрегіональних пасажирських перевезень. Але для взаємного узгодження результатів моделювання та можливості їх практичної реалізації виникає потреба ув'язати їх роботу в єдину інтеграційну систему адаптивного управління. Це можливо здійснити шляхом створення загальної моделі організації пасажирських перевезень, завданням якої буде розроблення маршрутів міжрегіонального руху на основі збору звітних даних щодо регульовальної роботи на станціях і результатів визначення оптимальних

маршрутів прямування. Результатом роботи такої системи буде створення найбільш економічно і технологічно доцільних маршрутів прямування міжрегіональних поїздів на певних мережах, що дозволить надати системі пасажирських перевезень ще більшої гнучкості в роботі за рахунок розвитку та узагальнення механізмів адаптації. Розроблення такої системи доцільно реалізувати на основі еволюційних методів моделювання з використанням генетичних алгоритмів [7].

За Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р та Програмою реструктуризації галузі, одним із основних напрямків розвитку організації пасажирських перевезень є формування та подальше удосконалення гнучких технологій управління перевізним процесом, що є одним з напрямків вирішення проблеми значної збитковості та покращення ресурсозбереження [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останніх роботах, присвячених питанню формування адаптивної системи організації приміських перевезень, було сформовано моделі удосконалення організації приміських перевезень, що спрямовані на вирішення завдань оперативного регулювання складів та управління процесом просування приміських поїздів, але можуть бути використані і в міжрегіональних перевезеннях. Однак зазначені моделі розроблено здебільшого для подальшого формування на їх основі СППР, що обмежує їх використання локальним характером застосування в межах станції і створює незручність при формуванні на їх основі комплексних рішень.

У роботі [7] було запропоновано використання генетичного алгоритму для моделювання системи формування оптимальних маршрутів прямування приміських поїздів, яка дозволяє формувати комплексні замкнені маршрути з урахуванням вимог безпеки руху

технічного і технологічного характеру, що також доцільно використовувати для удосконалення міжрегіональних пасажирських перевезень. Однак представлена в роботі [7] модель є відокремленою за своєю структурою від робіт [4, 5, 6] і потребує ув'язки з ними.

Одне з важливих завдань удосконалення транспортної системи швидкісних пасажирських перевезень на залізницях України є визначення раціонального напрямку розвитку залізничної мережі високошвидкісних і швидкісних перевезень на основі аналізу світового досвіду функціонування ринку швидкісних перевезень. Представлене в роботі [8] теоретичне обґрунтування раціональної топології мережі швидкісних залізничних перевезень може бути покладено в основу формування перспективної мережі маршрутів швидкісних міжрегіональних поїздів.

Відповідно до робіт [9, 10] розвиток мереж швидкісних міжрегіональних перевезень на залізницях розвинутих країн Європи є одним з найбільш пріоритетних напрямків надання транспортних послуг у сфері пасажирських перевезень, який при якійсній організації в умовах використання сучасних транспортних технологій та інфраструктури має величезний фінансовий успіх і привабливість для вибагливих потреб сучасних пасажирів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення загальної моделі формування маршрутів пасажирських поїздів міжрегіонального руху з використанням математичних апаратів нечіткої логіки, нейронних мереж і

генетичного алгоритму на основі раніше запропонованої в роботі [7]. Завданням дослідження є взаємна функціональна ув'язка структур моделей для отримання комплексної моделі, що може бути в перспективі основою СППР.

Основна частина дослідження. Моделювання маршрутів прямування міжрегіональних поїздів полягає в пошуку оптимальних варіантів їх курсування в межах певної мережі, моделлю якої може бути зважений граф $G(v,r)$, де вагами ребер є гени h_{ij}^k [7]. Завдання пошуку оптимального маршруту курсування міжрегіонального поїзда в межах певної мережі полягає у знаходженні деякої сукупності дільниць прямування поїзда від i -х станцій відправлення до j -х станцій призначення, послідовне проходження яких поїздом формує загальний маршрут, який порівняно з іншими варіантами є більш ефективним відносно критерію оптимізації, враховуючи, що станції i та j є станціями обороту міжрегіональних поїздів на певних напрямках. Тому враховуючи необхідність формування генотипу (набору оптимальних маршрутів) певної мережі в умовах моделювання на основі генетичного алгоритму, за завданням пошуку певної оптимальної комбінації маршрутів, доцільно представити в якості хромосоми деякий маршрут, що складається з певної сукупності дільниць $i-j$ залізничного вузла, де кожен ген відповідно моделює дільницю прямування між певною парою станцій $i-j$. Структуру хромосоми представлено у вигляді

$$H = \sum_{i,j=1}^v h_{ij} \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k, h_{ij}^{k+1}, \dots, h_{ij}^m\} \quad h_{ij}^k = \begin{cases} 1 - \text{можливий} \\ 0 - \text{неможливий} \end{cases}, \quad (1)$$

де v – кількість станцій у вузлі, що моделюється;

h_{ij}^k – ген, що моделює певний варіант прямування від станції відправлення i до станції призначення j і має значення 1 або 0;

m – загальна кількість генів у певному маршруті;

k – певний ген маршруту з загальної сукупності m , $k \in m$.

Отже генотипом графа $G(R)$ буде набір хромосом $H \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k\}$, кожна з яких відповідно моделює один певний маршрут для міжрегіонального поїзда. При цьому гени в кожному певному маршруті розташовуються інакше, моделюючи послідовність дільниць прямування в маршруті [7].

Початковим етапом вирішення завдання пошуку оптимальної комбінації в моделі генетичного алгоритму є формування вихідної популяції, що здійснюється шляхом випадкового перебору та розстановки генів і їх значень у заданій сукупності хромосом з представленням їх в якості двійникової послідовності фіксованої довжини. Кожен ген у хромосомі моделює певну дільницю прямування від станції відправлення i до станції призначення j та може мати значення 1 або 0. Таким чином, у комбінації генів кожної хромосоми представлено певний маршрут прямування, гени якого розташовуються послідовно згідно з порядком прямування дільницями маршруту [7].

Оцінювання пристосованості хромосом у популяції або вибір найкращих варіантів здійснюється за допомогою фітнес-функції для кожної хромосоми вихідної популяції. Завдання пошуку оптимального маршруту прямування полягає у визначенні варіанта прямування у вузлі з мінімальними експлуатаційними витратами, що вказує на необхідність спрямування завдання фітнес-функції на винайдення мінімального рішення, яке буде

відповідати мінімальним витратам на прямування міжрегіонального поїзда.

При цьому необхідно врахувати деякі особливості формування маршрутів в умовах використання генетичного алгоритму:

1. Кінцевою станцією прибуття j в останньому гені h_{ij}^m кожного обраного маршруту має бути початкова станція відправлення i в першому гені h_{ij}^1 , що вказує на необхідність формування замкнених кільцевих маршрутів.

2. Станція прибуття j кожного певного гена h_{ij}^k має співпадати зі станцією відправлення i наступного гена h_{ij}^{k+1} .

3. Сумарна довжина дільниць прямування обраних генів кожного маршруту

$\sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k$ не повинна перевищувати

максимальну відстань руху між двома суміжними технічними операціями ТО-2 з рухомим складом – L_{\max}^{TO-2} .

4. Сумарний час прямування по i - j дільницях обраних генів за сформованим

маршрутом $\sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k$ не повинен

перевищувати тривалості прямування до встановленого графіком руху поїздів пункту зміни локомотивних бригад $T_{\max}^{лб}$.

Визначені умови формують систему обмежень, яка має бути закладена у фітнес-функцію і потребує її структуризації. Ці умови є основою для обмеження сукупності змодельованих маршрутів шляхом перевірки на їх виконання та відсіювання тих, що їх не пройшли, тобто найменш пристосованих хромосом [4].

$$FF1(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } i \in h_{ij}^1 = j \in h_{ij}^{1+m} \text{ та } j \in h_{ij}^k = i \in h_{ij}^{k+1} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (2)$$

$$FF2(H) = \begin{cases} \min, \text{ якщо } \sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k \leq L_{\max}^{TO-2} \text{ та } \sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k \leq T_{\max}^{\text{лб}} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \quad (3)$$

Завданням моделювання є пошук оптимального маршруту з сукупності змодельованих випадковим чином і перевічених у системі обмежень згідно з формулами (2) та (3). Критерієм пошуку є мінімальні сумарні витрати від прямування по закладеному в хромосомі маршруту, що складаються з суми витрат на прямування по кожній ділянці відповідно обраних генів:

$$FF3(H) = \min \sum_{i,j=1}^n c_{ij}^k h_{ij}^k, \quad (4)$$

де c_{ij}^k - рівень витрат на прямування згідно з геном h_{ij}^k , що визначається витратами на оперативне регулювання по станції відправлення та витратами на шляху прямування через неповне використання населеності [6].

$$N_{ij}^n = \left(\sum_{n=1}^p B_n^{\text{факт}} - \sum_{n=1}^p B_n^{\text{факт}} \cdot H_{ij}^n \right) / 100\%, \quad (6)$$

де $\sum_{n=1}^p B_n^{\text{факт}}$ - кількість вагонів у міжрегіональному поїзді по відправленні зі станції i на n -й напрямок;

H_{ij}^n - населеність міжрегіонального поїзда по відправленні;

x_{ij}^n - параметр, що визначає рівень доцільності відправлення міжрегіонального поїзда на n -й напрямок за результатом роботи моделі [6],

$$c_{ij}^k = \sum_{n=1}^p x_{ij}^n (C_{ij}^n + N_{ij}^n), \quad (5)$$

де C_{ij}^n - еквівалент витрат на підготовку певного міжрегіонального поїзда до відправлення на один з можливих напрямків, що визначається еквівалентно до фізичної кількості вагонів, які необхідно причепити або відчепити відповідно до завдання оперативного регулювання або витрат на заміну рухомого складу іншим відповідної місткості (але за наявності технічної можливості);

N_{ij}^n - еквівалент витрат на шляху прямування через неповне використання населеності, що визначається фізичною кількістю вагонів, які залишаються порожніми.

$$x_{ij}^n = 100 - X, \quad (7)$$

де X - відповідає задачі визначення рівня доцільності відправлення міжрегіонального поїзда на n -й напрямок [6],

$$X = (C_{ij}^n, H_{ij}^n) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}, \quad (8)$$

де d_1 - доцільність призначення 99,9 %;
 d_2 - доцільність призначення 87,5 %;

- d_3 – доцільність призначення 75 %;
 d_4 – доцільність призначення 62,5 %;
 d_5 – доцільність призначення 50 %;
 d_6 – доцільність призначення 37,5 %;
 d_7 – доцільність призначення 25 %;
 d_8 – доцільність призначення 12,5 %;
 d_9 – доцільність призначення 0,1 %.

Визначення значення параметра X здійснюється за результатом роботи нейро-

нечіткої моделі, структура якої представлена в роботі [6].

Таким чином оцінювання пристосованості хромосом у популяції здійснюється шляхом перевірки їх на виконання трьох зазначених умов. Отже, фітнес-функція має складатися з трьох частин, кожна з яких здійснює обчислення значення виконання певної вимоги за формулами (2), (3) та (4). При цьому загальний розв'язок, що складається з суми значень згідно з розв'язком кожної умови спрямовується на винайдення найменшої величини:

$$FF(H) = (FF1(H) + FF2(H) + FF3(H)) \Rightarrow \min . \quad (9)$$

Якщо відомо або задано мінімальне значення функції пристосованості, зупинка алгоритму може бути здійснена після досягнення цього значення, що буде означати винайдення оптимального розв'язку. Винайдення на даному етапі оптимального розв'язку, що відповідає найменшим витратам на прямування певного маршруту, є завершенням роботи моделі генетичного алгоритму у зв'язку з виділенням найкращої хромосоми.

Якщо ж у сукупності отриманих розв'язків жоден не відповідає оптимальному значенню, наступним етапом моделювання є селекція хромосом, яка являє собою вибір за розрахованими при оцінюванні пристосованості хромосом у популяції значень фітнес-функції тих хромосом, які будуть задіяні у створенні нащадків для наступної популяції. Цей вибір здійснюється за принципом природного відбору, за яким найбільші шанси на участь у створенні нових осіб мають хромосоми з найкращими щодо поставленого завдання значеннями фітнес-функції. У даній задачі в процесі селекції хромосом виділяються ті, що мають мінімальні значення $FF(H)$. Вони формують батьківську популяцію.

Наступним етапом до хромосом, відібраних за допомогою селекції, застосовуються генетичні оператори. У класичному генетичному алгоритмі використовують два основних генетичних оператори – оператор схрещування та оператор мутації. У процесі використання оператора схрещування хромосоми з батьківської популяції об'єднуються в пари випадково з вірогідністю 0,5, після чого для кожної відібраної пари випадково визначається точка схрещування l_k в діапазоні $[1, k-1]$. У результаті схрещування пари батьківських хромосом хромосома нащадка складається на позиціях від 1 до l_k з генів одного з батьків, а на позиціях від l_k до $k-1$ з генів іншого.

При використанні оператора мутації відбувається зміна значення гена в хромосомі на протилежне з певною вірогідністю. Хромосоми, отримані в результаті використання генетичних операторів до тимчасової батьківської популяції, включаються до складу нової початкової популяції, яка бере участь у новій ітерації генетичного алгоритму, для якої знову обчислюється оцінювання пристосованості хромосом у популяції. Представлений цикл операцій повторюється доки не буде винайдено

хромосому з найкращим значенням фітнес-функції. Результатом вирішення завдання пошуку оптимального маршруту певного міжрегіонального поїзда у вузлі є винайдення хромосоми з мінімальним значенням $FF(H)$ відносно інших.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Реалізація на основі запропонованої моделі системи підтримки прийняття рішень на рівні відділу управління пасажирських перевезень дозволить автоматизувати процес формування маршрутів на напрямках прямування міжрегіональних поїздів та удосконалити існуючі графіки руху та

обороту. Використання запропонованої моделі в комплексі з моделями прогнозування пасажиропотоків, оперативного регулювання составів і визначення оптимальних напрямків прямування по станціях відправлення [4, 5, 6] на основі створення розподіленої СППР дозволить якісно покращити інформаційне забезпечення і рівень автоматизації пасажирських перевезень. В умовах використання нових зразків швидкісного рухомого складу це надасть можливість знизити експлуатаційні витрати та реалізувати на даній основі перспективну систему організації руху на основі принципів пасажирської логістики.

Список використаних джерел

1. Обсяг пасажирських перевезень в Україні снизився [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zatramvaj.org.ua/anonsu/Obem-passazhirskih-perevozk-v-Ukraine-snizilsya>.
2. Копитко, В. І. Маркетинго-логістичний підхід в організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vuzlib.org/>.
3. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/>.
4. Константінов, Д. В. Удосконалення технології організації приміських перевезень [Текст] / Т.В. Буцько, Д.В. Константінов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 15–23.
5. Константінов, Д. В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого моделювання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у приміському сполученні [Текст] / Д.В. Константінов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 68–81.
6. Константінов, Д. В. Моделювання оперативного регулювання маршрутами приміського руху на основі нечіткої логіки та нейронних мереж [Текст] / Т.В. Буцько, Д.В. Константінов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №1(80)'. – С. 13–19.
7. Константінов, Д. В. Удосконалення організації маршрутів прямування приміських пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Д. В. Константінов, Д. О. Бурлакова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 131. – С. 149–157.
8. Буцько, Т. В. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації [Текст] / Т.В. Буцько, А.В. Прохорченко, Л.О. Пархоменко [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2011. – № 54. – С. 67-70.
9. Fröidh, O. Competition on the tracks – Passengers' response to deregulation of interregional rail services [Text] / Oscar Fröidh, Camilla Byström // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – October 2013. – Volume 56. – Pages 1–10.

10. Fröidh, O. The impact of market opening on the supply of interregional train services [Text] / Oscar Fröidh, Bo-Lennart Nelldal // Journal of Transport Geography. – June 2015. – Volume 46. – Pages 189–200.

Константинов Денис Володимирович, канд. техн. наук, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Івань Ольга Миронівна, студентка групи МЗ-ТЕМПУС-ОПУТ-Б-15 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0976777033. E-mail: lolichka2904@gmail.com.

Konstantinov Denis Volodimirovich cand. of techn. sciences, Department of operational work Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Ivat Olga Mironivna student of group MZ-TEMPUS-OPUT-B-15 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0976777033. E-mail: lolichka2904@gmail.com.

Стаття прийнята 26.09.2016 р.

УДК 656.22

УДОСКОНАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ

Канд. техн. наук О. А. Малахова, А. О. Губіна, А. С. Некрасова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ РАСПИСАНИЙ

Канд. техн. наук О. А. Малахова, А. А. Губина, А. С. Некрасова

IMPROVEMENT PASSENGER TRAFFIC BY RAILROAD TRANSPORT EN USING THEORY BASED ON RASPYSANYU

Cand. of Tech. Sc. O.A. Malakhova, A. O. Hubina, A. S. Nekrasova

У статті розглянуто сучасний потенціал залізничного транспорту України та світовий досвід запровадження швидкісного залізничного руху в різних країнах світу. Описано світові моделі реформування залізничного транспорту і напрямки реформування залізничного транспорту в Україні. Також проаналізовано сучасний стан швидкісних поїздів. Для підвищення ефективності функціонування українського залізничного транспорту підтверджено необхідність вирішення нагальних завдань сьогодення. Періодичність курсування, час відправлення та прибуття поїздів запропоновано визначати на основі теорії розкладів.

Ключові слова: залізничний транспорт, швидкісний рух, прискорений рух, реформування залізничного транспорту, підвищення конкурентоспроможності, пасажир.

В статье рассмотрен современный потенциал железнодорожного транспорта Украины и мировой опыт внедрения скоростного железнодорожного движения в разных странах мира. Описаны мировые модели реформирования железнодорожного транспорта и

направлення реформування залізничного транспорту в Україні. Також проаналізовано сучасне становище швидкісних поїздів. Для підвищення ефективності функціонування українського залізничного транспорту підтверджено необхідність рішення насущних завдань сучасності. Періодичність курсування, час відправлення і прибуття поїздів пропонується визначати на основі теорії розкладів.

Ключевые слова: залізничний транспорт, швидкісне рухання, прискорене рухання, реформування залізничного транспорту, підвищення конкурентоспроможності, пасажир.

In the article the modern potential of Railway Transport of Ukraine and the world experience of introduction of high-speed rail traffic around the world. Described global model railway reform and the direction of the reform of rail transport in Ukraine. the current state of high-speed trains are also analyzed. To improve the efficiency of the Ukrainian railway transport confirmed the need to address the pressing problems of our time. Periodchnost cruising, time of departure and arrival of trains proposed to determine on the basis of scheduling problems. The theory of schedules allows you to build and analyze mathematical models of the scheduling (ie, ordering in time) of the various targeted action based on objective function and various restrictions, which include the development and time of departure and arrival of passenger trains on high-speed highways. The "optimal" refers to the minimum or maximum value of which the objective function. Feasible schedule is understood in terms of its feasibility and optimal - in the sense of its feasibility.

Keywords: rail, high-speed traffic, speeding, reform of rail transport competitiveness, passenger.

Вступ. В умовах трансформації світового господарства, переходу на новий рівень економічних відносин значно підвищується роль факторів забезпечення конкурентоспроможності. При цьому ще й викликане економічною кризою падіння обсягів перевезень пасажирів і вантажів значно посилює конкурентну боротьбу на ринку транспортних послуг. Саме тому в умовах конкурентного середовища головним завданням підприємств залишається намагання володіти найбільш оптимальним набором конкурентних переваг, тобто тими засобами, за рахунок яких воно зможе досягти найбільш вигідного положення на ринку транспортних послуг.

На сучасному етапі розвитку України залізничний транспорт України є однією з найважливіших галузей виробничої інфраструктури національної економіки – основною гілкою розвитку транспортної системи України. Розвиток залізничного транспорту України пов'язаний з

реалізацією важливих рішень, серед яких неминуче стратегічне та перспективне реформування галузі залізничного транспорту України та впровадження великомасштабних інноваційних проектів розвитку галузі. Найбільш актуальною сьогодні є організація високошвидкісного пасажирського руху залізничного транспорту для мобільності та легкості пересування громадян по всій території України. Відповідно майбутнє пасажирських перевезень на залізничному транспорті України залежить від подальшого розвитку і удосконалення швидкісних магістралей і створення високошвидкісних залізничних магістралей. Такі нововведення є досить дорогими, але вони допоможуть підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту серед інших видів транспорту в Україні. Саме такий шлях дасть можливість галузі залізничного транспорту зберегти й найефективніше використовувати існуючий науково-технічний потенціал для

структурних і технологічних змін і збереження конкурентних переваг перед іншими видами транспорту.

Розвиток залізничного транспорту спрямований на забезпечення зростаючих потреб у перевезеннях вантажів і пасажирів в умовах зростаючої економіки України за дотримання високих стандартів якості в обслуговуванні споживачів. Це можливо на основі ефективного функціонування й модернізації залізничного транспорту, постійного оновлення техніки, впровадження сучасних технологій обслуговування, вдосконалення процесів організації праці й управління на залізничному транспорті та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реформування залізничного транспорту перш за все проводиться з метою фінансової стабільності залізничних компаній. Так, у роботі [1] показано, що реформа на залізницях Європи проводилася для підвищення конкурентоспроможності як на внутрішньому ринку залізничних транспортних послуг, так і у змішаних перевезеннях. Після реформування транспортна система стала більш відкритою та доступною для користувачів. У роботі [2] відображено розвиток високошвидкісних магістралей (ВСМ) – інструмент для економічної інтеграції досягнень економік Китаю та Європейської Співдружності. Розвиток ВСМ призвів до зміни структури пасажиропотоків [3]. Так, частина пасажиропотоку, що користувалась авіаційним транспортом на невеликих відстанях, почала переважно користуватися найменш витратним залізничним при збереженні авіаційних перевезень на великі відстані. Автор роботи [4] показав, як високошвидкісні магістралі впливають як на національну економіку Китаю в цілому, так і на міський і регіональний розвиток зокрема. Для високошвидкісних магістралей важливим завданням є визначення часу відправлення поїздів. Тому при розробленні графіків руху [5] необхідно враховувати вимоги пасажирів

щодо часу відправлення швидкісних поїздів і графіка руху пасажирських поїздів інших категорій (приміських, міських).

Дослідження з розвитку високошвидкісних магістралей проведено і в роботах вітчизняних авторів, зокрема ефективність впровадження швидкісного руху на залізницях України закладено в праці Г. Кірпи [6]; комплексні результати оцінювання ефективності впровадження швидкісного руху викладені В. Диканем та Ю. Пащенко [7]. Продовжуються дослідження щодо визначення розмірів економії поточних витрат при впровадженні швидкісного руху І. Корженевичем, М. Курганом, Ю. Барашем [8]; аналіз напрямків впровадження швидкісних пасажирських перевезень в Україні та їх недоліки (Н.О. Божок) [9].

Мета дослідження – удосконалення пасажирських перевезень шляхом розвитку швидкісного руху на основі теорії розкладів. Завдання дослідження полягають в аналізі існуючих завдань галузі залізничного транспорту в Україні та визначенні перспективи розвитку шляхом організації та розвитку світового досвіду при переміщенні пасажирів у швидкісних поїздах; формалізації визначення графіків відправлення пасажирів на основі теорії розкладів.

Об'єкт дослідження – організація швидкісного руху на залізничній мережі України.

Предмет дослідження – модернізація галузі залізничного транспорту в Україні.

Викладення основного матеріалу. Транспортна система України представлена розгалуженою мережею автомобільних і залізничних магістралей, трубопроводів, морським, річковим і повітряним видами, які взаємодіють між собою, утворюють єдину транспортну систему держави. При цьому кожен із цих видів транспорту має власну унікальність і техніко-експлуатаційні особливості, які є одночасно конкурентними перевагами кожного з них.

Динаміка вантажообігу та пасажирообороту свідчить, що основним конкурентом залізничного транспорту при транспортуванні вантажів і перевезенні пасажирів на ринку транспортних послуг України виступає автомобільний, що обумовлено розгалуженою мережею автомобільних доріг, значна частина яких пролягає паралельно залізничному полотну. При цьому чітко простежується сегментація ринку: якщо у вантажних перевезеннях залізничний транспорт займає лідируючі позиції, то в пасажирському русі значно поступається автомобільному транспорту. Однак у питаннях швидкості перевезення пасажирів основну конкуренцію залізничному транспорту складає авіаційний транспорт.

На сьогодні Україна має досить розвинуту мережу залізниць. Розвинута залізнична інфраструктура – одна з небагатьох переваг України. З її загальної експлуатаційної протяжності в 22,05 тис. км 67,5 % становлять одноколіїні ділянки; 32,5 – двоколіїні і триколіїні. За звітом про глобальну конкурентоспроможність (The Global Competitiveness Report 2013-2014), за критерієм оцінки залізничної інфраструктури наша країна займає 25-те місце у світі, випереджаючи Росію (31-ше) і Польщу (70-те). Але хронічна нестача грошей на модернізацію з кожним роком робить вітчизняні залізничні перевезення все менш конкурентоспроможними. Значно підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту можна, впроваджуючи та розвиваючи так званий прискорений рух (до 160 км/год) на основі існуючих колій.

З 1 січня 2014 року в Україні курсують 10 швидкісних поїздів “ІНТЕРСІТІ+” з рухомим складом корейського виробництва HYUNDAI та два поїзди “ІНТЕРСІТІ” чеського виробництва “SKODA”. Максимальна швидкість обох видів рухомого складу становить 160 км/год. Найбільшим попитом користуються поїзди “ІНТЕРСІТІ+”, що

курсують між Києвом і Харковом. На цьому напрямку курсують 3 швидкісні поїзди. Висока середня населеність поїздів пояснюється малим терміном поїздки (4 год 36 хв – 4 год 48хв) і зручним графіком руху. На напрямку Київ – Дніпропетровськ – Київ поїзд “ІНТЕРСІТІ+” їде швидше, ніж нічний швидкий поїзд, у 1,5 разу. Але оскільки до Києва здійснюють переважно ділові поїздки, то прибуття денним поїздом до столиці майже о 13.00 є незручним, оскільки людина може не встигнути завершити поїздку за один день. За таких умов зручнішим є нічний швидкий поїзд, який прибуває в Київ о 7.00 годині ранку [7]. Перехід на перевезення пасажирів поїздами “ІНТЕРСІТІ+” стримується наявною кількістю швидкісних поїздів. Також на деяких напрямках денні швидкісні поїзди не можуть скласти конкуренцію нічним швидким поїздам. Причиною низької населеності денних швидкісних поїздів є незручний графік їх курсування, значна тривалість поїздки, висока вартість проїзду.

Підвищення швидкості руху пасажирських поїздів було і залишається однією з основних проблем розвитку залізниць у всіх індустріально розвинутих країнах світу, що викликано прагненням забезпечити масові перевезення пасажирів у регіонах з високою щільністю населення; бажанням скоротити час поїздок пасажирів; необхідністю збільшення провізної здатності існуючих залізничних ліній, економії ресурсів. Світовий досвід свідчить, що підвищення швидкості руху поїздів реалізується поетапно: під швидкісний рух реконструюються існуючі залізничні магістралі, при цьому максимальна швидкість руху пасажирських поїздів не перевищує 160-200 км/год; створюються високошвидкісні спеціалізовані залізничні магістралі, які передбачають можливість руху пасажирських поїздів зі швидкістю 200-350 км/год.

Високошвидкісні залізниці (що також називаються Lignes Grande Vitesse, або

швидкісні лінії LGV) визначаються Міжнародним союзом залізниць і ЄС як стандартні з допустимою максимальною швидкістю понад 200 км/год або як нові лінії з передбаченою максимальною швидкістю понад 250 км/год.

Усі високошвидкісні залізниці типу LGV Великобританії, Франції, Німеччини, Бельгії, Нідерландів, Іспанії та Італії, прокладені протягом останніх 30 років, мають проектну швидкість лінії 300 км/год або більше. Світовий рекорд швидкості належить Японському составу «Маглев», 21 квітня 2015 року на спеціальній дільниці під час випробувань у префектурі Яманасі поїзд зміг розвинути швидкість 603 км/год, на борту був тільки машиніст. На сьогоднішній день Shinkansen є одним з найшвидших поїздів на комерційних маршрутах, його швидкість становить 443 км/год. Першим за швидкістю серед рейкових поїздів, але другим в абсолютному заліку, на планеті (на 2015 рік) є французький TGV POS. Дивним є те, що в момент фіксації рекорду швидкості поїзд розігнали до вражаючої цифри в 574,8 км/год, при цьому журналісти та обслуговуючий персонал були на борту. Але навіть з урахуванням світового рекорду швидкість поїзда при русі по комерційних маршрутах не перевищує 320 км/год.

На таких високошвидкісних лініях зазвичай нема вантажних перевезень, але є поодинокі випадки легких, наприклад пошти і посилок, вантажних перевезень, які створюють навантаження на вісь, порівнянне з пасажирськими поїздами, і дозволяється на цих залізницях. Ще один рекорд родом з Китаю - поїзд з неймовірно милозвучною назвою «CRH380A». Максимальна швидкість на маршруті 380 км/год, а максимально зафіксований результат 486,1 км/год. Примітно, що даний високошвидкісний поїзд зібраний і випущений повністю спираючись на Китайські виробничі потужності. Поїзд

перевозить майже 500 пасажирів, а посадка реалізована як у літаку.

Загальна протяжність високошвидкісних залізничних магістралей у світі зараз 7000 км, зокрема 3750 км у Європі, причому високошвидкісні поїзди обслуговують також полігон протяжністю близько 20 тис. км звичайних залізничних ліній, реконструйованих під швидкісний рух. Але процес проектування й будівництва нових ліній високошвидкісного руху не припиняється: так, поряд з розвитком високошвидкісної залізничної мережі Південної Європи, довжина якої до 2020 року може становити приблизно 10 тис. км, передбачається зростання кількості високошвидкісних ліній у країнах Азії. Перше місце в рейтингу високошвидкісних магістралей займає Китай, де швидкість руху перевищує 350 км/год.

У Китаї до кінця 2016 року планується будівництво високошвидкісних ліній залізниць протяжністю близько 45 тис. км. Влада Китаю планує повністю пов'язати країну ще з 17 державами. Це надасть Китаю статусу світового лідера в галузі швидкісних залізничних перевезень, а протяжність високошвидкісних залізничних магістралей у країні перевищить 50 % загального обсягу подібних магістралей у всьому світі. Сьогодні Китай відмовився від ідеї повсюдного будівництва високошвидкісних магістралей і залучив нову стратегію, спрямовану на розвиток магістралей із різною швидкістю руху. Незважаючи на комфортабельність високошвидкісних експресів, вони виявляються недоступними для великої категорії людей з низьким рівнем доходів. На відносно коротких маршрутах перевага високошвидкісних поїздів зовсім нівелюється високою вартістю проїзду. Поява поїздів з різними швидкостями руху дасть змогу пасажирам купувати дешевші квитки на "повільні" поїзди, а також збільшить кількість зупинок.

На противагу поширеній думці, залізниці зберігають свої позиції на ринку при часі поїздки, що перевищує 3 год. Їх частка становить 40-50 % на маршруті Париж-Амстердам (час поїздки 4 год), 20-30 % на маршрутах Париж – Тулон, Париж – Тулуза (5 год), 10-20 % на маршрутах зі часом поїздки 6-6,5 год.

Досягнення в освоєнні високих швидкостей руху призвели до появи в 1990-х роках перших планів створення європейської швидкісної залізничної мережі на основі проектів національних швидкісних ліній. Мережі швидкісних сполучень різних країн поступово інтегруються, утворюючи єдину європейську мережу. Вона має такі напрямки:

– сполучення Eurostar – за допомогою цих сполучень Великобританія отримала постійний “сухопутний” зв'язок залізниці з країнами континентальної Європи через тунель під Ла-Маншем;

– сполучення Thalys – ці сполучення пов'язують великі міста чотирьох країн: Париж, Лілль (Франція), Брюссель, Антверпен, Льєж (Бельгія), Амстердам, Гаага, Роттердам (Нідерланди), Ахен, Кельн, Дюссельдорф (Німеччина);

– сполучення Rbealys – високошвидкісний напрямок з Парижу у Страсбург, Люксембург та інші великі німецькі міста.

На відстанях від 500 до 1000 км існує інтенсивна конкуренція між залізничним і повітряним транспортом, і вирішальну роль при виборі пасажирями виду транспорту меншою мірою відіграють тривалість поїздки або польоту, а більшою – набір і якість послуг, що надаються, а також можливість адаптації до постійно змінюваних умов перевезень.

У залізничних сполучень є та перевага, що внаслідок збільшення кількості проміжних зупинок окремих поїздів (навіть з деяким невеликим збитком для маршрутної швидкості) можна охопити високошвидкісним сполученням міста, що знаходяться між кінцевими пунктами маршруту і, отже, залучити додаткових

пасажирів. Так, поїзди TGV перевозять на маршрутах між Парижем і франкомовними регіонами Швейцарії утричі більше пасажирів, ніж літаки.

Ці два види транспорту нерідко прагнуть доповнювати один одного в певних сегментах ринку транспортних послуг. Це прагнення зумовлено тим, що поєднанням різних видів транспорту може надати пасажирам можливість здійснити поїздку з більшими зручностями, ніж будь-яким з них окремо.

Для вирішення NP-складного завдання розроблення графіків руху високошвидкісних поїздів запропоновано застосування теорії розкладів. Теорія розкладів дозволяє побудувати і проаналізувати математичні моделі календарного планування (тобто упорядкування в часі) різних цілеспрямованих дій з урахуванням цільової функції і різних обмежень, до яких і належить розроблення часу відправлення і прибуття пасажирських поїздів на високошвидкісних магістралях. Під "оптимальністю" розуміється мінімальне або максимальне значення цільової функції. Допустимість розкладу розуміється в сенсі його здійсненності, а оптимальність – у сенсі його доцільності.

Для кращого розуміння проблеми деякі визначення пояснюються нижче.

1. Дільниця являє собою відсортовану пару послідовних станцій без будь-якої станції між ними. Дільниці індексуються як (a,b) станції, що вказує напрямок поїздки від a до b, а (b, a) являє собою напрямок для зворотного руху.

2. Залізничні колії – це складова інфраструктури, що зв'язує станції. У системах з високою швидкістю існують деякі припущення:

– поїзд може рухатися по кожній колії тільки в одному напрямку на дільниці;

– кожна дільниця може складатися з однієї колії або двох (трьох);

– при високошвидкісному русі використовуються системи безпеки,

засновані на контролі за положенням поїздів у кожен момент часу, а не сигнали управління, які блокуються в кожній ділянці колії. Ці припущення дозволяють ідентифікувати і спростити треки з сегментами.

3. Залізничні лінії є відсортованим набором ділянок, які являють собою картину напрямків руху множини поїздів.

4. Перевезення є визначеним маршрутом прямування поїзда до кінцевої станції по напрямку (лінії). Кожне перевезення починається при виїзді зі станції за розкладом.

З урахуванням особливостей досліджуваної проблеми ми робимо деякі припущення для залізничної інфраструктури та рухомого складу.

Припущення по залізничній інфраструктурі:

– розглядаються двоколіїні лінії. Кожна колія визначається вузлами –

станціями, і всі поїзди в цій колії повинні прямувати в тому самому напрямку;

– маршрут кожного перевезення фіксований і визначається послідовністю станцій. Не обов'язково зупинятися на всіх станціях;

– швидкість кожного поїзда визначається характеристиками напрямку в тому випадку, якщо нема попереджень, у разі наявності попереджень поїзд повинен зменшити швидкість відповідно до вказівок диспетчера;

– поїзд, який не зупиняється на станції, може обігнати поїзд, що зупинився на станції. Станції є місцем для обгону та схрещення.

На рис. 1 показані характеристики поставленого завдання. Ця мережа складається з 4 колій, 3 напрямків (ліній) і 3 станцій. Лінії 1 і 3 є однаковими за напрямком, але мають різні зупинки.

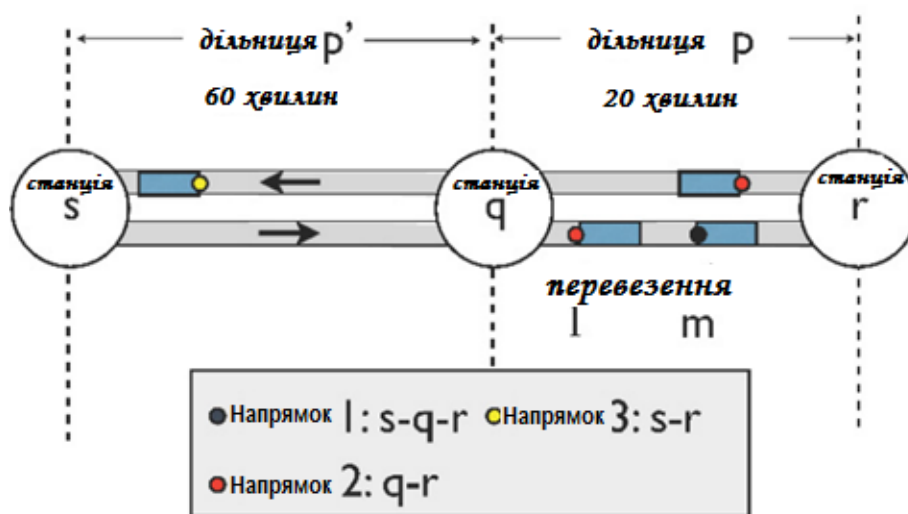


Рис. 1. Ілюстрації завдання

Припущення для рухомого складу:

– є поїзди, призначені на кожну існуючу лінію. У пропонованому прикладі поїзд 1 знаходиться на лінії 1, на лінії 2 відповідно 2 поїзди, 1 поїзд – на ділянці 3. Також припустимо, що станція, де поїзди

знаходяться під технічними операціями, є станцією призначення, відомо;

– поїзди зупиняються на станціях протягом певного часу зупинки;

– нема пріоритету між поїздами. Першим відправляється поїзд, який раніше готовий до відправлення;

– кожний поїзд k може зробити потенційну кількість перевезень;

– кожний поїзд k може мати свою композицію C , що визначає його місткість. У цьому випадку ми припускаємо існування фіктивної композиції, яка являє собою невиконану послугу $0 \in C$. Операційна вартість даної послуги дорівнює 0.

Припускаємо, що розмір парку досить великий, щоб можна було знайти оптимальне рішення за допомогою моделі оптимізації.

Крім того, ми припускаємо, що час, необхідний для виконання маневрових операцій і пов'язаних з ними експлуатаційних витрат, дорівнює 0.

Одним із завдань при організації високошвидкісного руху є визначення режиму пропускання поїздів по високошвидкісних магістралях (HSR), розклад поїздів і композиція составів. Змінні D_p^l та A_p^l є часом відправлення і прибуття при перевезенні l по колії p відповідно. Ці змінні призводять до утворення змінної Z_p^{lm} , яка визначається як

$$Z_p^{lm} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } D_p^l \leq D_p^m \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

Час прибуття та відправлення на станції визначається розкладом руху. Змінні рухомого складу визначається як

$$K_c^l = \begin{cases} 1, & \text{якщо перевезення } l \text{ здійснюється рухомим складом } c \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (2)$$

Попередні визначення подано на рис. 2.

Обмеженнями для складання математичної моделі є:

1. *Пропускна спроможність мережі.*

Обмежується виконанням залізничних технічних операцій і обгонів між поїздами.

Ці обмеження лінійно сформульовані і мають множину можливих рішень, що забезпечують час відправлення / прибуття, рівень послуг, швидкість доставки пасажирів і час стоянки за умови можливості вільного планування.

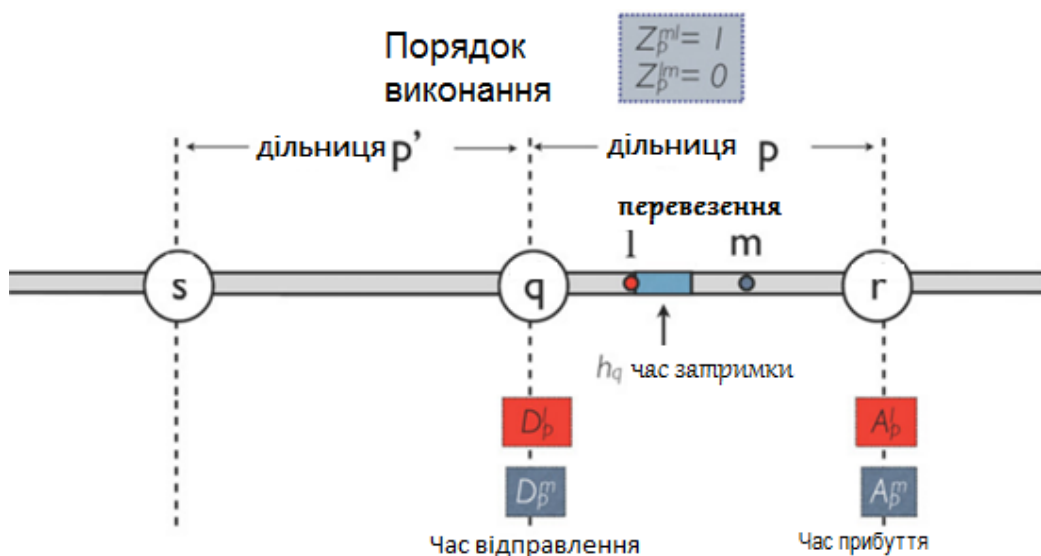


Рис. 2. Порядок організації руху поїздів по дільниці

2. Диспетчерське регулювання рухом поїздів. Послідовність відправлення поїздів має дорівнювати їх послідовності прибуття в контрольну точку (на станцію

призначення), але лише в тому випадку, якщо при прямуванні по дільниці не відбувалося обгонів [4].

$$Z_p^{lm} + Z_p^{ml} = 1; \forall p \in P; \forall l; m \in L_p; l \neq m. \quad (3)$$

3. Безпека руху поїздів по дільницях. Два перевезення l та m лініями, що перетинаються $p = (q, r)$, повинні

забезпечувати мінімальний час руху по дільниці. Це відбувається при виконанні таких умов:

$$MZ_p^{ml} + D_p^m - D_p^l \geq h_p; \forall p \in P; \forall l; m \in L_p; l \neq m, \quad (4)$$

$$MZ_p^{ml} + A_p^m - A_p^l \geq h_p; \forall p \in P; \forall l; m \in L_p; l \neq m. \quad (5)$$

Для кожної дільниці $p = (q, r)$ час проходження поїзда визначається

мінімальним (формула (4)) і максимальним (формула (5)) часом:

$$A_p^l - D_p^l \leq t_p^{-l}; \forall p \in P; \forall l \in L_p; \quad (6)$$

$$A_p^l - D_p^l \geq t_p^l; \forall p \in P; \forall l \in L_p; \quad (7)$$

Кожен поїзд повинен знаходитися на станції q визначений завчасно графіком руху час (час стоянки). В іншому випадку час знаходження буде дорівнювати нулю (прослідкування станції без зупинки). Для

кожної пари колій $(p'; p)$, що примикають до станції q , маємо $p' = (s; q)$ і $p = (q; r)$, а також для кожного перевезення P та P' знаходимо $\forall (p'; p) \in P_l$ та отримаємо

$$D_p^l - A_{p'}^l \leq t_q^{-l}; \forall l \in L; \forall (p'; p) \in P_l; \forall q \in Q_l, \quad (8)$$

$$D_p^l - A_{p'}^l \leq t_q^l; \forall l \in L; \forall (p'; p) \in P_l; \forall q \in Q_l, \quad (9)$$

$$D_p^l - A_{p'}^l = 0; \forall l \in L; \forall (p'; p) \in P_l; \forall q \notin Q_l. \quad (10)$$

Обмеження (9) встановлює максимальний час зупинки на станції. Це обмеження має важливе значення для організації пропускання високошвидкісних поїздів, у яких час прямування по дільниці нижче порівняно з іншими типами поїздів.

В Україні високошвидкісний рух (до 300 км/год) навряд чи буде можливий у близькому майбутньому [9]. Для таких швидкостей потрібна окрема лінія, де руху поїздів не заважатимуть ні перетини з іншими магістралями, ні велика кількість

поворотів малого радіуса. Її будівництво, враховуючи міжнародний досвід, коштуватиме кілька десятків, якщо не сотень, мільярдів доларів.

Тому найперспективніше для залізничного транспорту України розвивати так званий прискорений рух (до 160 км/год) на основі існуючого колійного розвитку. Йдеться про поступове впровадження швидкісного руху з адаптацією до нових вимог нинішньої інфраструктури.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розглядаючи світовий досвід для підвищення ефективності функціонування Українського залізничного транспорту, сьогодні потрібно:

- розвивати прискорений рух (до 160 км/год) на основі наявних шляхів;
- підвищити швидкість руху пасажирських поїздів до 200 км/год, для чого необхідно технічно переоснастити колійне господарство з подальшою механізацією його технологічних процесів;
- впроваджувати високошвидкісний рух, для чого потрібно побудувати окрему нову колію, яка передбачає можливість

руху пасажирських поїздів зі швидкістю 200-350 км/год. Для цього мають бути задіяні потужності як підприємств залізничного транспорту, так і сторонніх організацій;

- розділити вантажні і пасажирські потоки.

Для підвищення конкурентоспроможності швидкісних поїздів “ІНТЕРСІТІ+” необхідно виконати:

- зниження терміну подорожі;
- оптимізувати графіка руху швидкісних поїздів, у тому числі і за рахунок вирішення NP-складного завдання за допомогою теорії розкладів;
- розширити мережі швидкісних магістралей по всій території України;
- оптимізувати величини тарифів з метою залучення до швидкісних перевезень додаткових пасажирів.

Головним напрямом розвитку залізничного транспорту України є створення, а надалі й удосконалення швидкісних, а згодом і високошвидкісних магістралей. Це створить ряд конкурентних переваг не лише залізничного транспорту, а і всієї економіки країни внаслідок збільшення пасажирообороту.

Список використаних джерел

1. Grushevskaya, K. Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways [Text] / Kateryna Grushevskaya, Theo Notteboom, Andrii Shkliar// Transport Policy, Volume 46, February 2016, P. 7-19.
2. Cheng, Y. High-speed rail networks, economic integration and regional specialisation in China and Europe [Text] / Yuk-shing Cheng, Becky P.Y. Loo, Roger Vickerman// Travel Behaviour and Society, Volume 2, Issue 1, January 2015, P. 1-14.
3. Clewlow, R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / Regina R. Clewlow, Joseph M. Sussman, Hamsa Balakrishnan// Transport Policy, Volume 33, May 2014, P. 136-143.
4. Chen, C. Reshaping Chinese space-economy through high-speed trains: opportunities and challenges [Text] / Chia-Lin Chen// Journal of Transport Geography, Volume 22, May 2012, P. 312-316.
5. Espinosa-Aranda, J.L. Train Scheduling and Rolling Stock Assignment in High Speed Trains [Text] / José Luis Espinosa-Aranda, Ricardo García-Ródenas, Luis Cadarso, Ángel Marín// Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 160, 19 December 2014, P. 45-54.
6. Кірта, Г. Інтеграція залізничного транспорту України в Європейську транспортну систему [Текст]: [монографія] / Георгій Кірта. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2004. – 248 с.
7. Інтегральна ефективність швидкісних залізничних магістралей [Текст]: монографія / Ю.Є. Пашенко, М.Ю. Гончаров, Й.М. Кранц, В.О. Пилипчик [та ін.]; за ред. С.І. Дорогунцова. – К.: РВПС України НАН України, 2005. – 266 с.

8. Дикань, В. Л. Скоростное движение железнодорожного транспорта в мире и перспективы его развития в Украине [Текст] / В.Л. Дикань // Вісник економіки транспорту та промисловості. – 2010. – № 32. – С. 15–25.

9. Божок, Н. О. Нарямки впровадження швидкісних пасажирських перевезень в Україні [Текст] / Н.О. Божок // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С. 46-56.

Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 066-341-84-81.
E-mail: alena.mal31@gmail.com.

Губіна Алла Олександрівна, слухач ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 050-251-16-61. E-mail: allakitkit@gmail.com.

Некрасова Анастасія Сергеевна, слухач ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +7-950-717-49-34.

Malakhova Olena, Cand. of Tech. Sc, assistant professor of management operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: alena.mal31@gmail.com.

Hubina Alla, the listener IPPK Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-251-16-61.
E-mail: allakitkit@gmail.com.

Nekrasova Anastasia, the listener IPPK Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +7-950-717-49-34.

Стаття прийнята 26.09.2016 р.

УДК 629.4.02

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ І ВИБІР СТРУМОПРИЙМАЧІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Канд. техн. наук А. М. Зіньківський, М. Л. Беляков

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ И ВЫБОР ТОКОПРИЕМНИКОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук А. Н. Зиньковский, М. Л. Беляков

ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE OF DECISIONS AND CHOICE OF ROLLING STOCK RUNNING CONTACT FOR OPERATION IN HIGH-SPEED TRAFFIC

Cand. of techn. sciences A. Zinkivskyi, M. Belyakov

У статті проведено аналіз різних типів струмоприймачів високошвидкісного рухомого складу, який експлуатується на магістральних залізницях європейських країн. Визначено переваги та недоліки різних варіантів конструкції струмоприймачів. Встановлено основні причини відривання пантографів від контактного проводу, наслідки та методи запобігання даному явищу. Визначено принципи оцінки якості роботи струмоприймачів. Запропоновано варіанти вибору конструкції струмоприймачів для різних швидкостей руху.

Ключові слова: струмоприймач, контактний провід, полоз, високошвидкісний рух, контактне натискання.

В статье проведен анализ различных типов токоприемников высокоскоростного подвижного состава, эксплуатируемого на магистральных железных дорогах европейских стран. Определены преимущества и недостатки различных вариантов конструкции токоприемников. Установлены основные причины отрыва пантографов от контактного провода, последствия и методы предотвращения данного явления. Определены принципы оценки качества работы токоприемников. Предложены варианты выбора конструкции токоприемников для различных скоростей движения.

Ключевые слова: токоприемник, контактный провод, полз, высокоскоростное движение, контактное нажатие.

The article set the appointment and conducted a technical analysis of the various types of locomotive pantographs high-speed rolling stock designed for maintenance of passenger trains on the main railway European roads. The advantages and disadvantages of various options of design solutions for current collectors. The basic types of failures in the pantographs, among which is the separation of pantograph on the contact wire during the movement, the lack of pressure on the contact wire. The probable consequences and methods of prevention of this phenomenon. Defined principles for evaluating the quality of the current collectors and tokosëma process and factors to be taken into account for their normal operation. Materials are considered optimal for the production of various elements of pantographs. A choice of optimal designs for current collectors of different speeds.

Keywords: pantograph, the contact wire, slide, high-speed movement, contact pressure.

Вступ. Забезпечення електричного рухомого складу якісним струмозніманням є одним з найскладніших завдань у ланцюзі електропостачання. Досвід експлуатації високошвидкісних магістралей за кордоном показав, що забезпечення надійної взаємодії рухомого струмоприймача і контактної підвіски є таким же складним технічним завданням, як і забезпечення надійної взаємодії рухомого екіпажа з рейками. Надійність і необхідна якість струмознімання визначаються швидкістю руху електрорухомого складу і конструктивними параметрами контактної підвіски і струмоприймача, а їх взаємодія являє собою складний коливальний процес, що викликає різну інтенсивність механічного та електричного зношування контактного проводу і струмознімальних елементів. На цей коливальний процес, у якому беруть участь різнорідні коливальні системи, впливають коливання кузова локомотива і автоколивання проводів контактної підвіски, викликані повітряним потоком. Всі ці коливання накладаються одне на одне, коливальні процеси мають

різні амплітуди і спектр частот, а часто і напрямок поширення хвиль.

Для забезпечення високошвидкісного руху на електричний рухомий склад (ЕРС) з контактної мережі необхідно подати за допомогою струмоприймачів електричну енергію сумарною потужністю до 20000 кВт.

Збільшення потужності для високошвидкісних магістралей (ВШМ) обумовлені тим, що при збільшенні швидкості квадратично зростає аеродинамічна складова основного опору руху [1]. Так, якщо при швидкості 120-140 км/год основний питомий опір руху звичайних пасажирських поїздів не перевищує 4 кгс/т, то для високошвидкісного ЕРС (250-300 км/год) він становить 10-17 кгс/т. Відповідно до цього для реалізації високих швидкостей руху потрібно істотно більша питома потужність поїзда [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У джерелах [1, 2, 8] розглянуто основну конструкцію та матеріали, з яких виготовляються елементи локомотивних струмоприймачів (пантографів) і

контактної мережі для більш якісної та надійної їх взаємодії, у нормативних документах [9] встановлено основні параметри локомотивних засобів струмознімання та запропоновано системи спостереження для підтримання необхідного рівня надійності в роботі. У публікаціях [3-5] проводиться огляд та аналіз пантографів високошвидкісного рухомого складу країн, що його експлуатують. У дослідженнях [6, 7, 10-14] за результатами аналізу встановлено результати експлуатації пар тертя, запропоновано рекомендації з подальшої експлуатації з урахуванням експлуатаційних зносів і підтримання надійності.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою та завданням дослідження є аналіз роботи електрорухомого складу різних типів в умовах високошвидкісного руху для вибору пантографа з найбільш оптимальними технічними параметрами.

Основна частина дослідження, отримана в результаті дослідження. Питання забезпечення надійної роботи елементів, що беруть участь у струмозніманні за допомогою змінного електричного контакту при системі тяги постійного струму напругою 3 кВ, є досить складним. Дослідні швидкісні поїздки на залізницях у Франції в середині 50-х років минулого століття остаточно підтвердили

висновок про те, що живлення постійним струмом напругою 3 кВ вимагає забезпечення струмознімання на один пантограф зі струмом 2500 А, а отже, роботу електропоїзда з декількома струмоприймачами.

При живленні змінним струмом напругою 25 кВ знайдено цілком прийнятні конструктивні рішення, як з боку контактної мережі, так і з боку струмоприймача [1-14].

Систему «контактний провід – струмоприймач» необхідно розглядати комплексно, звертаючи увагу на конструктивні характеристики контактної підвіски і струмоприймача за умовами динаміки взаємодії в зазначеній системі.

На електрифікованих залізницях, призначених для високошвидкісного руху, застосовується контактна мережа з верхнім розташуванням контактного проводу над коліями (рис. 1).

Однією з проблем при русі з високими швидкостями є забезпечення надійного струмознімання. Зі збільшенням швидкості руху підйом контактного проводу зростає в геометричній прогресії і вже при швидкостях 300 км/год може досягати граничних значень.

Другим елементом контактної системи «контактний провід – струмоприймач» є струмоприймач (рис. 2).

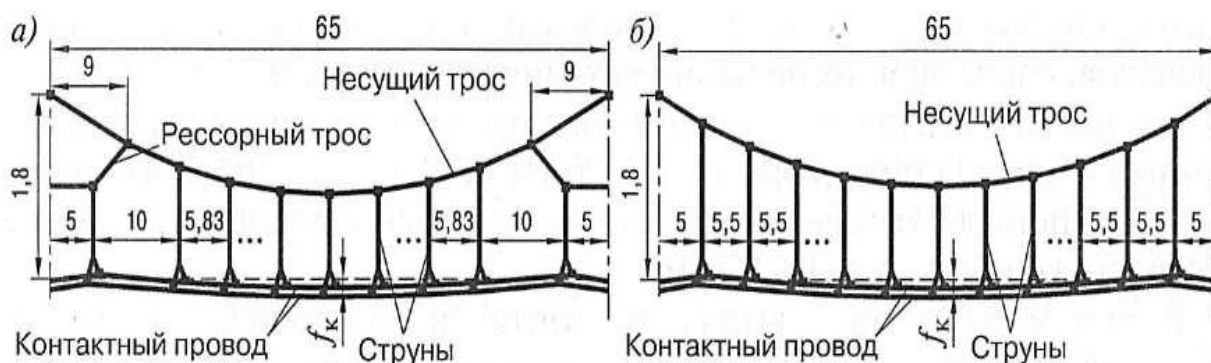


Рис. 1. Залізнична контактна мережа для високошвидкісного руху:
 а – ресорна підвіска контактного проводу;
 б – нересорна підвіска контактного проводу

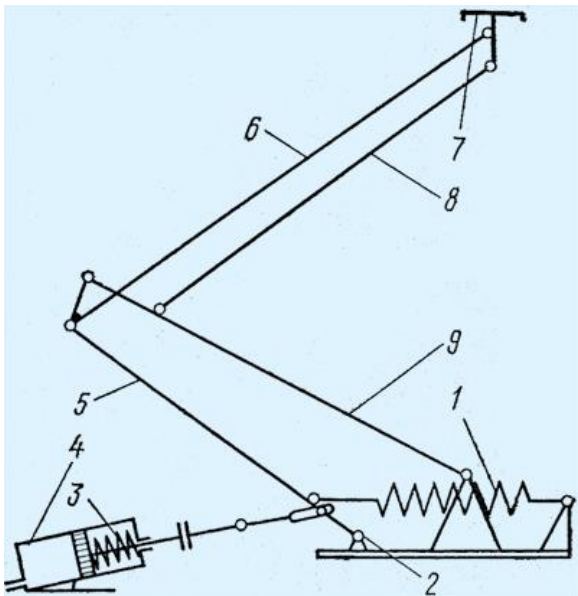


Рис. 2. Загальна схема асиметричного струмоприймача:

1 – піднімальна пружина; 2 – головний вал; 3 – опускальна пружина; 4 – циліндр привода; 5 – головний важіль; 6 – труба верхньої рами; 7 – полоз (лижа); 8 – позадвжняя труба; 9 – управляюча штанга

При русі електрорухомого складу (ЕРС) повинні бути виключені удари струмоприймача з елементами підвіски в результаті їх динамічних переміщень. На електровозах і моторних вагонах електропоїздів у країнах СНД і ряді інших держав застосовують струмоприймачі пантографного типу. Їх часто називають пантографами.

Струмоприймачі повинні забезпечувати стійкий контакт з проводом. Тому сила натискання полоза на провід повинна бути досить великою, проте її не можна збільшувати вище певної межі, оскільки велика сила призводить до відтискання контактної провуду, його підвищеного зносу, зносу контактних деталей струмоприймача.

Найбільш поширеними для високошвидкісного руху є асиметричні струмоприймачі (пантографи). Такий струмоприймач являє собою багатоважільний механізм з шарнірно-зчленованих трубчастих рам.

Переваги асиметричного струмоприймача перед звичайним пантографом: менша маса; коливання струмоприймача при русі менше розгойдують елементи контактної мережі, що забезпечує краще притискання полоза струмоприймача до контактної провуду краще струмознімання; потрібно менше місця на даху, що полегшує розміщення дахового обладнання. Деякі види електричного рухомого складу, розраховані на роботу з декількома системами електроживлення, мають різні пантографи для різних видів струму живлення; менша матеріаломісткість; потреба в менш потужному приводі для піднімання і опускання струмоприймача.

Важливим фактором надійного і якісного струмознімання є сила і сталість контактної натискання в усіх точках підвіски і у всьому діапазоні швидкостей руху ЕРС і величина тягового струму. Відривання струмоприймача від контактної провуду навіть на кілька мілісекунд призводить до іскріння, а порушення ковзного контакту на більш тривалий час – до утворення електричної дуги. Іскріння і особливо електрична дуга знижують стійкість роботи електрообладнання ЕРС. Вони також підвищують рівень перешкод у системі поїзного радіозв'язку і пристроях зв'язку, розташованих поблизу залізниці. Електрична дуга призводить до місцевого перегріву контактної провуду, що у свою чергу обумовлює відпал міді, зміну її структури, механічних та електричних властивостей і, отже, істотно знижує термін служби контактних провудів і погіршує в цілому характеристики контактної підвіски. Сильна дуга може перепалити контактний провід і знеструмити ЕРС. Електричне зношування контактних провудів і струмознімальних елементів призводить до збільшення витрат на утримання і ремонт контактної підвіски струмоприймачів. Тому чим менше коефіцієнт відриву кот полоза струмоприймача від контактної провуду, тим вище якість струмознімання і менше

електричне зношування контактного проводу.

Коефіцієнт відриву k_{OT} визначається з рівняння

$$k_{OT} = \frac{t_{OT}}{t} 100, \quad (1)$$

де t_{OT} – сумарний час відриву полоза струмоприймача від контактної проводу;

t – час проходження струмоприймачем даної ділянки.

Максимально допустимий коефіцієнт відриву t_{OT} полоза струмоприймача становить на залізницях Японії – 3 % при швидкості 300 км/год, Англії – 1 % при 160 км/год, Франції – 2 % при 270 км/год, США – 1 %.

Основним показником якості струмознімання, визначеним на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, є коефіцієнт зміни контактної натискання. Він являє собою найбільше значення з двох:

$$\begin{cases} n' = \frac{P_{max} - (P_0 + P_y)}{P_0 + P_y} \\ n'' = \frac{(P_0 + P_y) - P_{min}}{P_0 + P_y} \end{cases} \quad (2)$$

де P_0 – статичне натискання струмоприймача, що дорівнює напівсумі середнього активного і середнього пасивного натискання;

P_y – аеродинамічна підйомна сила струмоприймача;

P_{max} і P_{min} – відповідно максимальні і мінімальні значення контактної натискання.

Якість струмознімання оцінюється за значенням середньоквадратичного відхилення натискання:

$$\sigma[P] = \sqrt{\sum_{i=1}^n [P_i - m(P)]^2 \cdot \frac{n_i}{n}}, \quad (3)$$

де P_i – середнє значення контактної натискання в інтервалі i ;

n_i – кількість випадків з натисканням P_i ;

n – загальна кількість випадків (інтервалів).

$$m(P) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{n_i}{n}. \quad (4)$$

Якість струмознімання, як зазначалося вище, залежить від сталості натискання контактними пластинами полоза струмоприймача на контактний провід, і чим менше різниця в значеннях максимальної та мінімальної сили натискання, тим менше амплітуда коливання сил натискання в прогоні. При малих амплітудах коливання контактної натискання його динамічна складова має незначний вплив на сумарну величину контактних натискань і, отже, не погіршує якість струмознімання. Сталість контактної натискання особливо важлива на високошвидкісних залізницях.

Сили, що діють у контакті, не можуть бути виміряні безпосередньо в точці натискання контактних пластин на контактний провід. Для вирішення цього завдання розроблено різні методи, відповідно до яких контактне натискання P в найпростішому випадку можна визначити як суму активних $P_{ак}$ та інерційних (пасивних) P_i сил, одночасно діючих на полоз:

$$P = P_{ак} + (-P_i). \quad (5)$$

Під дією сил $P_{ак}$, спрямованих вгору, контактні пластин притискаються до контактної проводу; сили P_i діють у зворотному напрямі. Величину цих сил визначають як суму сил, що діють на чотири кути полоза:

$$P_{ак} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (6)$$

$$P_{II} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4}{4} (m_1 + m_2 + m_3 + m_4), \quad (7)$$

де $P_1 \dots P_4$ – сили, що діють вертикально вгору на кожен кут полоза;

$z_1 \dots z_4$ – прискорення рухомих вгору і вниз кутів полоза;

$m_1 \dots m_4$ – маса кожного кута полоза.

Розподіл активних сил ($P_1 \dots P_4$) і маси кутів полоза ($m_1 \dots m_4$), а також залежність сили контактного натискання P від положення контактної провуду відносно полоза виглядають, як зображено на рис. 3.

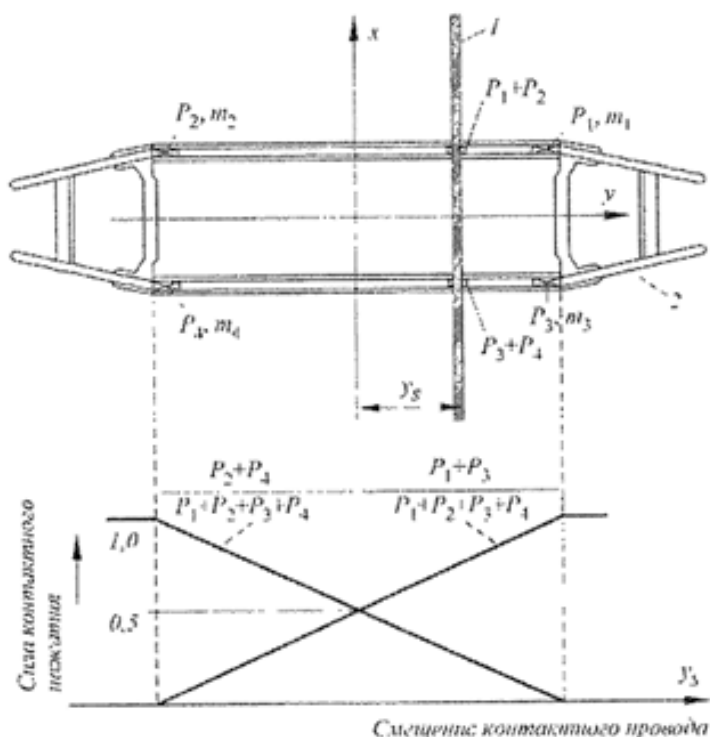


Рис. 3. Схематичне зображення сили контактної натискання залежно від розташування контактної провуду відносно полоза і розподіл активних сил і маси кутів полоза:

1 – контактний провід; 2 – полоз струмоприймача;

$P_1 \dots P_4$ – розподіл активних сил; $m_1 \dots m_4$ – маса кутів полоза

На контактне натискання крім зазначених сил, діють ще й інші сили, урахування яких особливо важливе при високошвидкісному русі. Для якісного струмознімання і зменшення інтенсивності електричного та механічного зношування контактних провудів встановлено межі статичного і динамічного контактної натискання. На залізницях змінного струму

контактне натискання рухомих струмоприймачем має бути в межах від 40 до 200 Н, на залізницях постійного струму – від 60 до 300 Н. Нижня межа визначається натисканням, при якому контактні пластини за жодних умов не повинні відриватися від контактної провуду. Верхня межа встановлена з урахуванням того, щоб струмоприймач, натискаючи

знизу вгору, не зачіпав деталі на контактній підвісці.

Вивчення взаємодії контактної підвіски з рухомих струмоприймачем показує, що зі збільшенням швидкості руху сила динамічного контактного натискання істотно зростає (рис. 4) і, отже, зростає

інтенсивність зносу контактних проводів і струмознімальних елементів. Контактне натискання зі збільшенням швидкості v має зростати за певним законом, тоді механічне та електричне зношування контактного проводу і струмознімальних елементів буде мінімальним.

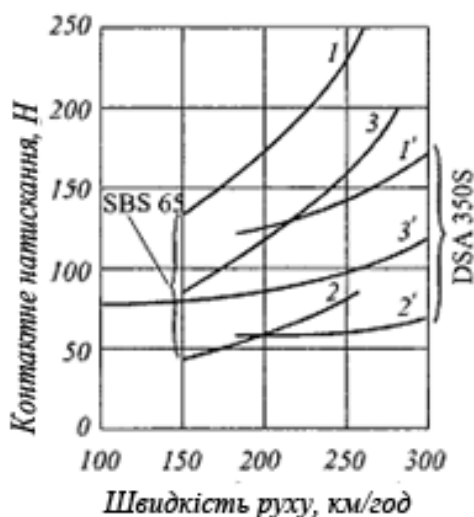


Рис. 4. Залежність сил динамічного контактного натискання струмоприймачами типу SBS 65 та DSA 350S на контактний провід підвіски: 1(1') та 2(2') – відповідно верхня та нижня межа амплітуди коливання сил контактного натискання; 3(3') – середнє значення сили контактного натискання

Дослідні поїздки показали, що для забезпечення необхідного терміну служби контактних проводів і якісного струмознімання при швидкості руху до 300 км/год включно середнє динамічне натискання повинно бути не більше 120 Н, а стандартне відхилення – не більше 20 %, тобто не більше 24 Н. Цим вимогам, наприклад, відповідають нові німецькі струмоприймачі серій DSA 150, 200, 250, 380, 350, 380 до 380 км/год (рис. 5).

У Німеччині знаходиться в експлуатації контактна підвіска типу Re 250, розрахована на максимальну швидкість руху з двома піднятими струмоприймачами 280 км/год, з одним – 300 км/год. Цей несучий трос виконаний з магнієвої бронзи (БрМг0,35) і має перетин 70 мм²,

контактний провід зроблено з міді, легованої сріблом (0,1 % Ag), і має перетин 120 мм², а ресорний трос (БрМг0,35) має перетин 35 мм².

При високих швидкостях руху неодмінною умовою забезпечення стабільного ковзного контакту між струмознімальними елементами і контактним проводом є значна ширина полоза струмоприймача, яка повинна становити не менше 400 мм. Через велику кількість причин струмоприймачі на рухомому складі різних європейських країн мають полози різної довжини: у Німеччині, Австрії та Іспанії загальна довжина полоза дорівнює 1950 мм, у Великобританії – 1600 мм, у Франції та Швейцарії – 1450 мм. У країнах СНД загальна довжина полоза складає 2260 мм.



Рис. 5. Загальний вигляд струмоприймачів типу DSA виробництва Німеччини

Як вже зазначалося вище, дуже важливим для практики показником, що характеризує процес взаємодії струмоприймача і контактної мережі та забезпечує надійність і високу якість струмопідведення, є контактне натискання. При русі ЕРС висота полоза струмоприймача над рівнем головки рейок не залишається постійною, оскільки не є постійною висота підвісу контактної мережі, його еластичність і маса в прогоні.

Еволюція конструкцій струмоприймачів пов'язана з необхідністю підвищення швидкості руху електрорухомого складу і поліпшення якості струмопідведення, яка полягає в прагненні знизити приведену масу струмоприймача, забезпечуючи при цьому необхідну навантажувальну здатність і динамічні параметри. Це можна здійснити шляхом зменшення маси верхнього вузла і підвищення тим самим його рухливості, для чого необхідне застосування нових матеріалів, а також нових конструкцій.

При розробленні струмоприймачів для високошвидкісного руху важливим фактором є також аеродинамічна взаємодія полоза та інших елементів струмоприймача з повітряним потоком. Виникає

аеродинамічна підйомна сила, починає істотно впливати на взаємодію струмоприймача з контактним дротом. При цьому особливо небезпечним є прояв асиметрії аеродинамічних сил в одну та іншу сторону. Цю силу необхідно врівноважити, вводячи в конструкцію струмоприймача додаткові елементи, що знижують вплив повітряного потоку.

На європейських швидкісних поїздах отримав застосування універсальний струмоприймач типу СХ, який випускає компанія «Alstom». Маса останньої моделі французького асиметричного струмоприймача СХ дорівнює 160 кг (для порівняння). Струмоприймачі цього типу призначені для ліній постійного струму напругою 1,5 і 3 кВ, змінного струму напругою 25 кВ (50 Гц) і 15 кВ (16,7 Гц), забезпечують передачу необхідної електроенергії при швидкості руху до 300 км/год.

Конфігурація й основні розміри стандартних струмоприймачів, які використовуються на залізницях Німеччини, і європейського полоза для нових високошвидкісних ліній з контактною мережею посиленого типу наведені в таблиці.

Технічні параметри струмоприймачів високошвидкісного рухомого складу

| Основний параметр | Струмоприймач | | | | |
|---|----------------|-------------------|----------|----------------|-----------|
| | DSA 200 | SSS 87, SBS 2T | DSA 350S | DSA 350 SEK | DSA 380 D |
| Номінальне значення напруги, кВ | 15/25* | | | | |
| Номінальне значення струму, А | 800/1000 | 700 | 1000 | 800/1000 | 1000 |
| Максимальна швидкість експлуатації, км/год | 200 | 260 | 280 | | 380 |
| Кількість полозів | 2 | | | | |
| Тип струмознімальних елементів у полозах | вуглеграфітові | | | | |
| Статичний натиск, Н | | | | | |
| при підніманні каретки (активне), не менше | - | 40 | 50 | | 70 |
| при опусканні каретки (пасивне), не більше | - | 120 | 140 | | 120 |
| Статичний натиск на німецьких залізницях, Н | | | | | |
| при підніманні | 70 | | 80 | 90 | |
| при опусканні | 120 | 140 | | | 150 |
| Максимальна висота піднімання (з ізоляторами), мм | 3000 | 2820 | 3106 | 3000 | 300 |
| Мінімальна висота в опущеному стані, мм | 550 | - | 556 | 590 | 540 |
| Висота ізоляторів, мм | - | 295 | 306 | | |
| Час піднімання на максимальну робочу висоту, с, не більше | 10 | | | | 5 |
| Час опускання з максимальної робочої висоти, с, не більше | 10 | 5 | 10 | | 4 |
| Маса (без ізоляторів), кг | 125 | 118 | 109 | 105 | 106 |

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. За результатами проведеного дослідження встановлено, що для

безперебійного та якісного струмознімання необхідне виконання таких вимог:

- під дією підйомних пружин струмоприймач при русі ЕРС повинен мати

на контактний провід оптимальне стабільне натискання: з одного боку, не повинен від нього відриватися, погіршуючи тим самим якість струмознімання і збільшуючи електричне зношування контактного проводу, а з іншого – не створювати надмірного натискання, посилюючи механічне зношування контактного проводу і струмознімальних елементів;

- рухливі вгору і вниз частини струмоприймача повинні мати мінімальну наведену масу;

- амплітуда коливань струмоприймача повинна бути незначною, а коливання повинні швидко загасати;

- сили тертя в шарнірах повинні бути мінімальними;

- конструкція струмоприймача повинна забезпечувати стійкість до аеродинамічних сил;

- в ідеальному випадку при будь-якій висоті полоза струмоприймача його натискання на контактний провід має бути постійним.

Список використаних джерел

1. Колесов, С. М. Матеріали та взаємодія контактної підвіски і струмоприймача [Текст]: підручник / С.М. Колесов, І.С. Колесов. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – 284 с.
2. Беляев, И. А. Токошьем и токоприемники электроподвижного состава [Текст] / И.А. Беляев, В. П. Михеев, В. А. Шиян; под ред. И. А. Беляева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
3. Михеев, В. П. Токошьемные устройства для высокоскоростных поездов [Текст] / В.П. Михеев // Железнодорожный транспорт. – 1997. – № 6. – С. 44-47.
4. Токошьем при высокоскоростном движении [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 7. – С. 55-59.
5. Регулируемый токоприемник для высокоскоростного подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 8. – С. 44-47.
6. Электрический износ в паре трения токоприемник – контактный провод [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. – № 5. – С. 43-49.
7. Исследование контактной подвески по силам взаимодействия токоприемника и контактного провода [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. – № 11. – С. 45-52.
8. Беляев, И. А. Машинисту о контактной сети и токошьеме [Текст] / И.А. Беляев. – М.: Транспорт, 1986. – 128 с.
9. Система відеоконтролю стану контактної мережі та струмоприймача електричного рухомого складу [Текст]: пат. 79111 Україна; МПК В60L 3/12, В60Q 11/00, G01D 3/00 / Артеменко В.В., Артеменко О.В., Фалендиш А.П., Грищенко О.В., Шершньов С.М.; заяв. та правовл. Артеменко В.В., Артеменко О.В., Фалендиш А.П., Грищенко О.В., Шершньов С.М. – заявл. 23.10.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7. – 5 с.
10. In search of a smoother ride on narrow gauge track. Sundararaja Gopalakrishnan // Railway Gazette International, April 2007, P. 214-217.
11. Experimental research on the friction and wear properties of a contact strip of a pantograph–catenary system at the sliding speed of 350 km/h with electric current / H.J. Yang, G.X. Chen, G.Q. Gao, G.N. Wu, W.H. Zhang // Wear, Volumes 332–333, May–June 2015, P. 949-955.
12. Design Methodology Developed For Wheelset. K. Bel. Knani, S. Bruni, S. Cervello, G. Ferrarotty // IRJ, July 2002, P. 27-28.
13. Single-Axle Bogies Promise Improvements. Y.Suda, S.Nishimur, A. Matsumoto, Y.Sato, M. Suzuki // IRJ, July 2002, P. 30-31.

14. Principal Technologies of Shinkansen Bodies Leading to Series 700. J.Ito // Japanese Railway Engineering No. 149, 2002. p.1-5.

Зіньківський Артем Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.
E-mail: kumasiktem@gmail.com.

Беляков Михайло Леонідович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту.
Тел.: (057) 730-19-99.

Zinkivskyi Artem, Cand. of techn. Sciences, associate professor in "Maintenance and repair of rolling stock."
Tel. 057-730-1999. E-mail: kumasiktem@gmail.com.

Belyakov Mikhail master of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

Стаття прийнята 26.09.2016 р.

УДК 656.223

ФОРМУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, О. О. Дяченко

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, О. А. Дяченко

DEVELOPING THE FUTURE TRENDS OF MODERN PASSENGER TRANSPORT

Cand. of techn. sciences D.V. Konstantinov, O. O. Dyachenko

У статті досліджено сучасний стан залізничного швидкісного транспорту в Україні та основні проблеми його розвитку. Проведено аналіз вітчизняного та закордонного досвіду впровадження високошвидкісного руху на залізничному транспорті. Обґрунтовано економічну доцільність впровадження високошвидкісного пасажирського руху в Україні та визначено перспективи його розвитку. Поставлені основні завдання для реалізації стратегічних рішень та впровадження масштабних інноваційних проектів.

Ключові слова: високошвидкісні залізничні магістралі, реформа, інновації, економічна доцільність, високошвидкісні поїзди.

В статье исследовано современное состояние железнодорожного скоростного транспорта в Украине и основные проблемы его развития. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта внедрения высокоскоростного движения на железнодорожном транспорте. Обоснована экономическая целесообразность внедрения высокоскоростного пассажирского движения в Украине и определены перспективы его развития. Поставлены основные задачи для реализации стратегических решений и внедрения масштабных инновационных проектов.

Ключевые слова: высокоскоростные железнодорожные магистрали, реформа, инновации, экономическая целесообразность, высокоскоростные поезда.

In the article the current state of high-speed rail transport in Ukraine and the main problems of development. An analysis of domestic and international experience implementing high-speed traffic on the railway. Specific operating conditions Ukrainian railways compared with Western characterized by a much greater amount of transport work, greater intensity of train significantly more weight trains and axial loads rolling stock. Today reserves the technical capacity of rail transport, its carrying capacity is almost exhausted. At the Ukrainian railway line exists classical form of transport - a mixed movement. Increased speeds require higher quality railway, which negatively affect freight trains. Therefore, increasing capacity and introducing high-speed traffic on the Ukrainian railways is a much more difficult task than the Western European railways. Grounded economic feasibility of the introduction of high-speed passenger traffic in Ukraine and identified the prospects of its development. Delivered major tasks for implementing the strategic decisions and the implementation of large-scale innovative projects.

Keywords: *high-speed railway highways, reform, innovations, financial viability, high-speed trains.*

Вступ. Світ у прямому значенні прискорюється, а Україна продовжує «плетися» зі швидкістю XX сторіччя. Високошвидкісний транспорт – це розвиток економіки, нові робочі місця, інша якість життя українця. У найближчі десять років Україні не варто розраховувати на появу поїздів, здатних доставити пасажира з точки А в точку Б зі швидкістю 200-300 км/год. Однак світовий досвід і наявна база свідчать про те, що перспективи у нас є. Розвиток високошвидкісного та швидкісного пасажирського руху є одним із найважливіших шляхів розвитку ринку залізничних пасажирських перевезень. Це зумовлено необхідністю виведення пасажирських залізничних сполучень на принципово новий якісний рівень, який забезпечує зростання мобільності населення, та необхідністю залучення додаткових прибутків від здійснення перевезень. Майбутнє залізничного транспорту України пов'язане з реалізацією стратегічних рішень, серед яких – реформування галузі та впровадження великомасштабних інвестиційно-інноваційних проєктів. Найбільш актуальною проблемою сьогодні є організація високошвидкісного пасажирського руху, розбудова міжнародних транспортних коридорів; формування вітчизняної транспортно-логістичної системи; формування єдиної транспортної системи України.

Доцільність побудови і впровадження високошвидкісних залізничних магістралей усе більше концентрується навколо питань: підвищення максимальної та маршрутної швидкості з визначенням її оптимальної межі з позицій безпеки, привабливості для пасажирів, енергетичного балансу, капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, отримання максимальних доходів, а також, що стає все більш актуальним, охорони навколишнього середовища.

Дане дослідження виконано відповідно до «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки», чинної згідно з постановою КМУ № 1106-2011-п від 26.10.2011 р. та Програми реструктуризації галузі, згідно з якими одним із основних, перспективних напрямків розвитку пасажирських перевезень є формування та подальше удосконалення вітчизняної мережі високошвидкісних ліній, що є одним з способів вирішення проблеми значної збитковості та покращення якості організації перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основи дослідження ефективності впровадження високошвидкісного руху на залізницях України були закладені ще в праці Г. Кірпи [1]. Розробки щодо визначення розмірів економії поточних витрат при впровадженні швидкісного руху

продовжені І. Корженевичем, М. Курганом, Ю. Барашем [6]. Дослідниками встановлено вплив прискорення пасажирських перевезень на витрати енергоресурсів, витрати, пов'язані зі зносом колійної інфраструктури та ін. Комплексних результатів оцінки ефективності впровадження високошвидкісного руху досягнули В. Дикань та Ю. Пащенко [3, 4].

Визначення мети та задачі дослідження. Отже, метою даної статті є дослідження теоретичних та організаційно-економічних аспектів впровадження високошвидкісного руху на території України з урахуванням особливостей функціонування галузі в сучасних умовах.

Для досягнення поставленої мети необхідним є вирішення таких задач:

- провести аналіз світового досвіду впровадження високошвидкісних перевезень та оцінки економічної ефективності високошвидкісних залізничних магістралей;

- провести всебічний аналіз стану пасажирської інфраструктури залізничного транспорту України;

- визначити стратегію, пріоритетні шляхи та заходи впровадження високошвидкісних залізничних магістралей в Україні;

- проаналізувати економічну ефективність впровадження високошвидкісних залізничних магістралей у сучасних умовах реформування залізничного транспорту України.

Основна частина дослідження. Розглянемо світовий досвід упровадження швидкісного залізничного руху залізницями, визначивши результативність їх функціонування для економіки країни. Володіючи значними перевагами порівняно з іншими видами транспорту (економічність, високий рівень безпеки та комфорту), швидкісні залізниці набувають усе більшого поширення. За визначенням Міжнародного союзу залізниць (МСЗ), під високошвидкісним пасажирським поїздом розуміється поїзд, який пересувається зі

швидкістю понад 250 км/год спеціальними коліями або зі швидкістю понад 200 км/год звичайними модернізованими залізничними коліями. Швидкість найсучасніших поїздів перевищує 350 км/год, а на окремих ділянках досягає швидкості 486,1 км/год (магістраль Пекін - Шанхай). Загальна протяжність високошвидкісних залізничних магістралей у світі зараз складає 8000 км, у тому числі більше 4000 км в Європі, причому високошвидкісні поїзди обслуговують також полігон протяжністю близько 20 тис. км звичайних залізничних ліній, реконструйованих під швидкісний рух. Але процес проектування й будівництва нових ліній високошвидкісного руху не припиняється. Тільки в Китаї до 2017 р. планується будівництво високошвидкісних ліній залізниць протяжністю близько 45 тис. км! Швидкісні поїзди найефективніші для подорожей тривалістю 2–3 год (тобто на відстань до 600 км) [8]. У цьому випадку загальний час дороги до аеропорту, проходження всіх рівнів безпеки, польоту, а потім ще й доїждання до пункту призначення перевищує час подорожі у швидкісному поїзді. Залізниця має й інші конкурентні переваги над авіацією: незалежність від метеоумов, можливість проміжних зупинок на маршруті, пасажир не повинен здавати багаж та проходити численні перевірки службами безпеки, а також може розраховувати на точний час прибуття. На деяких європейських маршрутах (Париж – Брюссель, Кельн – Франкфурт) літаки вже програли конкурентну боротьбу поїздам, а деякі авіакомпанії продають комбіновані квитки, які включають і залізничний сегмент. Уже сьогодні в 11 країнах світу пасажир залізниці мають можливість подорожувати зі швидкістю 300 км/год або й більше. Ще в кількох державах поїзди подолали рубіж у 200 км/год. Довжина швидкісних магістралей на планеті зростає щороку, роблячи наш світ дедалі меншим.

Проте великий мінус в цього виду транспорту – висока вартість будівництва.

У Франції, наприклад, прокладення одного кілометра швидкісної колії коштує приблизно 10 мільйонів євро, і це ще не межа [7]. Швидкий рух дорогий з кількох причин. По-перше, для нього потрібні окремі колії, на які не допускаються тихохідні товарні та пасажирські поїзди. По-друге, магістралі мають бути якомога прямішими, з великим радіусом поворотів (у гірських країнах це вимагає значної кількості тунелів та мостів). По-третє, під час їх прокладання використовують суцільні зварні рейки та багато інших складних технологічних деталей. Нарешті, найбільш швидкісні поїзди теж недешеві – близько 2 мільйонів євро за вагон [4].

Історія будівництва високошвидкісних магістралей в Україні починається з 1981 року, коли Міністерство транспортного будівництва СРСР отримало замовлення на розробку техніко-економічного обґрунтування проекту високошвидкісної магістралі Москва – Крим – Кавказ для конкуренції з авіаційним транспортом, але після 1982 року проектні роботи було призупинено. За участю експертів компанії «SYSTRA» (Франція) і фахівців Укрзалізниці у 2002 році були досліджені передумови введення високошвидкісного руху поїздів в Україні, визначені можливі маршрути високошвидкісних залізничних ліній, зроблений прогноз обсягів пасажирських перевезень, розроблені технічні вимоги для впровадження системи високошвидкісних залізниць в Україні, надана економічна оцінка цих програм [5]. Також до ЄВРО-2012 було впроваджено швидкісний рух на окремих напрямках між містами-учасниками футбольних змагань. Для цього було закуплено рухомий склад корейського виробництва, який забезпечував швидкість до 160 км/год.

Впровадження швидкісного та високошвидкісного руху відбувається в кожній країні з урахуванням багатьох факторів: стану залізничної інфраструктури країни та можливості її реформування;

транзитного потенціалу країни в пасажирському русі; розміру території країни, кількості населення та густоти його проживання; стану економіки та економічного потенціалу країни, від напрямку яких залежить можливість розвитку залізничного транспорту країни; розвитку промисловості, ринкових відносин та привабливості інвестиційного клімату країни; життєвого рівня та платоспроможності різних прошарків населення, їх можливості користування швидкісним залізничним транспортом; попиту на послуги залізничного транспорту на ринку транспортних послуг країни та можливості розширення ринку; стану культури населення країни та прагнення до її розвитку [4].

Кожен із цих факторів по-різному впливає на розвиток швидкісного та високошвидкісного руху країни. Нижче наведені дослідження щодо впливу цих факторів на розвиток швидкісного та високошвидкісного руху в Україні. Наприклад, сучасний стан залізничної інфраструктури застарів, не оновлюється і за своїми параметрами не відповідає подальшому впровадженню високошвидкісного руху. Інфраструктура потребує значних змін: розподілу вантажного та пасажирського руху за окремими напрямками, реконструкції земляного полотна та верхньої будови колії, вирішення проблеми подвійного живлення поїздів та багато іншого [2]. В той же час розмір території, кількість мешканців, їх міграція потребує швидкого пересування територією України протягом 6-8 годин, що є можливим тільки при впровадженні швидкісного та високошвидкісного руху. Розвинена залізнична інфраструктура – одна з небагатьох переваг, якими ще володіє Україна. Згідно зі звітом про глобальну конкурентоспроможність (The Global Competitiveness Report 2014-2015), за критерієм оцінки залізничної інфраструктури наша країна посідає 25-те місце у світі, випереджаючи сусідні Росію

(31-ше) і Польщу (70-те). Але хронічна нестача грошей на модернізацію з кожним роком робить вітчизняні залізничні перевезення все менш конкурентоспроможними.

Як зазначається в роботі [3], в Україні високошвидкісний рух (до 300 км/год) навряд чи буде можливий у близькому майбутньому. Справа в тому, що для таких швидкостей потрібна окрема лінія, де руху поїздів не заважатимуть ані перетини з іншими магістралями, ані велика кількість поворотів малого радіуса. Її будівництво, виходячи з міжнародного досвіду, коштуватиме кілька десятків, якщо не сотень, мільярдів доларів. Укрзалізниця з її сьогоднішньою рентабельністю на рівні 2% не може забезпечити і обладнання інфраструктури під додаткові швидкісні маршрути, і купівлю нових поїздів, і підтримку існуючого рухомого складу. Специфічні умови експлуатації українських залізниць у порівнянні із західноєвропейськими характеризуються значно більшим обсягом перевізної роботи, більшою інтенсивністю руху поїздів, істотно більшою вагою поїздів і осьових навантажень рухомого складу. На сьогодні резерви технічних потужностей залізничного транспорту, його провізної спроможності практично вичерпані. Тому збільшення пропускної спроможності та впровадження швидкісного руху на українських залізницях – набагато складніше завдання, ніж на західноєвропейських коліях. Вирішення цього завдання вимагає комплексу особливих і специфічних підходів.

На українських залізничних магістралях існує класична форма організації руху – змішаний рух. Підвищення швидкостей руху потребує більш високої якості залізничного полотна, на яку негативно впливають вантажні поїзди. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є розділення пасажирського й вантажного руху з прийняттям такої класифікації інфраструктури: А – суто пасажирський рух (швидкість до 250 км/год);

Б – переважно пасажирський рух (швидкість до 160 км/год); В – змішаний рух (швидкість до 120 км/год). Основним завданням для підвищення швидкості руху пасажирських поїздів до 200 км/год є технічне переоснащення колійного господарства, забезпечення подальшої механізації його технологічних процесів. Для цього, починаючи з 2000 р., за ініціативою Державної адміністрації залізничного транспорту України та Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблені та впроваджені сучасні науково-технічні та технологічні рішення при будівництві, реконструкції та модернізації колійного господарства залізниць України, удосконалені конструкції верхньої будови колії, впроваджено нові ресурсозберігаючі технології та устаткування. Як приклад, можна назвати: розробку та впровадження нових технологій будівництва та реконструкції залізничної колії з улаштування «оксамитового шляху» з безстиковими рейковими плитами і безстикових стрілочних переводів; розробку сучасних технологій стикового зварювання рейок, випуск і впровадження нових рейкозварювальних машин вітчизняного виробництва; розробку, освоєння у виробництві та впровадження в експлуатацію удосконалених конструкцій зварно-литих стрілочних переводів нового покоління; розробку, освоєння у виробництві та впровадження в експлуатацію нових вітчизняних конструкцій пружних рейкових скріплень для умов Укрзалізниці тощо.

Останніми роками культура населення України поступово зростає, що позначилося на підвищенні попиту на швидкісні та комфортні перевезення. Але низька платоспроможність більшості населення ще не дає змоги усім пасажирам користуватися швидкісними перевезеннями. На рис. 1 зображена схема впливу зазначених вище факторів на розвиток швидкісного руху в Україні, які по-різному впливають на його впровадження.



Рис. 1. Визначення факторів, що впливають на впровадження швидкісного та високошвидкісного пасажирського руху на залізницях України

Ефективна реалізація високошвидкісного руху можлива тільки за умови вкладення значних коштів, які може виділити держава та вітчизняні і закордонні приватні інвестори. Аналіз стану економіки країни показує, що уряд найближчим часом не в змозі виділити необхідну суму на будівництво високошвидкісних магістралей. У той же час приватні інвестори не будуть вкладати кошти в цей проект, оскільки не визначена його ефективність та гарантія своєчасного повернення дивідендів. Крім того, в Україні до цього часу не визначена реальна вартість будівництва високошвидкісної магістралі, етапність та строки реалізації проекту. Також не можна точно сказати, чи в змозі населення країни в необхідній кількості купувати квитки на високошвидкісні поїзди. В цих умовах Укрзалізниця запропонувала поетапний проект впровадження на теренах України

швидкісного руху з поступовим підвищенням швидкості руху до 200 км/год.

Виходячи із завдань створення високошвидкісної мережі залізниць, географічного розташування України, адміністративного розподілу регіонів, розташування міст і економічної ситуації, французькою фірмою «SYSTRA» була запропонована мережа високошвидкісних магістралей загальною довжиною більше 3 тис. км [5]. При виконанні перспективних розрахунків була використана модель прогнозування потреби в пасажирських перевезеннях, середня доходна ставка у пасажирському русі. Доходи від перевезень були визначені для різних рівнів вартості проїзду. Мінімальна вартість відповідає існуючій середньозваженій вартості проїзду в різних класах вагонів на залізницях України. Максимальна доходна ставка визначена на базі оцінки привабливості підвищення швидкості руху

з точки зору пасажирів. На рис. 2 подано залежність вартості залізничного квитка від швидкості пасажирського поїзда, за якою видно, що зі збільшенням відстані збільшується і вартість проїзду. До того ж

на величину вартості додатково впливають собівартість швидкісних перевезень, платоспроможність населення та соціальна спрямованість перевезень для деяких прошарків населення.



Рис. 2. Залежність середньої вартості поїздки від швидкості руху

Щоб українські поїзди рухалися з постійною максимальною швидкістю, необхідно виконати модернізацію колій та контактної мережі на всіх пріоритетних напрямках. Щодо безпосередньо рухомого складу, то підвищення максимальної швидкості руху (наприклад до 200 км/год) необхідно враховувати під час проектування та виготовлення швидкісних електропоїздів.

Сучасні поїзди виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» можуть успішно конкурувати із зарубіжними аналогами. Основні відмінності корейських електропоїздів НРСБ2 від електропоїздів серії ЕКр1 полягають у принципах конструювання їх силових установок. Принципова конструкція електропоїздів серії НВСБ2 схожа на конструкцію приміських електропоїздів із розміщенням силового обладнання по всій довжині електропоїзда та застосуванням принципів секціонування (кожен

електропоїзд складається з трьох секцій по три вагони в кожній). Електропоїзди ж серії ЕКр1 сконструйовано за іншою принциповою схемою: головні вагони створені за принципом секції електровоза з невеликою кількістю місць (20 крісел), а всі сім проміжних вагонів є причіпними і не мають силового обладнання. Із конструктивних особливостей впливають слабкі та сильні сторони електропоїздів. Так, в електропоїздах серії НВС52 встановлено 24 тягових двигуни (замість 8 на ЕКр1), що дає змогу досягти більшого прискорення, наявність трьох секцій дозволяє при виході з ладу однієї з них продовжити рух на двох справних із незначними втратами в динаміці. У той же час на електропоїздах серії ЕКр1 немає міжвагонних з'єднань силового обладнання і є меншою кількістю силового обладнання, що спрощує обслуговування електропоїзда, але підвищує вимоги до надійності обладнання. Але постає питання щодо

готовності промислових підприємств нашої країни виготовляти все необхідне обладнання для майбутніх високошвидкісних магістралей.

Дійсно, багато обладнання Україна вимушена закуповувати за кордоном. Але на сьогодні вже використовується вітчизняне обладнання, зокрема: головні трансформатори, розподільчі щити, програмне забезпечення роботи салонного обладнання, установки системи кондиціонування тощо. Основна частина імпортного обладнання, виготовлення якого складно організувати в Україні, — це силове електричне обладнання, оскільки його виготовлення економічно доцільне лише за умови замовлення великими партіями. Окрім того, слід зважати на права інтелектуальної власності виробників оригінального обладнання, що не дає можливості організувати виробництво в Україні, а підбір вітчизняного аналога потребуватиме значних фінансових витрат. Для розвитку швидкісного руху в Україні, перш за все, потрібно підвищити добробут та рівень життя пересічних українців, а також відновити економіку країни та мирне життя, що дасть можливість нормально розвиватися швидкісному руху в Україні. Сьогодні разом з Укрзалізницею ДП «УЗШК» опрацьовується «Програма оздоровлення технічного стану залізничного транспорту України загального користування на період 2016-2025 рр.», упровадження якої розширить мережу курсування швидкісних поїздів (Київ - Миколаїв - Херсон, Київ - Вінниця - Хмельницький - Тернопіль - Львів тощо).

Ключові технічні проблеми впровадження високошвидкісних залізничних магістралей усе більше

концентруються навколо питань підвищення максимальної та маршрутної швидкості з визначенням її оптимальної межі з позицій безпеки, привабливості для пасажирів, енергетичного балансу, капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, отримання максимальних доходів. Перші прогнози розрахунки економічної доцільності побудови високошвидкісної магістралі в Україні були виконані французькою фірмою «SYSTRA» за загальноєвропейською методикою [5]. Результати були такими: в середньому кожний мешканець України буде робити 0,53 поїздки за рік у високошвидкісному сполученні. З цих прогнозних розрахунків випливає, що третина населення нашої країни через 20 років буде подорожувати високошвидкісними поїздами. За підсумками досліджень було визначено загальну річну кількість пасажирів, яка після повного введення високошвидкісних залізничних магістралей в експлуатацію складатиме 24,78 млн осіб та розраховано середню дальність поїздки – 520 км. З урахуванням вказаних даних дохід від перевезень пасажирів буде становити 10,063 млрд грн на рік.

Економічне обґрунтування доцільності організації швидкісного та високошвидкісного руху в Україні є інвестиційним проектом, який передбачає поетапне вкладання коштів у будівництво, що дасть змогу надалі отримувати щорічно прибутки від перевезення пасажирів. Для вирішення задач такого типу використовують чистий дисконтний дохід, який може отримати Укрзалізниця або новоутворені компанії під час реалізації проекту і після його закінчення. Цей показник визначають за формулою [3]:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{(D_t - Z_t) \left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) + A_t \frac{\gamma}{100} - K_t}{(1 + E_m)^t} \rightarrow \max,$$

де ЧДД – чистий дисконтний дохід, грн;

D_t – річний дохід, що може отримати Укрзалізниця й новоутворені структури від усіх видів діяльності за різними варіантами реформування, грн;

Z_t – річні сумарні витрати швидкісної компанії від усіх видів діяльності за різними варіантами реформування без амортизаційних відрахувань, грн;

γ – величина податку на прибуток, %;

A_t – амортизаційні відрахування;

K_t – річні інвестиції в будівництво або реконструкцію швидкісних та високошвидкісних магістралей за різними варіантами, грн;

t – номер розрахункового року: $t = 0, 1, 2, 3, \dots, T$ (T – строк впровадження структурної реформи).

За результатами досліджень, для кожного року будівництва високошвид-

кісної магістралі на рис. 3 зображено графік зміни ЧДД та строк окупності ВШМ, що становить 55 років. Такий значний строк окупності високошвидкісної магістралі пояснюється великою вартістю будівництва ВШМ та рухомого складу. В той же час слід сказати, що діяльність високошвидкісної компанії буде прибутковою, оскільки за 14 років експлуатації ВШМ буде накопичено прибуток у розмірі 4,683 млрд грн. Підвищити ефективність функціонування високошвидкісної компанії можна за рахунок використання вітчизняного рухомого складу, який в Україні буде виробляти Крюківський вагонобудівний завод, та збільшення кількості пасажирів, які будуть перевезені після 15-го року експлуатації ВШМ.

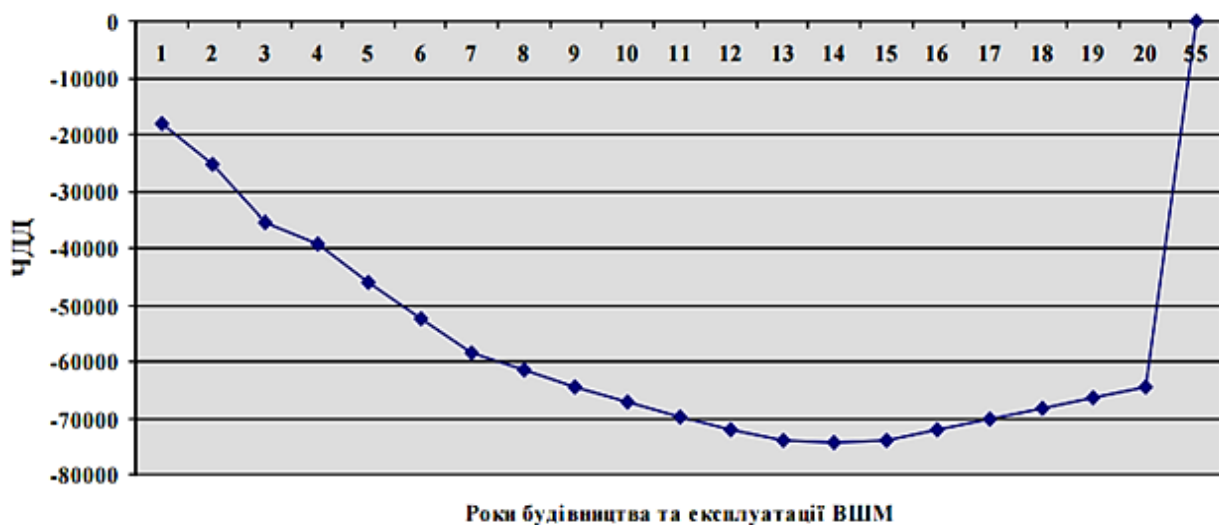


Рис. 3. Динаміка зміни чистого дисконтного доходу та визначення строку окупності високошвидкісної магістралі

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Отже, незважаючи на безліч перешкод та величезні фінансові витрати, Україні просто необхідно планувати та будувати сучасні європейські високошвидкісні магістралі, адже, вивчивши закордонний досвід, ми дійшли

висновку, що розвинуті країни давно користуються перевагами сучасних залізниць. Серед усієї кількості цих переваг головними є: усунення інфраструктурних перешкод, надання можливості молодим фахівцям ефективно і продуктивно переміщатися по країні без відриву від виробництва; звільнення існуючих

залізничних колій від пасажирських перевезень на користь збільшення потужностей вантажних перевезень. Позитивні ефекти від реалізації проектів високошвидкісної залізничної магістралі не обмежуються прямими ефектами від розвитку національної транспортної системи. Реалізація проектів високошвидкісної залізничної магістралі також сприяє виникненню загальних економічних ефектів. Серед інших видів ефектів фахівці називають ефект агломерації, який виявляється у поліпшенні сполучення між адміністративними центрами та периферійними районами, що сприяє централізації ринку праці та концентрації трудових ресурсів.

Взаємозв'язок між концентрацією трудових ресурсів, рівнем продуктивності й подальшим економічним зростанням пояснюється такими основними факторами: збільшення розміру та глибини ринку праці; збільшення числа конкурентів і потенційних контрагентів; створення додаткових стимулів для розвитку інновацій і підвищення ефективності, розвиток спеціалізації в обслуговуючих галузях; зростання можливостей для обміну зв'язками і знаннями (наприклад, у галузі наукових досліджень). З точки зору екологічності, українцям також має імпонувати й те, що швидкісні поїзди споживають менше палива на людино-кілометр подорожі, ніж автомобілі чи літаки, а також виводять із природного стану значно менше земельних ресурсів. Зрештою, поїзд зменшує потребу користування екологічно більш шкідливими видами транспорту.

Будівництво високошвидкісної залізничної мережі сприяє зміцненню ринків за рахунок поліпшення доступу до фінансових, земельних і трудових ресурсів, що веде до збільшення продуктивності, позитивних ефектів масштабу та зростання

регіональної економіки, збільшення зайнятості населення. Таким чином, впровадження високошвидкісного руху на залізницях України матиме не лише економічний, але й політичний, соціальний, екологічний ефект. Розбудова на території України швидкісних та високошвидкісних магістралей створить ряд конкурентних переваг не лише для залізничного транспорту, а й всієї економіки країни за рахунок збільшення пасажирообігу. Саме тому реалізація необхідних заходів надасть змогу досягти подвійного ефекту, який, з одного боку, буде виявлятися в підвищенні швидкості руху на магістралях країни, з іншого – в покращенні якості перевезень та підвищенні рівня їх безпеки.

Аналіз результатів, проведений французькою фірмою «SYSTRA», показав, що, якщо буде збудована мережа високошвидкісних магістралей в Україні довжиною 3 тис. км, то повністю зможе окупити себе за 55 років, приносить дохід через 14 років, стабільний прибуток буде вже через 15 років експлуатації, пасажиропотік складатиме 24 мільйони осіб українців на рік. Капіталовкладень потрібно мінімум 3 млрд євро, а то й десятки і сотні мільярдів євро. Отже, високошвидкісний рух в Україні неминучий, проблема лише у строках та бажанні самих українців. Тим часом у багатьох інших країнах давно дійшли думки, що ніщо так ефективно не об'єднує нації, як зручні й швидкі шляхи сполучення, зокрема залізничні й автомобільні. В Україні ж шлях із Півдня чи Сходу на Захід забирає більше доби, тому нам, у важкі часи сьогодення, як ніколи потрібне об'єднання нації. Ігнорування впровадження високошвидкісного руху в Україні означатиме, що відставання нашої держави від світу в майбутньому лише зростатиме.

Список використаних джерел

1. Кірпа, Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України в Європейську транспортну систему [Текст]: монографія / Г.М. Кірпа. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2004. – 248 с.
2. Курган, М. Б. Вплив підвищення швидкості поїздів на витрати, пов'язані із зносом колійної інфраструктури [Текст] / М.Б. Курган, Д.М. Корженевич, Ю.С. Бараш // Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізнич. транспорту. – 2008. – № 21. – С. 233-239.
3. Дикань, В. Л. Швидкісний рух залізничного транспорту у світі та перспективи його розвитку в Україні [Текст] / В.Л. Дикань // Вісник економіки транспорту та промисловості. — 2010. — № 32. — С. 15–25.
4. Пашенко, Ю. Є. Інтегральна ефективність швидкісних залізничних магістралей [Текст]: монографія / Ю. Є. Пашенко, М. Ю. Гончаров, Й. М. Кранц та ін.; за ред. С.І. Дорогунцова. — К.: РВПС України НАН України, 2005. – 266 с.
5. Суворова, Т. А. Скоростные железнодорожные поезда Франции: история возникновения и развития [Електронний ресурс] / Т. А. Суворова // Вісник Придніпров. держ. акад. буд. та архітект. — Дніпропетровськ : ПГАСА, 2011. — № 4. — С. 52–63. — Режим доступу : <http://www.nbu.gov.ua/porta>.
6. Бараш, Ю. С. Теоретико-методичний підхід до визначення конкурентоспроможності послуг, що надаються пасажирськими видами транспорту [Текст] / Ю.С. Бараш, А.А. Покотілов, Т.Ю. Чаркіна // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011. – Вип. 38. – С. 233–237.
7. Couto, A. The effect of high-speed technology on European railway productivity growth [Text] / Antonio Couto // Journal of Rail Transport Planning & Management. - December 2011. - Volume 1, Issue 2. – P. 80–88.
8. Yin, M. The effects of the high-speed railway on urban development: International experience and potential implications for China [Text] / Ming Yin, Luca Bertolini, Jin Duan // Progress in Planning. - May 2015. - Volume 98. – P. 1–52.

Константінов Денис Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.
Дяченко Ольга Олександрівна, студентка групи МЗ-ТЕМПУС-ОПУТ-Б-15 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095)6597637. E-mail: dyachenkoolga@ukr.net.

Konstantinov Denis Volodimirovich, cand. of techn. sciences, Department of operational work Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.
Dyachenko Olga Oleksandrivna, student of group MZ-TEMPUS-OPUT-B-15 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (095)6597637. E-mail: dyachenkoolga@ukr.net.

Стаття прийнята 26.09.2016 р.

УДК 656.224

ФОРМУВАННЯ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ

Канд. техн. наук Г. С. Бауліна, В. С. Левченко

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ

Канд. техн. наук А. С. Баулина, В. С. Левченко

FORMATION OBJECTIVE FUNCTION FOR EXPLOITATION OF HIGH-SPEED TRAIN

Phd. tehn. G. Baulina, V. Levchenko

Розглянуто особливості розвитку швидкісного руху в Україні, проаналізовано обсяги перевезень пасажирів і встановлено, що одним із напрямків забезпечення подальшого зростання кількості перевезень є збільшення швидкостей руху пасажирських поїздів. Сформовано цільову функцію експлуатації швидкісних поїздів, яка дозволяє визначити оптимальне значення середньої швидкості руху при безупинному пропуску швидкісного поїзда із забезпеченням мінімальних витрат на перевезення.

Ключові слова: швидкісний поїзд, цільова функція, середня швидкість руху.

Рассмотрены особенности развития скоростного движения в Украине, проанализированы объемы перевозок пассажиров и установлено, что одним из направлений обеспечения дальнейшего роста перевозок является увеличение скоростей движения пассажирских поездов. Сформирована целевая функция эксплуатации скоростных поездов, которая позволяет определить оптимальное значение средней скорости движения при безостановочном пропуске скоростного поезда с обеспечением минимальных затрат на перевозку.

Ключевые слова: скоростной поезд, целевая функция, средняя скорость движения.

The features of the development of high-speed movement in Ukraine. Increasing volumes of passenger traffic in high-speed trains suggest that they are in great demand among the population. But today, the railways have not fully comply with modern requirements for transport, especially for the duration of travel. The maximum permitted speed of trains on the railways remains low compared to European railways. Analysis of passenger traffic volumes proved that one of the ways to ensure continued traffic growth is to increase the speeds of passenger trains.

Formed objective function operation of high-speed trains, which allows you to determine the optimal value of the average speed during non-stop passage of high-speed train with the lowest cost for transportation. Based on researches, the benefits of rapid transit and world experience can be argued that Ukraine would be appropriate and beneficial to further the implementation of high-speed traffic.

Keywords: high-speed train, the objective function, average speed traffic.

Вступ. Сучасне залізничне сполучення неможливо без високих швидкостей як основи інноваційного розвитку залізниць та ефективного інструменту для вирішення

важливих соціально-економічних завдань в масштабах всієї держави. Повна реалізація проєктів швидкісного і високошвидкісного руху зробить вагомий внесок в усунення

«вузьких місць» транспортної системи України і дозволить зняти ряд обмежень економічного зростання за рахунок збільшення бюджетних доходів, розвитку вітчизняного машинобудування, туризму та інших суміжних галузей економіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автор статті [1] стверджує, що розбудова на території України швидкісних та високошвидкісних магістралей створить ряд конкурентних переваг не лише для залізничного транспорту, а й всієї економіки країни за рахунок залучення додаткових обсягів транзитних вантажів. Саме тому реалізація необхідних заходів дозволить досягти синергетичного ефекту, який, з одного боку, буде проявлятися в підвищенні швидкості руху на магістралях країни, з іншого – в покращенні якості перевезень та підвищенні рівня їх безпеки, а також сприятиме закріпленню Укрзалізниці на ринку транспортних послуг. У праці [2] розроблено методичний підхід до визначення раціональних зон курсування швидкісних та високошвидкісних поїздів, який додатково враховує: стан залізничної інфраструктури та можливість її реформування; транзитний потенціал країни в пасажирському русі; стан економіки та економічний потенціал країни; привабливість інвестиційного клімату; платоспроможність різних прошарків населення; попит на користування залізничним транспортом та стан культури населення. Врахування цих факторів дозволить підвищити ефективність впровадження та експлуатації швидкісних і високошвидкісних поїздів.

Створення привабливих умов транспортного забезпечення в умовах розвитку швидкісного руху дозволить залучити на залізничний транспорт додатковий пасажиропотік з авіаційного та автомобільного транспорту, а також скоротити збитковість пасажирських перевезень на цих напрямках [3]. У роботі [4] розглядаються питання формування моделі прогнозування кореспонденцій

потоків на залізничних лініях при впровадженні швидкісних пасажирських поїздів. Запропоновано процедуру настроювання моделі прогнозування на основі генетичного алгоритму з дійсним кодуванням. Проведені експериментальні дослідження підтверджують, що запропонована процедура настроювання є стійкою, прийнятно складною та дозволяє підвищити точність прогнозування. На підставі проведеного аналізу у роботі [5] визначено, що найбільш прийнятним напрямком розвитку системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень в Україні є змішаний варіант розвитку мережі швидкісних сполучень на основі модернізації існуючих залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год. Даний підхід передбачає розвиток розгалуженої мережі спеціалізованих ліній, на яких поїзди здатні розвивати швидкість до 180 км/год з можливістю часткової взаємодії зі звичайною мережею. У роботі [6] розроблено методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування пасажирських поїздів різних видів, який базується на зниженні їх експлуатаційних витрат та підвищенні швидкості руху при зміні організації руху за новою класифікацією поїздів, що дозволить підняти економічну ефективність або знизити збитковість пасажирських перевезень та підвищити їх конкурентоспроможність на ринку пасажирських транспортних послуг.

Для забезпечення інтеграції високошвидкісних ліній із звичайною залізничною мережею є потреба в залізничних розв'язках. У праці [7] проведено дослідження з метою розробки сортувальної станції майбутнього, яка зможе полегшити обмін між високошвидкісною залізницею та звичайною. Розробки та можливості японських і французьких високошвидкісних магістралей проаналізовано у праці [8]. Результати, отримані у дослідженні, свідчать про те, що в більшості країн

Європи та США доцільно було б застосувати французьку модель для виконання пасажирських перевезень: є схожість з точки зору географії, розподілу населення та відстаней. Усі проаналізовані роботи доводять, що висока швидкість залізничних перевезень є життєспроможним та привабливим способом організації перевезень.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є формування цільової функції експлуатації швидкісних поїздів в Україні. Для реалізації зазначеної мети необхідно розглянути особливості розвитку швидкісного руху на мережі залізниць, визначити його переваги та розробити цільову функцію експлуатації швидкісних поїздів.

Основна частина дослідження. Велика провізна спроможність залізниць, стабільність їх роботи та порівняна дешевизна перевезень сприяли тому, що залізничний транспорт був і залишається в країні основним перевізником пасажирів у далекому та приміському сполученні.

Відповідно до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р., схваленої Кабінетом Міністрів України у 2009 р., основними напрямками її реалізації є: удосконалення технології організації перевезень шляхом організації руху поїздів за напрямками, які будуть орієнтовані переважно на один вид перевезень (пасажирські або вантажні); підвищення швидкості руху вантажних поїздів до 100-120 і пасажирських – до 160-200 км/год; поетапне впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів, насамперед за напрямками Київ - Донецьк, Київ - Харків, Київ - Одеса, Київ - Дніпропетровськ, Київ - Львів [9].

У 2012 році почалася активна реалізація певних напрямів стратегії впровадження на залізницях швидкісних перевезень. Основним етапом цього процесу було створення 22 лютого 2012 року «Української залізничної швидкісної компанії» — першої в Україні компанії з

перевезення пасажирів денними швидкісними поїздами Інтерсіті.

На сьогоднішній день «Українська залізнична швидкісна компанія» — єдиний державний оператор пасажирських залізничних перевезень, в експлуатації якого знаходиться новітній рухомий склад: 10 електропоїздів виробництва компанії «Hyundai Rotem» (Республіка Корея) у дев'ятивагонній комплектації; два поїзди у складі по п'ять вагонів локомотивної тяги виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ«КВБЗ»); два двосистемні електропоїзди Екр-1 виробництва ПАТ «КВБЗ» у дев'ятивагонній комплектації. Мережа маршрутів компанії має дуже широкий спектр. Наразі вона об'єднує Київ з Запоріжжям, Дніпропетровськом, Харковом, Трускавцем, Одесою, Львовом та Тернополем.

Слід зазначити, що курс «Української залізничної швидкісної компанії» повністю узгоджується зі стратегією реформування галузі – сегментування залізничного транспорту за окремими напрямками діяльності. Швидкісна компанія створена з метою розширення та покращення комплексу послуг, що надаються пасажирам під час поїздки у швидкісних поїздах.

За чотири роки діяльності швидкісної компанії в Україні поїздами Інтерсіті+ та Інтерсіті скористалися понад 8 млн пасажирів [10]. У 2015 році перевезено понад 3 млн пасажирів, а середньомісячний пасажиропотік становить 256 тис. пасажирів. Влітку 2016 р. в Одеському напрямку поїздами Інтерсіті+ скористалися на 46 % більше пасажирів, ніж минулого року – 187 тис. пасажирів. Також збільшилася і заповнюваність поїздів на 26,3 % і досягла 96,4 %.

Станом на березень 2016 р. територією України курсувало 12 пар швидкісних поїздів, а це – 24 рейси щодня на маршрутах: Київ – Харків, Дарниця – Львів, Дарниця – Трускавець, Київ – Дніпропетровськ, Красноармійськ, Київ – Запоріжжя, Київ – Костянтинівка, Дарниця – Тернопіль, Дарниця – Одеса.

Отже, зростаючі обсяги пасажирських перевезень у швидкісних поїздах свідчать про те, що вони користуються чималим попитом у населення. Один із напрямків забезпечення подальшого зростання кількості перевезень для України – збільшення швидкостей руху пасажирських поїздів.

Сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок. Незважаючи на вжиті за останні роки заходи з оновлення залізничних колій та рухомого складу максимально дозволена швидкість руху пасажирських поїздів на залізницях залишається порівняно невисокою – 120 км/год (крім напрямків Київ - Харків та Київ - Дніпропетровськ з максимальною швидкістю руху 140 км/год). Маршрутна швидкість

руху пасажирських поїздів на основних напрямках ще нижча (55-65 км/год) [11].

Аналізуючи міжнародний досвід, особливо японський, можна побачити, що зростання швидкісних перевезень йде досить швидкими темпами. В Європі все більше країн приділяють багато уваги розвитку високошвидкісного залізничного сполучення. Успіхи високошвидкісного руху в Європі і Японії показують, що цей шлях дозволяє забезпечити потреби населення в перевезеннях з мінімальним впливом на навколишнє середовище. При цьому високошвидкісні поїзди успішно конкурують з авіаційним і автомобільним транспортом на відстанях 300-1000 км.

Визначено основні переваги від впровадження швидкісного пасажирського руху (рис. 1).

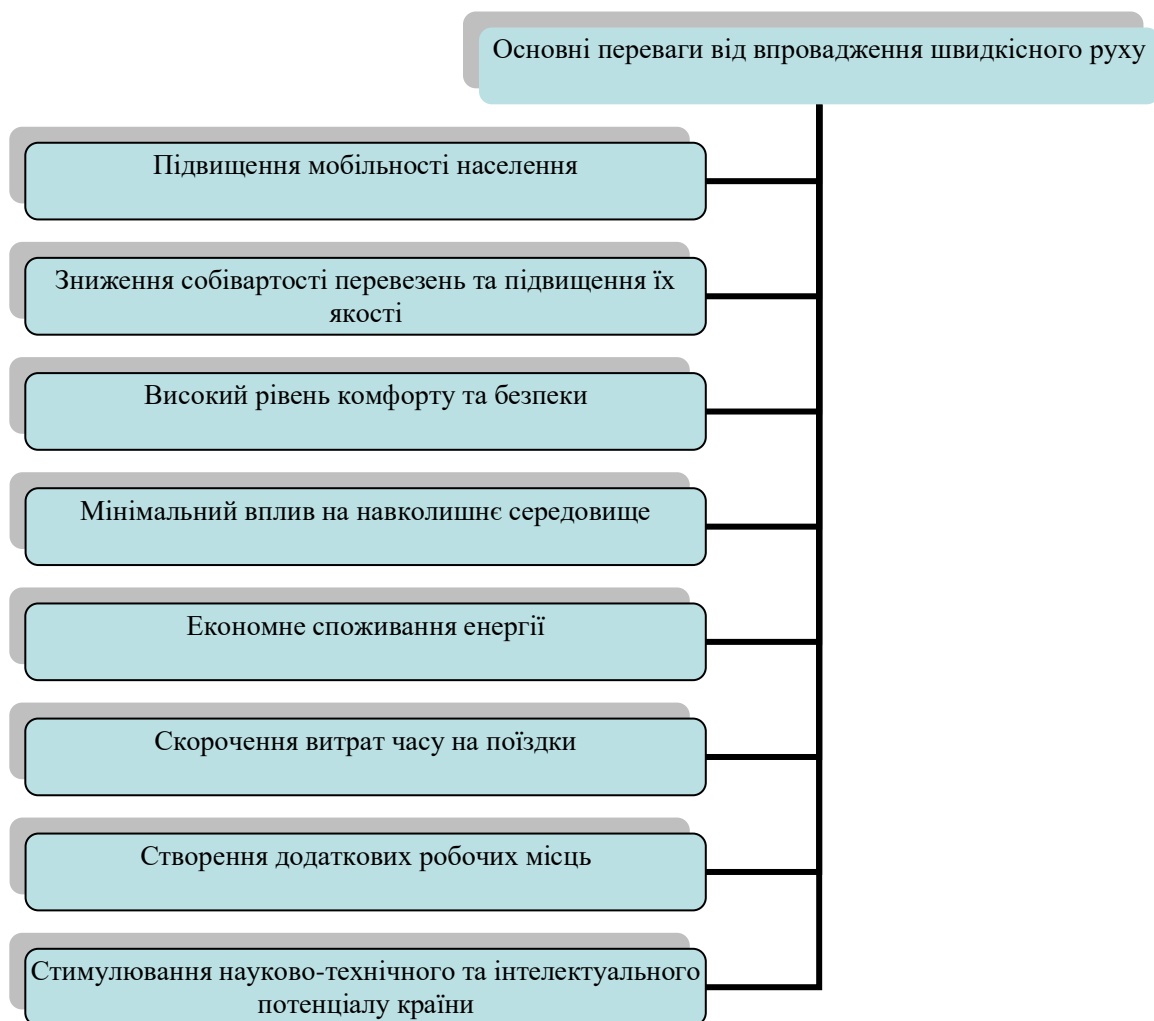


Рис. 1. Основні переваги від впровадження швидкісного пасажирського руху

При підвищенні мобільності населення час у дорозі між столицями регіонів складає в середньому 1 год і суттєво підвищить економічну активність і трудову міграцію. Зниження собівартості перевезень та підвищення їх якості за рахунок поділу ліній пасажирського і вантажного руху забезпечить зростання пропускних спроможностей високозавантажених напрямків і зниження інвестиційних витрат на розширення існуючої інфраструктури. Високий рівень комфорту забезпечується за рахунок сучасного рухомого складу із затишним інтер'єром, який створено з урахуванням всіх законів ергономіки. До того ж швидкісні поїзди мінімально впливають на навколишнє середовище в порівнянні з іншими видами транспорту.

Енергоефективність швидкісних поїздів може досягти нового рівня вже сьогодні завдяки проведенню заходів, спрямованих на поліпшення технології виробництва поїздів і методів управління пересуванням по залізницях. Розробляючи графіки руху, фахівці розраховують необхідну кількість часу для даного маршруту і плюс додатковий час, який може використовуватися при запізненні складу або для економії енергії. Також враховується і той факт, що при максимальній швидкості витрачається мінімальна кількість часу і максимальне споживання енергії.

Організація швидкісного руху забезпечує підтримку і подальше стимулювання науково-технічного та інтелектуального потенціалу країни за рахунок розміщення на вітчизняних

підприємствах замовлень на створення нових зразків техніки світового рівня.

Для ефективної експлуатації швидкісних поїздів необхідною умовою є мінімізація сукупних експлуатаційних витрат. Тому цільову функцію доцільно подати як суму приведених витрат на один швидкісний поїзд в залежності від середньої швидкості руху при безупинному пропуску швидкісного поїзда

$$R(V) = Z_m C_{ткм} + \frac{LC_{n-2}}{\alpha_m V} \rightarrow \min ,$$

де Z_m – механічна робота локомотива, що витрачається на переміщення поїзда, ткм;

$C_{ткм}$ – вартість 1 т-км механічної роботи локомотива, грн;

L – відстань перевезення, км

C_{n-2} – вартість поїздо-години швидкісного поїзда, грн;

α_m – коефіцієнт маршрутної швидкості, можна прийняти $\alpha_m = 0,9$;

V – середня швидкість руху поїзда без урахування зупинок і витрат часу на розгони і уповільнення, км/год.

Механічну роботу локомотива можна визначити таким чином:

$$Z_m = QL + QVK_3 ,$$

де Q – маса поїзда брутто, т;

K_3 – кількість зупинок швидкісного поїзда.

Вартість поїздо-години швидкісного поїзда

$$C_{n-2} = \sum C_{в-2} n + C_n r_n + k_l C_{л-2} + k_{бр} C_{бр-2}^л + k_{пр} C_{бр-2}^{пр} ,$$

де $C_{в-2}$, $C_{л-2}$ – вартість вагоно- та локомотиво-години відповідно, грн;

n – число вагонів у составі;

C_n – вартість 1 пас.год, грн;

r_n – розрахункова населеність швидкісного поїзда;

$k_l, k_{бр}, k_{пр}$ – коефіцієнти, що враховують час позапоїзної роботи, локомотива, локомотивної бригади і бригади провідників відповідно;

$C_{бр-г}^l, C_{бр-г}^{пр}$ – вартість 1 год роботи локомотивної бригади і бригади провідників відповідно, грн.

Таким чином, оптимальне значення середньої швидкості руху визначається мінімальним значенням цільової функції

$$R(V) = (QL + QVK_z)C_{ткм} + \frac{L(\sum C_{в-г}n + C_n r_n + k_l C_{л-г} + k_{бр} C_{бр-г}^l + k_{пр} C_{бр-г}^{пр})}{\alpha_m V} \rightarrow \min .$$

Реалізація функції показала, що для усереднених вихідних даних можливо отримати оптимальне значення середньої

швидкості руху при безупинному пропуску швидкісного поїзда - 160 км/год при мінімальних витратах 7023,42 грн (рис. 2).

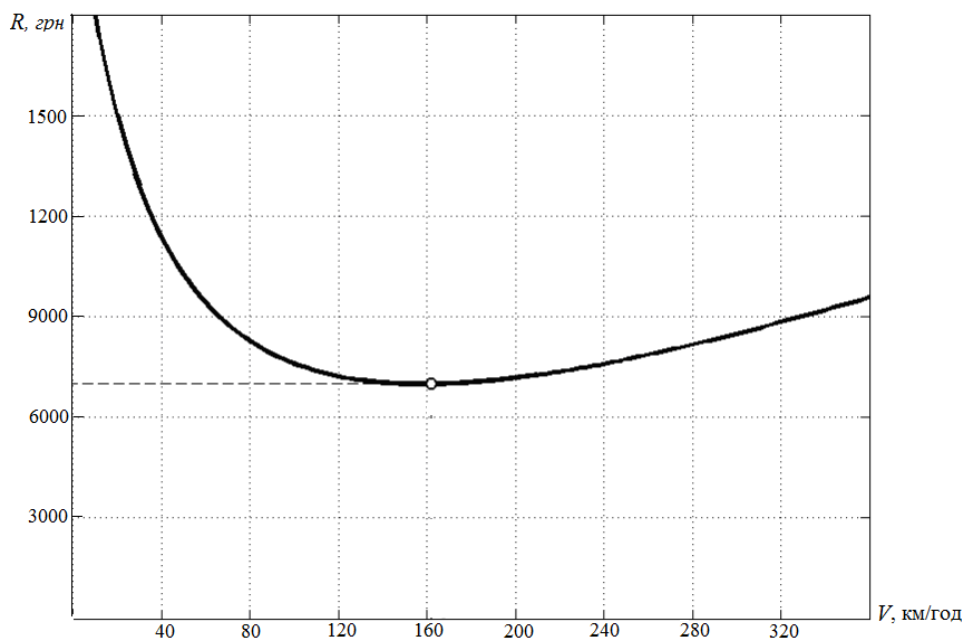


Рис. 2. Залежність сукупних витрат на один поїзд від середньої швидкості руху

Отже, спираючись на проведені дослідження, переваги швидкісних перевезень та світовий досвід, можна стверджувати, що для України буде доцільним та вигідним подальше впровадження швидкісних перевезень на

всіх густонаселених напрямках. Згодом можливе поетапне збільшення швидкості руху поїздів спочатку до 200 км/год, а потім і понад 200 км/год (високошвидкісний рух), але це потребує додаткових капіталовкладень в інфраструктуру,

пов'язаних з побудовою спеціально виділених залізничних колій – високошвидкісної магістралі (ВШМ). Досвід усіх здійснених проєктів ВШМ у світі показав, що в транспортних коридорах після початку експлуатації високошвидкісних поїздів відбувається перерозподіл пасажиропотоку на користь саме високошвидкісного залізничного транспорту.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, розглянуто організацію швидкісних залізничних перевезень в Україні та встановлено, що сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок. Максимальна

дозволена швидкість руху пасажирських поїздів на залізницях залишається невисокою у порівнянні з європейськими залізницями. Аналіз обсягів перевезень пасажирів довів, що одним із напрямків забезпечення подальшого зростання кількості перевезень є збільшення швидкостей руху пасажирських поїздів. Тому визначено оптимальне значення середньої швидкості руху при безупинному пропуску швидкісного поїзда – 160 км/год при мінімальних витратах 7023,42 грн. Відповідно до виконаних досліджень та міжнародного досвіду встановлено, що для України буде доцільним та вигідним подальше впровадження швидкісних перевезень.

Список використаних джерел

1. Корінь, М. В. Організація високошвидкісного руху як фактор забезпечення конкурентних переваг залізничного транспорту України [Текст] / М.В. Корінь // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2011. – № 34. – С. 189-194.
2. Момот, А. В. Методичний підхід до визначення раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів та раціональних зон їх курсування [Текст] / А.В. Момот // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С. 80-89.
3. Кішко, О. В. Удосконалення перевезення пасажирів при розвитку залізничного швидкісного руху [Текст] / О.В. Кішко, Г.М. Сіконенко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 55-59.
4. Пархоменко, Л. О. Процедура формування моделі прогнозування пасажиропотоків на залізничних лініях [Текст] / Л.О. Пархоменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2013. – Вып. 5/4 (65). – С. 7 – 10.
5. Пархоменко, Л. О. Дослідження напрямків розвитку швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху поїздів на залізницях України [Текст] / Л.О. Пархоменко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 44-50.
6. Бараш, Ю. С. Методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування різних видів пасажирських поїздів [Текст] / Ю.С. Бараш, О.О. Матусевич // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2015. – Вип. 50. – С. 169-176.
7. Abbott D. An event based simulation model to evaluate the design of a rail interchange yard, which provides service to high speed and conventional railways [Text] / D. Abbot, M. Varbanov-Marinov // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2015. – Vol. 52. – P. 15-39.
8. Palacin R. High speed rail trends, technologies and operational patterns: a comparison of established and emerging networks [Text] / R. Palacin, L. Raif, Ö. Deniz., N. Yan // Transport Problems INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL. – 2014. – Volume 9. Special Edition. – P. 123 – 129.

9. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1555-2009-%D1%80>.

10. За чотири роки роботи Української залізничної швидкісної компанії швидкісними поїздами скористалися понад 8 мільйонів пасажирів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.magistral-uz.com.ua/news/za-chotiri-roki-roboti-ukrainskoi-zaliznichnoi-shvidkisnoi-kompanii-shvidkisnimi-poizdami-skoristalisja-ponad-8-miljoniv-pasazhiriv.html>.

11. Про схвалення Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. N 979-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/979-2004-%D1%80>.

Бауліна Ганна Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85.

Левченко Валентин Сергійович, магістр групи МЗ-TEMPUS-ОПУТ-Б15, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85.

Baulina Ganna, PhD. sc., associate professor of the department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85.

Levchenko Valentin, master of the group MZ-TEMPUS-ОПУТ-Б15, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85.

Стаття прийнята 26.09.2016 р.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 164

«Збірник наукових праць УкрДУЗТ» включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. № 1328 (додаток 8)).

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Янченко Л.В.

Редактори Буранова Н.В., Еткало О.О.,
Ібрагімова Н.В., Решетилова В.В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 27.10.2016 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.друк. арк. 17,5. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.