



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 180. Спеціальний випуск

Харків 2018

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 № 8 від 30 жовтня 2018 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)).

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

**COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF THE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF RAILWAY
TRANSPORT**

Випуск 180. Спеціальний випуск

«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.

Всі статті пройшли подвійне сліпе наукове рецензування.

Відповідальний за випуск Новікова М.А.

Редактори Еткало О. О., Решетилова В. В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 30.10.2018 р.

Формат паперу А4. Папір писальний.

Умовн.друк. арк. 12,25. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018р.

Редакційна колегія

Головний редактор – Вовк Руслан Володимирович, доктор фізико-математичних наук, професор, УкрДУЗТ

Залізничний транспорт (273)

Пузир В. Г., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Фомін О. В., д.т.н., доцент (ДУІТ, м. Київ)
Путято А. В., д.т.н., доцент (БДУТ, Білорусь)
Горобченко О. М., д.т.н., доцент (ДУІТ, м. Київ)
Дацун Ю. М., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Мартинов І. Е., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Bureika G., dsc, professor (VGTU, Литва)
Михалків С. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Ловська А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

Транспортні технології (275)

Панченко С. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Бутько Т. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Прохорченко А. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Шраменко Н. Ю. д.т.н., професор (ХНТУСГ)
Мороз М. М. д.т.н., професор (КНУ, м. Кременчук)
Кириллова О. В., д.т.н., доцент (ОНМУ, м. Одеса)
Бабаєв М. М., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Даренський О. М., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Лаврухін О. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Ходаківський О. М., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

Будівництво та цивільна інженерія (192)

Бліхарський З. Я., д.т.н., проф. (НУ Львівська політехніка)
Борзяк О. С., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Ватуля Г. Л., д.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Лобяк О. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Орел Є. Ф., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Плугін А. А., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Плугін Д. А., д.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Пушкарьова К. К., д.т.н., професор (КНУБА)
Толмачов С. М., д.т.н., професор (ХНАДУ)
Трикоз Л. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Шабанова Г. М., д.т.н., професор (НТУ ХПІ)
Шмуклер В. С., д.т.н., професор (ХНУМГ)
Fisher Hans-Bertram., dr. ind., professur (Bauhaus-Universität Weimar F.A., Німеччина)
Опанасенко О. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

Механічна інженерія (131, 132, 133)

Астанін В. В., д.т.н., професор (НАУ м. Київ)
Воронін С. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Геворкян Е. С., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Ковальова І. М., к.т.н., доцент (НАНБ, Білорусь)
Онопрейчук Д. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Стефанов В. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Тимофеев С. С., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Тимофеева Л. А., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Федориненко Д. Ю., д.т.н., професор (ЧНТУ, м. Чернігів)

Теплоенергетика (144)

Каграманян А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Мороз В. І., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Фалендиш А. П., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Грицук І. В., д.т.н., доцент (ХМДА, м. Херсон)
Сотник М. І., д.т.н., доцент (СДУ, м. Суми)
Дешко В. І., д.т.н., професор (НТУ, м. Київ)
Володарець М. В., к.т.н., старш. викл. (УкрДУЗТ)
Бабіченко Ю. А., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Pavlenko A., dsc. tech., profesor (KUT, Poland)
Bartoszewicz J., dsc. tech., profesor (PUT, Poland)
Tomaszewski F., phd, profesor (PUT, Poland)

ЗМІСТ

Залізничний транспорт (273)

<i>Рубльов В. І., Рубльов О. В.</i> Модернізація локомотива ТЕП150 шляхом заміни силової енергетичної установки	7
<i>Труфанова А. В., Шишкова Н. М.</i> Еволюція системи кондиціонування повітря в пасажирських вагонах	12
<i>Сумцов А. Л., Чигирик Н. Д., Павлюченков М. В., Калініченко В. В.</i> Вибір методів діагностування допоміжних електричних машин електровозів постійного струму	19
<i>Пузир В. Г., Дацун Ю. М., Сендюк В. Е., Пиво В. В.</i> Аналіз методів оцінки якості роботи форсунок дизелів тепловозів	25
<i>Пузир В. Г., Громак А. Ю.</i> Вибір ергатичної моделі передрейсової підготовки локомотивних бригад швидкісного руху	33
<i>Войнаровська Т. В., Деордієва Н. С., Сауляк С. С., Леонов В. І.</i> Аналіз та вибір алгоритму розпізнавання сходу вагонів швидкісного руху	39
<i>Харламов П. О., Парпура К. Ю., Харламова О. М.</i> Підвищення ефективності високошвидкісного залізничного транспорту шляхом використання системи постійного струму підвищеної напруги	46
<i>Сушко Д. Л., Хатнянський С. С.</i> Аналіз схем компенсації реактивної потужності в системі тягового електропостачання	52
<i>Жалкін С. Г., Брехаря А. К.</i> Мобільна технологія технічного обслуговування маневрових тепловозів	59
<i>Пузир В. Г., Москаленко К. С.</i> Комплекс методик оцінки надійності роботи локомотивних бригад високошвидкісного руху	65

Транспортні технології (275)

<i>Ломотько Д. В., Олексенко А. Г.</i> Підвищення рентабельності роботи сервіс-центрів на залізничному транспорті	73
<i>Бутько Т. В., Клок Є. М.</i> Дослідження можливості організації швидкісного руху на напрямку Маріуполь-Запоріжжя-Маріуполь	81
<i>Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гордієнко Д. А., Соловійов Д. В., Цибульник В. Р.</i> Розробка конструктиву засувки промислового приладу для кріплення на DIN-рейку	88
<u>Даренський О. М.</u> , <i>Бугасць Н. В., Покотецький І. О., Коваль В. М.</i> Математична модель взаємодії колії і рухомого складу в зоні рейкових стиків	96

<i>Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Кавун В. Є., Машура А. В., Гордієнко Д. А., Цибульник В. Р.</i> Аналіз показників енергоефективності автономних інверторів напруги з різними типами модуляції	106
<i>Малахова О. А., Сіконенко Г. М., Скорик О. В., Соломський Р. Ю.</i> Планування відправлення пасажирських поїздів з урахуванням умов та кон'юнктури ринку транспортних послуг	120
<i>Примаченко Г. О., Ясеновська К. Р.</i> Моделювання логістичної системи управління швидкісними залізничними перевезеннями	127
<i>Долгополов П. В., Головка Т. В., Чернишенко С. В.</i> Підвищення якості обслуговування пасажирів в умовах функціонування швидкісного руху	136
Теплоенергетика (144)	
<i>Ткач А. С., Сучкова Є. Д., Сінчук В. І.</i> Вибір рекуператорів для системи вентиляції будівель	143

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.426

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛОКОМОТИВА ТЕП150 ШЛЯХОМ ЗАМІНИ СИЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Канд. техн. наук В. І. Рубльов, магістрант О. В. Рубльов

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛОКОМОТИВА ТЭП150 ПУТЕМ ЗАМЕНЫ СИЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Канд. техн. наук В. И. Рублев, магистрант О. В. Рублев

MODERNIZATION OF LOCOMOTIVE TEP 150 BY REPLACEMENT OF POWER ENERGY INSTALLATION

PhD (Tech.) V. I. Rublov, master O. V. Rublov

Для підтримки конкурентоспроможності залізничного транспорту, а також для збільшення відсотка пасажирів, які для пересування користуються (обирають) поїзди, перед ПАТ «Укрзалізниця» постає питання оновлення або модернізації рухомого складу. Тому для інтеграції України в європейську транспортну систему рекомендується детально дослідити питання розробки нового рухомого складу на основі існуючого із заміною енергетичної установки (дизеля) на ГТУ.

Ключові слова: швидкісні залізничні перевезення, рухомий склад, газотурбінна енергетична установка.

Для поддержания конкурентоспособности железнодорожного транспорта, а также для увеличения процента пассажиров, которые для передвижения пользуются (выбирают) поезда, перед ПАО «Укрзалізниця» встает вопрос обновления или модернизации подвижного состава. Поэтому для интеграции Украины в европейскую транспортную систему рекомендуется детально изучить вопросы разработки нового подвижного состава на основе существующего с заменой энергетической установки (дизеля) на ГТУ.

Ключевые слова: скоростные железнодорожные перевозки, подвижной состав, газотурбинная энергетическая установка.

Railway transport of Ukraine plays the leading role in implementation of economic relations of the country. The main segment of the market of passenger traffic falls to his share. It is explained by their high social and economic value in life of society and performance of one of guarantees of the state – freedom of movement. Rather high density of railway tracks almost in all countries of Europe, rather low expenses at long-distance transportations, safety and environmental friendliness of this type of transport promote it. Today one of priority tasks for PJSC Ukrzaliznytsia (further PJSC UZ) – is development of high-speed rail transportation. PJSC UZ expands possibilities of passengers more and more. Besides, in order to integration of Ukraine into the European system of high-speed rail transportation it's recommended to investigate the development of a new rolling stock on the basis of the existing power plant (diesel) to replace the GTU. A gas turbine locomotive is a type of railway locomotive in which the prime mover is a gas turbine. Several types of gas

turbine locomotive have been developed, differing mainly in the means by which mechanical power is conveyed to the driving wheels (drivers). A gas turbine offers some advantages over a piston engine. There are few moving parts, decreasing the need for lubrication and potentially reducing maintenance costs. A turbine of a given power output is also physically smaller than an equally powerful piston engine, allowing a locomotive to be very powerful without being inordinately large. Unlike steam engines, internal combustion engines require a transmission to power the wheels. The engine must be allowed to continue to run when the locomotive is stopped. The use of gas turbine traction will solve the problem of matching the traction characteristics of the autonomous and electric rolling stock on the axial power, speed characteristics and unification of the crew.

Keywords: *high-speed rail transportation, rolling stock, gas turbine power plant, gas turbine unit.*

Вступ. Зі збільшенням попиту на швидкісні перевезення пасажирів на залізничному транспорті і для підвищення конкурентоспроможності з автомобільним та повітряним транспортом при інтеграції України до європейської транспортної системи потрібно провести оновлення рухомого складу, збільшити швидкість та забезпечити комфорт і безпеку пасажирів при подорожі відповідно до європейських стандартів та вимог.

Таким чином, потрібно поповнити рухомий парк новим або провести модернізацію тепловозів із гібридною енергетичною установкою, тобто використати газотурбіну установку (ГТУ) на локомотиві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми підвищення швидкості пасажирських залізничних перевезень в Україні останнім часом широко висвітлюються у працях вітчизняних та іноземних учених, а саме: П. С. Анисимова, Г. М. Кірпи, І. П. Кисельова, О. О. Матвієнка, В. І. Ангелейка, Е. І. Даніленка, Є. М. Сича, В. Л. Диканя [1-6] та ін.

Наукові основи також покладені в книзі Е. Т. Бартоша [7], де детально розкрита проблематика газотурбінної тяги на залізницях і термодинамічні основи роботи газотурбінних двигунів. Також увага приділена таким транспортним питанням:

- тягова характеристика турбіни, двигуна та силової установки в цілому;
- вибір оптимальних параметрів двигуна газотурбовозів та турбовозів;

- особливості експлуатації та перспективи розвитку газотурбінного рухомого складу.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення нового рухомого складу на основі існуючого із заміною енергетичної установки (дизеля) на ГТУ; підбір відповідної газотурбінної енергетичної установки на локомотив з необхідною потужністю, а також проведення аналізу даної установки при роботі на різних видах палива для простого та складного циклу.

Основна частина дослідження. Уперше в світі локомотив з ГТД (газотурбовоз) № 1101 потужністю 1618 кВт (2200 к.с.) був побудований в 1941 р. у Швейцарії фірмою «Brown Boveri» для Швейцарських федеральних залізниць. Газотурбінний двигун являв собою одновальну силову установку з регенерацією тепла вихідних газів, змонтований на одній рамі з редуктором і генератором постійного струму. Рама також служила резервуаром для палива і масла.

У СРСР роботи над створенням газотурбовозу почалися в 1954 р. Були розроблені кілька моделей локомотивів і випущені доглядні екземпляри, що проходили випробування. 30 вересня 1959 р. завершили складання газотурбовоза Г1-01 конструкції Л. С. Лебедянського. 24 грудня його обкатали на магістралі і до Нового року відправили на випробувальне кільце МШС.

Протягом року Г1-01 показував хороші якості і надійну роботу. У 1964 р. побудували два пасажирських газотурбовози – ГП1-0001 і ГП1-0002. Їх створили на основі ходової частини і кузова ТЕП60 з ГТД потужністю близько 3,5 тис. к.с., які пропрацювали більше 10 років без зауважень [8].

Нафтова криза 1973 р. призвела до різкого зростання цін на паливо. Деякі країни, в тому числі Франція, електрифікували свої залізничні лінії. Через це не був реалізований проект високошвидкісного пасажирського руху з використанням газотурбовоза TGV 001 (1969 р., виробництво Alstom) [1].

У 1964 р. були побудовані два пасажирських газотурбовози ГП1-0001 і ГП1-0002. Восени 1965 р. в депо Льгов почав експлуатаційну роботу газотурбовоз Г1-01, пасажирські газотурбовози надійшли туди після налагоджувальних тягових випробувань на експериментальному кільці ЦНДІ МШС. Минуло понад п'ять років роботи газотурбовозів у депо Льгов. За цей час вони пробігли з поїздами понад 600 тис. км.

Завдяки простоті конструкції і малій вазі деталей і вузлів ГТУ легко піддається розбиранню, огляду і ремонту навіть в депо, що не має спеціального обладнання. Заміна і ремонт підшипників, камер згоряння, зміна окремих лопаток (без балансування ротора), розбирання, складання і центрування турбомашин вільно здійснюються силами слюсарів. При наявності в депо балансування верстата була б можлива і повна зміна лопаток турбін і компресорів.

Можна з упевненістю сказати, що впровадження газотурбовозів не тільки не потребує додаткових капітальних вкладень в ремонтну базу депо і заводів, а навпаки, спростить і здешевить її, значно скоротить витрати на ремонт локомотивів [8].

На неелектрифікованих ділянках для забезпечення прискореного руху слід використовувати локомотив з автономною

тягою. Візьмемо за основу тепловоз ТЕП150, конструкція якого дозволяє розвинути високу швидкість. Локомотив з ГТУ повинен розвивати швидкість 200 км/год. Для цього необхідно визначити потужність ГТУ. Дана потужність розраховується за відомою методикою [9].

Необхідно розрахувати залежність найбільшої дотичної сили тяги, яка може бути реалізована локомотивом при відсутності боксування коліс, від швидкості руху $F_k = f(V)$

$$F_k = \varphi_k \cdot P_{зч}, \quad (1)$$

де F_k – найбільша сила тяги локомотива, що допускається за умовами зчеплення коліс з рейками, кН;

$P_{зч}$ – зчіпна вага локомотива (навантаження, що передається від рушійних коліс на рейки), кН;

φ_k – розрахунковий коефіцієнт зчеплення.

$$P_{зч} = P \cdot m, \quad (2)$$

де P – навантаження від рушійної колісної пари на рейки, кН;

m – число рушійних колісних пар локомотива (рівне кількості тягових електродвигунів).

$$\varphi_k = 0,118 + \frac{5}{27,5 + V}. \quad (3)$$

У точці перетину кривої $F_{зч}=f(V)$ і тягової характеристики $F_k=f(V)$ повністю використовується як зчіпна вага локомотива, так і потужність тягових електродвигунів. Тому режим роботи локомотива, відповідний цій точці ($F_{кр}$ і V_p), може бути прийнятий за розрахунковий при визначенні маси складу. Дотична потужність локомотива (на ободі рушійних коліс) при розрахункових тягових параметрах ($F_{кр}$ і V_p) може бути обчислена за формулою, кВт,

$$N_k = \frac{F_k V}{3,6} \quad (4)$$

Результати розрахунку дотичної сили тяги подано на рис. 1.

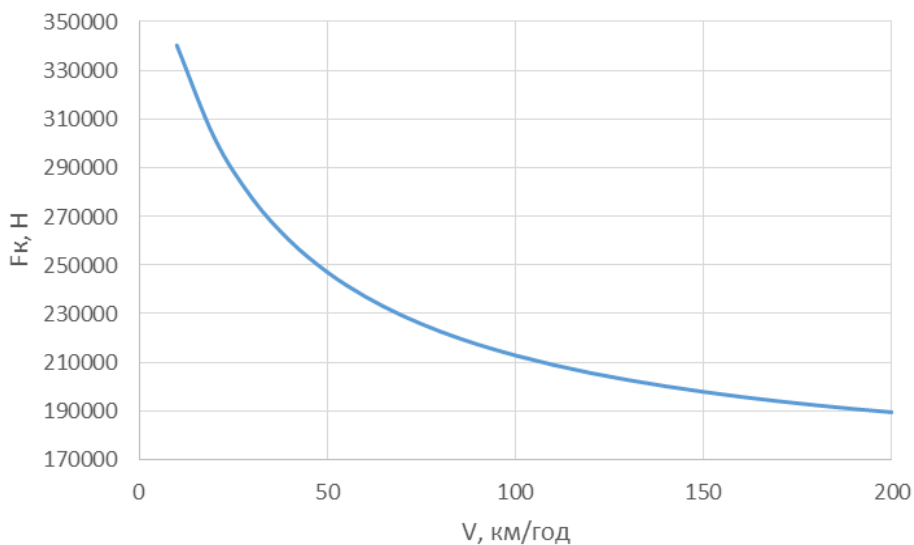


Рис. 1. Залежність дотичної сили тяги від швидкості руху газотурбовоза

Після проведених розрахунків обрано ГТУ потужністю 14 МВт з 25 % запасом на власні потреби локомотива.

Був проведений термодинамічний розрахунок ГТУ з різними видами палива, такими як: пропан-бутан, гас, метан,

водень. Ці види палива мають різну нижчу теплотворну здатність (Н_и). Для ГТУ простого циклу розраховані основні показники. Результати обчислень електричного ККД та секундної витрати палива подано на рис. 2–3.

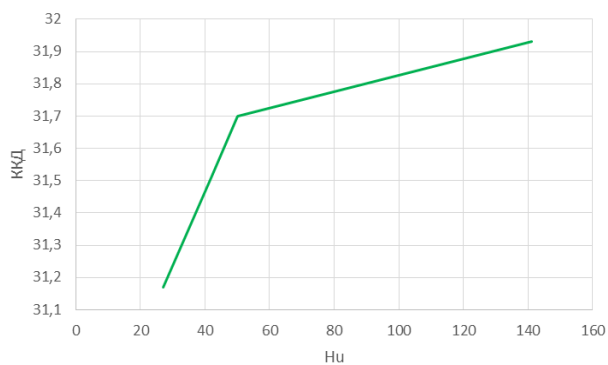


Рис. 2. Залежність ККД від Н_и

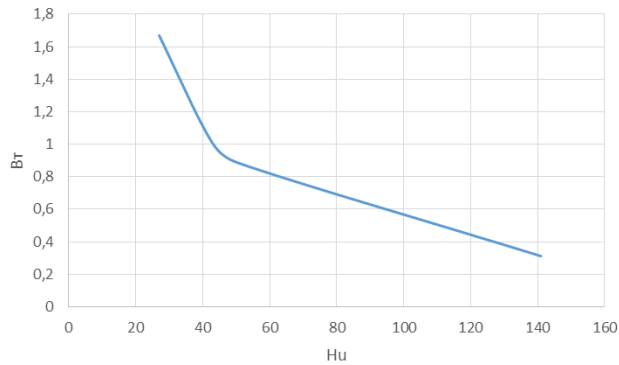


Рис. 3. Залежність витрати палива від Н_и

Для підвищення ККД та економічності ГТУ використовуються складні цикли. На рис. 4–5 подано результати обчислення з регенерацією

теплоти та спільно з регенерацією та проміжним охолодженням. Дані залежності були отримані для газу метан.

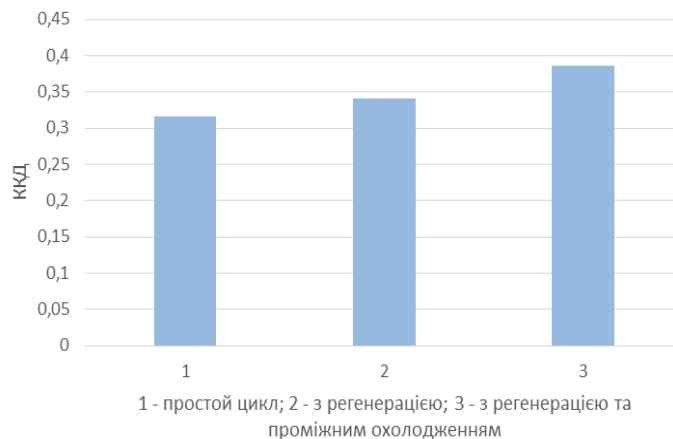


Рис. 4. Залежність ККД від типу циклу

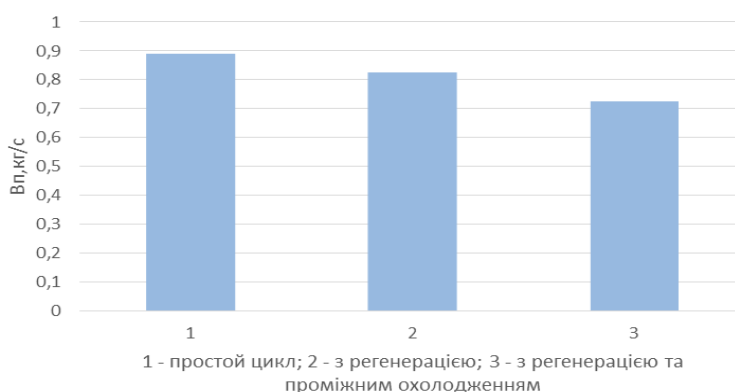


Рис. 5. Залежність витрати палива від типу циклу

Висновки. Застосування газотурбінної тяги дозволить розв'язати проблему узгодження тягових характеристик автономного та електричного тягового складу за осьовою потужністю, швидкісними характеристиками і уніфікацією екіпажу.

Локомотив ТЕР150 можна використовувати як прискорений тепловоз шляхом модернізації силової установки. Пропонується встановити ГТУ потужністю до 14000 кВт.

Список використаних джерел

1. 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.
2. Залізниця світу в XXI столітті [Текст] : монографія / за заг. ред. Г. М. Кірпи. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 224 с.
3. Киселев, И. П. Высокоскоростные железные дороги [Текст] / И. П. Киселев, К. А. Сотников, В. С. Суходоев. – СПб. : Изд-во Петербург. гос. ун-та путей сообщения, 2001. – 60 с.
4. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст] : підручник для вищ. навч. закл.: у 2 т. / Е. І. Даніленко. – К. : Інпрес, 2010. – Т. 1. – 528 с.

5. Дикань, В. Л. Забезпечення ефективності інноваційної діяльності підприємств залізничного транспорту [Текст] : монографія / В. Л. Дикань, В. О. Зубенко. — Харків : УкрДАЗТ, 2008. — 193 с.

6. Nock, O. S. Experimental gas turbine locomotive undertakes haulage tests [Text] // Advances in Mechanical Engineering. — 1973. — P. 172.

7. Бартош, Е. Т. Газотурбовозы и турбопоезда [Текст] : підручник / Е. Т. Бартош. — М. : Транспорт, 1978. — 311 с.

8. Бартош, Е. Т. Газовая турбина на железнодорожном транспорте [Текст] : підручник / Е. Т. Бартош. — М. : Транспорт, 1972. — 144 с.

9. Осипов, С. Н. Основы локомотивной тяги [Текст] : учебник / С. Н. Осипов, К. А. Миронов, В. И. Ревич. — М. : Транспорт, 1979. — 440 с.

Рубльов Володимир Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097)781-18-76. E-mail: rublik69@ukr.net.
Рубльов Олег Володимирович, магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097)949-02-47. E-mail: orublyv2102@gmail.com.

Рублев Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (097)781-18-76.
E-mail: rublik69@ukr.net.

Рублев Олег Владимирович, магистрант кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (097)949-02-47.
E-mail: orublyv2102@gmail.com.

Rublov Vladimir Ivanovich, PhD (Tech.), Associate professor, Department of Heat engineering and heat engines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097)781-18-76. E-mail: rublik69@ukr.net.

Rublov Oleh Vladimirovich, master, Department of Maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097)949-02-47. E-mail: orublyv2102@gmail.com.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.

УДК 629.4.125

ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНАХ

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, магістрант Н. М. Шишкова

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ПАСАЖИРСКИХ ВАГОНАХ

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, магістрант Н. Н. Шишкова

EVOLUTION OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN PASSENGER CARS

PhD (Tech.) A. Trufanova, master N. Shyshkova

Забезпечення комфортності на залізничному транспорті неможливе без системи кондиціювання повітря. Нові стандарти різних держав встановлюють нові вимоги щодо комфортності клімату для пасажирського рухомого складу, враховуючи зростання вимог пасажирів щодо комфортності поїздок залізничним транспортом. У статті розглянуто різні системи кондиціювання повітря, встановлені на вагонах, що курсують залізницею

України, та зазначено, як удосконалення систем кондиціювання повітря пов'язане з розвитком високошвидкісного руху.

Ключові слова: поїзд, вагон, високошвидкісний рух, комфорт, система кондиціювання, холодоагент, конденсатор, випарник.

Обеспечение комфортности на железнодорожном транспорте невозможно без системы кондиционирования воздуха. Новые стандарты разных стран устанавливают новые требования по комфортности климата для пассажирского подвижного состава, учитывая рост требований пассажиров к комфортности поездок железнодорожным транспортом. В статье рассмотрены различные системы кондиционирования воздуха, установленные на вагонах, курсирующих по железной дороге Украины, и отмечено, как усовершенствование систем кондиционирования воздуха связано с развитием высокоскоростного движения.

Ключевые слова: поезд, вагон, высокоскоростное движение, комфорт, система кондиционирования, хладагент, конденсатор, испаритель.

One of the most pressing problems in ensuring the comfort of staying in passenger carriages of the railway transport is to ensure the physico-chemical cleanliness of the ambient air to ensure a comfortable stay of passengers. The most important parameters are the following:

- meteorological conditions (temperature, humidity, air velocity, pressure)
- chemical composition of air (content of gases and vapors)
- Physiological indicators (the content of microbes, microorganisms, dust).

The first group of indicators is affected by the amount of precipitation, the intensity of solar radiation, the direction and speed of the wind. Unfortunately, the listed phenomena of nature are not subject to man, although in some of them mankind already selects the keys of control, artificially changing the climate in large areas. Unlike the artificial climate, air conditioning is a process of a narrower value and characterizes the change in the state of air in a given room or enters it. In passenger cars, the use of air conditioning is caused by low heat resistance, a small room volume that accounts for one passenger, as a consequence, passengers within a short time cross climatic zones with different weather conditions. Consequently, the provision of comfort in railway transport, including in railway vehicles, is impossible without an air conditioning system. The new standards of different countries set new requirements for climate comfort and heating, ventilation and air conditioning systems for passenger rolling stock, taking into account global climate changes (increase in temperature and the level of solar radiation) and increasing passenger requirements for the comfort of travel by rail. This concerns: system security, climate control, energy consumption and efficiency, reliability, availability and the like. The article considers various air conditioning systems installed on wagons plying on Ukraine's railways, and is noted as an improvement in air conditioning systems associated with the development of high-speed traffic.

Keywords: train, car, high traffic, comfort, air conditioning system, refrigerant, installation.

Вступ. Високошвидкісний транспорт – такий тип залізничного транспорту, який пересувається значно швидше, ніж звичайний поїзд. Зазвичай високошвидкісний транспорт рухається зі швидкістю понад 200 км/год. Швидкість найсучасніших поїздів не перевищує 350 км/год, на більш високих швидкостях виникають різні

фізичні і енергетичні проблеми. Для вирішення цих проблем у ряді країн (Франції, Англії, ФРН, Італії, Японії) були розгорнуті широкі теоретичні та експериментальні дослідження і перш за все в напрямку вдосконалення ходових частин, тягового привода та забезпечення безпеки і комфорту.

Безпека – це поняття як безпеки руху, так і безпеки здоров'я, що, безумовно, пов'язане з комфортом. Отже, безпечними умовами перебування людини слід вважати такі умови, коли всі фактори навколишнього середовища (мікроклімат, температура повітря, вологість повітря, шум, вібрація, ультра- і інфрачервоний звук та ін.) знаходяться у межах допустимих рівнів, тобто відсутні ризики завдання шкоди здоров'ю людини [1].

Залізничний транспорт, щоб бути конкурентоспроможним, повинен перш за все задовольняти вимоги користувачів, тобто пасажирів. Отже, розвиток залізничного транспорту – це швидкість, безпека, комфорт [2].

В Україні впровадження швидкісних поїздів почалося на початку минулого десятиліття з появою поїзда «Столичний експрес», що поєднав Київ з Харковом, з Дніпропетровськом, а пізніше і з Львовом, у 2012 році з'явилися поїзди ІнтерСіті й ІнтерСіті+.

Натепер і в Україні робиться все можливе для розвитку швидкісного руху – удосконалюються технології виготовлення вагонів, ведуться розробки і впровадження нових систем життєзабезпечення вагонів, а саме впровадження сучасних систем кондиціювання повітря, без яких неможливе забезпечення комфортності на залізничному транспорті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз контенту світових наукових публікацій за темою «*air conditioning*» (кондиціювання повітря) на залізничному транспорті, у тому числі в залізничних транспортних засобах, дозволяє припустити, що для дослідників цікавими є питання енергоефективності, кондиціювання як елементу кліматкомфорту, зміни теплового навантаження у взаємозв'язку з навколишнім середовищем (температурою, вологістю, сонячною радіацією) тощо. Так, наприклад, в 2006 р. споживання енергії системою кондиціювання повітря становило 60-70 %

від загального споживання електроенергії в поїзді [5]. Намагаючись знизити ці показники, вчені різних країн досліджують числові аспекти взаємозв'язку «система “Клімат-контроль” – енергоефективність». Обговорення можливості зниження затрат електричної енергії, що потрібна для пасажирських систем вентиляції та кондиціювання в періоди пікових тягових потреб, подано в матеріалах конференції American Society of Mechanical Engineers (ASME, 2015) [6]. Виконане дослідження показало, що запропонована вченими стратегія відключення навантаження може бути реалізована без негативного впливу на загальногалузеві стандарти комфорту пасажирів і виключення капітальних та експлуатаційних затрат, пов'язаних із головним силовим блоком (head-end power – НЕР) поїзда.

Розробка нових і удосконалення існуючих конструкцій кондиціонерів для рейкових транспортних засобів знаходяться в центрі уваги дослідників світу. Дослідниками доведено, що нова конструкція кондиціонера може заощадити 50-60 % спожитої енергії.

Наукові статті українських вчених у цих системах представлено І. Ю. Хоменко і С. С. Богатчук. В статті І. Ю. Хоменко було розглянуто використання режиму теплового насоса для опалення плацкартних вагонів після їх модернізації зі встановленням кондиціонера, перспективи та недоліки такого проекту [7]. С. С. Богатчук розглянула соціально-економічний аспект розвитку залізничного транспорту України у другій половині XIX – на початку XX ст. [8].

Отже, численні світові дослідження протягом останніх років свідчать про постійний інтерес вчених до різних аспектів розвитку системи «Клімат-комфорт» на залізничному транспорті, у тому числі у галузі кондиціювання повітря.

Визначення мети та задачі дослідження. 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 капітально-відновного ремонту старих вагонів з продовженням терміну їх служби чи закупівлею нових. Актуальним є завдання забезпечення вагонів після модернізації сучасними системами життєзабезпечення, в тому числі і системою кондиціонування повітря.

Влітку залізницями України курсують 3100 пасажирських вагонів, з яких обладнані системою кондиціонування повітря тільки 38 % – це 1168 вагонів. Майже у всіх плацкартних вагонах системи кондиціонування повітря не передбачені конструкційно [4].

У цьому році ПАТ «Укрзалізниця» оновить парк пасажирських вагонів на 203 одиниці. З них буде закуплено 50 нових вагонів і 153 одиниці – модернізовано капітально-відновлювальним ремонтом. Причому всі модернізовані і придбані вагони обладнані системами кондиціонування повітря.

Метою досліджень є розкриття особливостей та перспектив удосконалення систем кондиціонування повітря, направлених на підвищення комфорту та вирішення основних питань з розвитку швидкісного руху в Україні.

Основна частина дослідження. Важливим елементом реконструкції залізничного транспорту є вдосконалення парку пасажирських вагонів, оскільки їх комфортабельність і надійність мала і має велике соціальне значення. Однією з найбільш актуальних проблем розвитку високошвидкісного руху є підвищення швидкості з забезпеченням безпеки руху та підвищення комфорту. У зв'язку з даною проблемою були розглянуті та проаналізовані методи удосконалення конструкцій системи кондиціонування повітря сучасних вагонів як на Україні (ВАТ «Крюковський вагонобудівний завод»), так і за кордоном.

У систему кондиціонування пасажирських вагонів входять системи вентиляції, опалення, охолодження, автоматичного управління. У літній період року система вентиляції працює сумісно з системою охолодження, яка відрізняється конструктивною складністю виконання та вимагає високої надійності.

Для швидкісного руху особливе значення має ресурсозбереження, що вказує на необхідність пошуку досконалих аеродинамічних форм кузова з метою зниження опору руху, зменшення трудомісткості ремонту. Це досягається шляхом використання ретельно відпрацьованих конструкцій вузлів і технології їх виготовлення.

Отже, одним з основних напрямків розвитку швидкісного руху та сучасного вагонобудування є:

- зниження тари вагона;
- зниження енергоспоживання;
- підвищення комфорту.

Всі вищенаведені напрямки може вирішити так звана система клімат-контролю. Сучасний пасажирський вагон – дуже навантажений в енергетичному відношенні. При встановленій граничній потужності підвагонного генератора 32 кВт проблема енергозбереження (або ефективного її використання) для вагонів з автономним електрозабезпеченням виявляється актуальною. В цілому та сама проблема стоїть і для поїздів постійного формування з централізованим електрозабезпеченням. Великі можливості для економії енергії в вагоні містяться в системі кондиціонування повітря (СКП) та опалення. Із зазначеної потужності генератора на частку СКП влітку і на вентиляцію і опалення в перехідний період, споживання енергії системою кондиціонування повітря, як було зазначено вище, припадає близько 60–70 % від загального споживання електроенергії в вагоні.

На підставі багаторічного досвіду створення та експлуатації СКП для рухомого складу треба відзначити високу

ефективність таких шляхів енергозбереження в пасажирських вагонах, вагонах-ресторанах і вагонах електрорухомого складу:

- використання в СКП реверсивного режиму холодильної машини-«тепловий насос»;
- застосування вентиляторів з двигунами (минаючи підвагонні перетворювачі) живлення постійним струмом від генератора або в аварійному режимі від акумуляторних батарей;
- покупейне (індивідуальне) управління витратою і температурою;
- застосування вбудованих в кондиціонер перетворювачів постійного струму;
- відмова від підвагонного розміщення перетворювачів в громіздких сталевих ящиках;
- використання полегшених матеріалів і комплектуючих, зокрема, виготовлення рами кондиціонера з високоміцних алюмінієвих сплавів.

Розглянемо ці напрямки зниження енергоспоживання докладніше. В режимі теплового насоса (ТН) в холодильному контурі кондиціонера використовується зворотний цикл, але випарник і конденсатор змінюються своїми функціями руху холодильного агента. Конденсатор стає випарником для холодоагенту, що забирає тепло з навколишнього середовища і передає його в випарник. Від випарника, що виконує роль конденсатора, отримане тепло з повітрям передається в вагон за допомогою вентилятора. Застосування режиму ТН дозволяє з високим ступенем енергоефективності додатково в період переходу з літнього на зимовий режим в діапазоні зовнішньої температури (від +8 до +11 С) забезпечити стабільне опалення вагона кондиціонером.

Розглянемо системи кондиціонування та їх «еволюцію» на прикладі вітчизняного парку вагонів.

До 2000-х рр. на вагонах використовувалась система кондиціонування МАВ-ІІ (купейні вагони та вагони-ресторани

побудови заводів Німеччини). Це великогабаритна та енергоємкісна система, обладнання якої складається з таких частин:

- компресорного агрегату, розташованого під вагоном;
- конденсаторного агрегату, розташованого під вагоном;
- ящика управління кондиціонером, розташованого під вагоном;
- вентиляційного агрегату, розташованого в міжстелевому просторі;
- системи трубопроводів, які з'єднують обладнання, розташоване під вагоном і вентиляційним агрегатом.

Ця система має такі недоліки:

- великі маса і габарити;
- значна витрата електроенергії;
- недостатня надійність і довговічність;
- труднощі забезпечення повної герметизації системи (це пов'язано з тим, що одна частина апаратів розташована під рамою вагона, інша в стельовому просторі, що вимагає великої кількості трубопроводів для з'єднання цих частин).

Першу спробу вирішення питання зменшення ваги та шумових характеристик зроблено науковим об'єднанням МК «Енергозбереження» м. Харків. Була проведена робота з модернізації системи кондиціонування повітря МАВ-ІІ пасажирських вагонів з використанням спірального компресора 1СГГ-30 і статичного перетворювача РПЛ-24-1. Так з'явився комплект РК-13-У1, що практично привело до зменшення шумів і зменшило масу системи кондиціонування приблизно на 300 кг.

Для підвищення комфортності пасажирських вагонів велась цілеспрямована робота ряду фірм зі створення сучасної моделі кондиціонерів. Так з'явився автономний кондиціонер, особливістю якого є те, що це єдиний агрегат, окремі частини якого з'єднані за допомогою зварювання, а такий недолік, як фланцеві та нарізні з'єднання, ліквідовано.

Агрегат зручний в обслуговуванні, легко монтується на вагоні і при

необхідності може бути швидко замінений іншим не тільки на пунктах обороту поїзда, але і під час його стоянок. Автономні кондиціонери з'явилися на транспорті близько двадцяти років тому.

Перший транспортний кондиціонер з теплонасосним режимом опалення УКВ ПВ (Т) був розроблений фірмою «ЛАНТЕП» в 2002 р. [3, 9]. У 2002-2010 рр. такі кондиціонери встановлено в пасажирських вагонах і вагонах-ресторанах нової конструкції виробництва ЗАТ «Вагонмаш» та ВАТ КВБЗ і в процесі капітально-відновлювального ремонту (КВР) на ряді вагоноремонтних заводів України.

Системи кондиціювання, такі як УКВ-31 (Росія); КЖ 2-4,5/2,5 (Росія); АВК-30 (Україна), дозволили знизити шум до мінімуму, енергоспоживання (до 17 кВт) та масу (до 1200 кг), але в таких кондиціонерах використовуються три канальні статичні перетворювачі постійного струму в змінний ДС/АС для забезпечення живлення та регулювання продуктивності компресора і асинхронних двигунів вентиляторів. Перетворювачі розташовані під вагоном та мають вагу до 400 кг, що помітно ускладнює їх діагностику і обслуговування.

Наступним етапом у розвитку систем кондиціювання було розроблення кондиціонера з розміщенням одноканального перетворювача в моноблоці кондиціонера. Доступ до нього забезпечується з тамбура вагона через спеціальний люк в днищі кондиціонера. При такому рішенні маса кондиціонера з вбудованим перетворювачем і рамою, виконаною зі сплаву АМгб, склала 550 кг, що майже на 500 кг менше в комплекті «кондиціонер перетворювач», ніж у серійних аналогів. Важливо також, що істотно покращилися температурні і вологісні умови роботи перетворювача, підвищилася його надійність, спростилося обслуговування. За рахунок перенесення перетворювача всередину кондиціонера зменшилася трудомісткість установавання виробу на вагон.

До таких кондиціонерів відносяться кондиціонери вітчизняного виробництва, як

АВК-25 виробництва заводу «Екватор», ВКМ-Х виробництва ТОВ «ТД «Сдандарт плюс» м. Гостомель та КВ-1-Х виробництва МК «Енергозбереження». Ці системи встановлюються на купейних вагонах після проведення модернізації при виконанні капітально – відновлювального ремонту (КВР), маса цих кондиціонерів становить 500 та 700 кг.

Кондиціонери АВК-25 та ВКМ-Х відрізняються від інших тим, що мають обладнання для проведення діагностики безпосередньо на вагоні, що дозволяє виявити причини виходу з ладу і усунути несправність за короткий час.

У кондиціонера КВ-1-Х є вбудований пульт керування, доступний з люка обслуговування в тамбурі вагона, що дозволяє проводити діагностику обладнання кондиціонера, а у разі втрати зв'язку з пультом керування вагона або виходу останнього з ладу, керувати роботою кондиціонера.

На даному етапі ведуться роботи зі встановлення системи діагностики на пульт керування вагоном. На спеціальному табло, виведеному на пульт керування вагоном, буде виводитися інформація не тільки про аварію, а і конкретні дані про причину і місце аварії, що дозволить швидко локалізувати несправність і відновити роботу кондиціонера.

На створеному міжрегіональному швидкісному двосистемному електропоїзді ЕКр1 «Тарпан» (ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод») використовується удосконалена, більш сучасна система кондиціювання повітря АВК-10 (АВК-6), сумарна потужність електродвигуна складає 6,2 (4,1) кВт, вага – 300 (200 кг).

В останні роки вітчизняні виробники пасажирських вагонів домоглися істотного зниження ефективної теплової провідності вагона до 0,8-0,9 Вт/Вт/(м²·К), використовуючи герметичні двері, двокамерні віконні блоки і покращуючи теплову ізоляцію вагона. Це досягнення дозволяє забезпечити нормативні санітарні вимоги до температури в вагоні при зменшенні

холодопродуктивності кондиціонера для купейних вагонів до 15-18 кВт з відповідним зниженням енергоспоживання до 10-12 кВт і масогабаритних характеристик до 350 кг. Такі кондиціонери для електро рухомого складу є в активі розробників і можуть бути запропоновані вагонобудівникам для пасажирських вагонів.

Досить доцільно змінювати температуру повітря за бажанням пасажирів окремо в кожному купе.

Покупейне управління мікрокліматом на даний час дуже актуальне, бо робить істотний внесок не тільки в підвищення енергоефективності вагона, а й в температурний комфорт кожного купе. При досягненні індивідуального комфорту реалізується можливість недопущення переохолодження (перегріву) повітря (іншими словами, однозначної перевитрати електроенергії) в кожному купе. Якщо в деяких купе з встановленим режимом «Охолодження» треба підвищити температуру повітря, то поточна холодопродуктивність кондиціонера буде знижена, а значить, буде знижено і енергоспоживання. При цьому система керування автоматично зменшує загальні витрати повітря в вагоні, зменшуючи частоту обертання припливних

вентиляторів. Зокрема, індивідуально управляти температурою повітря в купе можна, змінюючи або його витрати, або температуру на вході [10].

Висновки. Проведений аналіз удосконалення систем кондиціонування повітря показує, що система кондиціонування із громіздкої перетворилася на компактну з меншою вагою, що має вагоме значення при проведенні технічного обслуговування та планових видах ремонту. Також зменшилося енергоспоживання. Сучасні системи мають шумоізоляцію, кондиціонер складається з двох блоків (блок холодильної машини і блок обробки повітря). Блоки обшиті металевими листами з наклеєними на них з внутрішньої сторони звуко- і теплоізоляцією. Нижнє днище кондиціонера двостінне, простір між стінами також заповнено звуко- і теплоізоляційним матеріалом. Необхідно також відзначити те, що сучасні системи кондиціонування заправляються холодоагентами у кількості від 2 до 5 кг, тоді як перші системи заправлялися холодоагентом до 40 кг.

Удосконалення систем кондиціонування повітря, направлене на підвищення комфорту, допомагає вирішити основні питання розвитку швидкісного руху та сучасного вагонобудування в Україні.

Список використаних джерел

1. Лексин, А. Г. К вопросу об оптимизации и нормировании микроклимата в вагонах и на станциях метрополитена [Текст] / А. Г. Лексин, Н. А. Матушкина, Ю. Г. Лаврикова // Гигиена и санитария. – 2014. – № 4. – С. 52.
2. Espinosa-Aranda, J. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et. al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 770-780.
3. Емельянов, А. Л. Моноблочный кондиционер для купейных вагонов: варианты исполнения [Текст] / А. Л. Емельянов, В. В. Царь // Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассажирских вагонах: сб. докл. науч.-практ. семинара под ред. докт. техн. наук, проф. С. Е. Буравого. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2001. – С. 72-77.
4. Звіт пасажирської компанії [Електронний ресурс] : [Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України]. – Режим доступу : <https://economics.unian.ua/transport> (дата звернення 14.08.2018).
5. Liu, P. Issues & factors of train air-conditioning system design & Operation [Електронний ресурс] : [HVAC Technologies for Energy Efficiency]. – Режим доступу : <http://oaktrust.library.tamu.edu/handle> (дата звернення 14.08.2018).

6. Feasibility of Load-Shedding to Improve Efficiency and Reduce Energy [Text] / M. Shrland, D. Andersen [et. al.] // Materials Joint Railway Conference, March 23-26, San Jose. – California, USA: 2015. – P. 7–22.

7. Хоменко, І. Ю. Використання режиму теплового насоса для опалення плацкартних вагонів після їх модернізації зі встановленням кондиціонера [Текст] / І. Ю. Хоменко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 2. – С. 121-124.

8. Богатчук, С. С. Залізничний транспорт в Україні [Текст] / С. С. Богатчук // Наука и человек. – 1999. – № 8. – С. 11-12.

9. Бартош, Е. Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта [Текст] / Е. Т. Бартош. – М. : Транспорт, 1985. – 280 с.

10. Системы индивидуального регулирования температуры воздуха в купе пассажирского вагона [Текст] / А. Л. Емельянов, С. Е. Буравой, Е. С. Платунов // Холодильная техника и кондиционирование. – 2007. – № 1. – С. 111-115.

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.

Шишкова Наталія Миколаївна, магістрант групи МЗ-17-ТЕМПУС-В кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (096) 6042994. E-mail.: n-sh1992@ukr.net.

Труфанова Алена Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры вагонов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail.: alena.hiit@rambler.ru.

Шишкова Наталия Николаевна, магистрант группы МЗ-17-ТЕМПУС-В, кафедра вагонов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (096) 6042994. E-mail.: n-sh1992@ukr.net.

Trufanova Alyona Volodymyrivna, PhD (Tech.), associate professor, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

Shyshkova Nataliya Mykolaivna, master group MZ-17-TEMPUS-B, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (096)604-29-94. E-mail: n-sh1992@ukr.net.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.

УДК 629.4.064.5

ВИБІР МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВІЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Кандидати техн. наук А. Л. Сумцов, Н. Д. Чигирик, М. В. Павлюченко, магістрант В. В. Калініченко

ВЫБОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ЭЛЕКТРОВИЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Кандидаты техн. наук А. Л. Сумцов, Н. Д. Чигирик, М. В. Павлюченко, магістрант В. В. Калиніченко

SELECTION METHODS OF DIAGNOSTATION OF SUPPLY ELECTRICAL MACHINES DC ELECTRIC LOCOMOTIVE

PhD (Tech.) A. L. Sumtsov, N. D. Chyhyryk, M. V. Pavliuchenkov, master V. V. Kalinichenko

У статті розглянуто актуальну проблему вибору методу діагностування допоміжних електричних машин електровізів. Проведено аналіз існуючих підходів до діагностування найбільш проблемних частин – обмоток та підшипникових вузлів. Проведений аналіз дав змогу вибрати два методи для комплексної діагностики стану ізоляції обмоток та

доповнити їх перевіркою стану підшипників, що забезпечує системний підхід до перевірки електричних машин.

Ключові слова: електричні машини, діагностування, електровози постійного струму, вібродіагностика, ізоляція електричних машин.

В статье рассмотрена актуальная проблема выбора метода диагностики вспомогательных электрических машин электровозов. Проведен анализ существующих подходов к диагностике наиболее проблемных частей – обмоток и подшипниковых узлов. Проведенный анализ позволил выбрать два метода для комплексной диагностики состояния изоляции обмоток и дополнить их проверкой состояния подшипников, что обеспечивает системный подход к проверке электрических машин.

Ключевые слова: электрические машины, диагностика, электровозы постоянного тока, вибродиагностика, изоляция электрических машин.

The article deals with the actual problem of choosing the method of diagnosing auxiliary electric cars of electric locomotives. From the reliability of electric cars traction rolling stock depends not only on the reliability of the locomotive, but also traffic safety and the ability to provide the transportation process. Therefore, the issue of improving the reliability of electrical machines is relevant.

The analysis of existing approaches to the diagnostics of the most problematic parts - windings and bearing units is carried out. These nodes account for 89% of all births.

The quality of the insulation is characterized, first of all, by the value of its resistance, which determines the main purpose of isolation - a reliable separation of current-carrying parts. The simplest method and the most frequently used method is the direct measurement of insulation resistance. This method allows, in most cases, to quickly assess the quality of the insulation and determine the suitability for further use. This method was most widely used in diagnosing the isolation of electric machines. But the lack of its informativity and the ability to predict the future state of isolation causes the search for new methods for diagnosis.

Taking into account the conducted analysis, it is expedient to use two methods for inspecting the state and isolation resource: insulation resistance measurement and pulse method.

At present, four methods of ultrasonic evaluation of the technical condition of rolling bearings are used in practice: the Peak-factor, the direct spectrum, the impulse impulses, and the envelope spectrum. The latter was most widely used in rail transport. It provides the most complete information on the bearing position and its components.

As a result of the analysis and selected methods on test benches, it is advisable to install insulation resistance measuring equipment combined with the assessment of absorption and polarization factors that need to be supplemented by checking the bearing condition, providing a systematic approach to checking electrical machines.

Keywords: electric machines, diagnostics, DC electric locomotive, vibration diagnostics, isolation of electric machines.

Вступ. Від надійності функціонування електричних машин (ЕМ) тягового рухомого складу (ТРС) залежить не тільки надійність роботи ТРС, а й безпека руху і можливість забезпечення перевізного процесу. Тому питання підвищення надійності ЕМ є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі підвищення надійності ЕМ ТРС присвячено багато публікацій [1–12]. Більшість з них акцентують увагу на проблемі надійності тягових електродвигунів (ТЕД). Це пов'язано зі значними витратами на утримання та ремонт ТЕД і

безпосереднім використанням їх при реалізації сили тяги локомотива. У всіх перелічених роботах діагностування відбувається тільки за одним критерієм, що не дає змоги всебічно оцінити стан електричної машини.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення комплексного підходу до

оперативної діагностики стану ЕМ електровозів постійного струму.

Основна частина дослідження. Для визначення найбільш проблемних вузлів електричних машин було зібрано статистичну інформацію щодо відмов електричних машин електровозів ВЛ11м в експлуатації. Результати розподілу відмов по вузлах наведено на рис. 1.

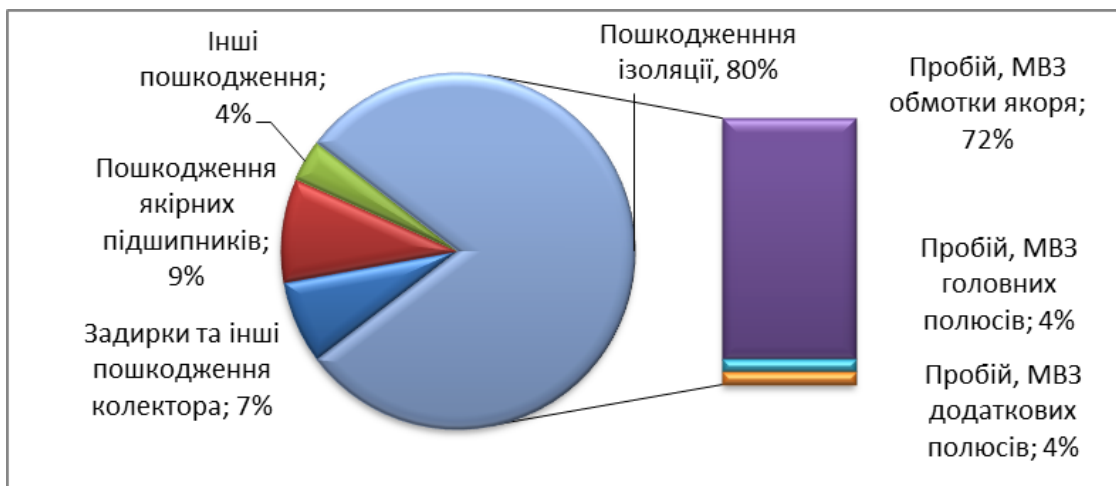


Рис. 1. Причини відмов допоміжних машин електровозів ВЛ11м

Отримані дані засвідчили, що найбільш проблемним є стан ізоляції якоря й полюсів, стан колектора та підшипників кочення. Визначення стану колектора проводиться переважно візуальним

методом. Інші два напрямки оцінюються за допомогою різних методів та приладів.

На сьогоднішній момент на практиці успішно застосовується безліч методів визначення стану ізоляції (рис. 2).



Рис. 2. Основні методи контролю ізоляції електричних машин

Якість ізоляції характеризується насамперед величиною її опору, що визначає основне призначення ізоляції – надійний поділ струмоведучих частин. Найпростішим і найбільш часто використовуваним є метод прямого вимірювання опору ізоляції. Цей метод дає змогу швидко оцінити якість ізоляції та визначити придатність до подальшого використання. Він є найбільш розповсюдженим при діагностуванні ізоляції електричних машин.

Для оцінки ізоляції за методом діелектричного розряду на практиці застосовують коефіцієнт діелектричного розряду

$$DD = I_{min} / (U F), \quad (1)$$

де I_{min} – струм витоку після 1 хв від початку розряду, А;

U – тестова напруга, В;

F – ємність ізоляції, Ф.

Збільшення значення коефіцієнта DD може свідчити про наявність прихованих пошкоджень. Складність застосування цього методу полягає в тому, що характерні значення DD для конкретного обладнання виявляються різними, а ємність ізоляції невідомою. Результати, отримані із застосуванням цього методу, потребують коригування по температурі.

Якість ізоляції може характеризуватися з використанням явища абсорбції за допомогою таких параметрів: опору ізоляції, напруги саморозряду, коефіцієнта абсорбції і зворотної напруги. Під абсорбцією розуміють явище поляризації ізоляції і накопичення заряду всередині неї. Для визначення ступеня зволоженості ізоляції здійснюються додаткові виміри опору ізоляції на 15-й і 60-й секундах, а також на десятій хвилині після подачі випробувального напруги, позначають значення цих опорів як R_{15} , R_{60} і R_{10} відповідно.

Ступінь зволоженості ізоляції електромашин і можливість їх подальшої експлуатації визначаються за значеннями

коефіцієнтів абсорбції D і поляризації PI , що визначаються за формулами:

$$D = R_{15} / R_{60}, \quad (2)$$

$$PI = R_{60} / R_{10}. \quad (3)$$

Стандартна процедура тестування ступінчастою напругою передбачає подачу в систему обмотка / корпус випробувальної напруги 500 В з подальшим вимірюванням опору обмотки. При відсутності виявлених пошкоджень випробувальну напругу підвищують на 500 В і цикл вимірювань повторюється. У кожному наступному кроці (ступені напруги) обчислюється відносна зміна опору ізоляції ΔR_{cm} за формулою

$$\Delta R_{cm} = R_{cm_i} / R_{cm_{i-1}}, \quad (4)$$

де R_{cm_i} – значення опору ізоляції, виміряне на i -му ступені тестування;

$R_{cm_{(i-1)}}$ – значення опору ізоляції, виміряне на $(i-1)$ -му ступені тестування.

Результати випробувань не потребують коригування по температурі. Повний цикл тестування складається з п'яти кроків (до напруги 2500 В). При випробуванні ізоляції збільшення тестової напруги, а відповідно і струму, не даватиме змін опору аж до досягнення критичних впливів. Будь-які відхилення можуть указувати на наявність дефектів ізоляції. На низькій тестовій напрузі ми можемо не виявити пошкоджень, але зі збільшенням тестової напруги можна дійти до точки, у якій ефект поляризації досягне пошкоджень або тріщин. Цей факт буде зафіксований за збільшенням струму.

Найбільш поширеними для виявлення міжвиткових замикань (МВЗ) обмоток якорів є імпульсні методи. Перевага імпульсних методів у тому, що за допомогою джерела невеликої потужності можна забезпечити достатньо високу напругу між витками обмотки якоря [11].

Серед імпульсних методів можна виділити метод «біжучої хвилі». Імпульс напруги, поданий на електрод, спричиняє поширення від нього двох хвиль високої напруги. Якщо опори обох гілок обмотки однакові, то ці хвилі досягнуть бічних електродів одночасно і на екрані осцилографа буде видна симетрична синусоїда. Якщо опори гілок обмотки неоднакові, то на екрані осцилографа з'явиться сплеск сигналу. Це означає, що на якійсь ділянці обмотки, розташованої між центральним і одним з бічних електродів, є МВЗ або обрив витків.

Імпульсні випробування електродвигунів можуть також мати на увазі запис хвильових ефектів, що виникають у результаті подачі в обмотку випробувальних імпульсів, і порівняння їх з еталонними або отриманими на інших обмотках тієї ж машини [9, 11].

З огляду на проведений аналіз для перевірки стану та ресурсу ізоляції доцільно використовувати два методи: вимірювання опору ізоляції та імпульсний метод. При цьому на випробувальних стендах вимірювання опору ізоляції доцільно об'єднувати з оцінкою коефіцієнтів абсорбції D і поляризації PI .

Неруйнівний контроль підшипників здійснюється такими основними методами дефектоскопії [7]: магнітно-порошковий, вихрострумний, акустичний.

Акустичний метод неруйнівного контролю оснований на використанні хвиль і пружних коливань. Інформативні параметри – час, частота, амплітуда, фаза, спектр. За акустичним методом частіше застосовують звукові й ультразвукові частоти, тобто використовують діапазон

частот приблизно від 0,5 кГц до 30 МГц, що відповідає ультразвуковому.

Переваги ультразвукового методу контролю:

- можливість виявлення як поверхневих, так і внутрішніх дефектів;
- можливість виявлення тонких тріщин;
- безпека для обслуговуючого персоналу.

Недоліки:

- складна форма та малі розміри деталей;
- шорсткість поверхні виробу.

У наш час у практиці використовуються чотири методи ультразвукового оцінювання технічного стану підшипників кочення: пік-чинника, прямого спектра, ударних імпульсів і спектра обвідних. Останній найбільш розповсюджений на залізничному транспорті.

Для діагностування ТЕД використовується режим обертання колісної пари з постійною частотою. Основним видом аналізу сигналів є спектральний аналіз як низькочастотної (та частково середньочастотної) вібрації підшипникових вузлів (аналіз автоспектрів вібрації), так і обвідної (спектральний аналіз коливань потужності) високочастотної вібрації. Крім цього, контролюється форма (середньоквадратичне та пікове значення) ультразвукової вібрації (у смузі 10-25 кГц) і спектральна щільність низькочастотної вібрації [2].

Висновки. Таким чином, проаналізовані методи доповнюють один одного. Використання комплексу вимірювальних приладів, що перевіряють стан ізоляції та підшипникових вузлів, дасть змогу запобігти 89 % відмов допоміжних машин.

Список використаних джерел

1. Жалкін, Д. С. Методи післяремонтних випробувань та моніторингу технічного стану тягових двигунів електровозів [Текст] / Д. С. Жалкін, О. М. Тимченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 130-134.
2. Методи діагностування технічного стану елементів колісно-моторних блоків тягового рухомого складу [Текст] / Н. Д. Чигирик, С. І. Возненко, І. Р. Вихопень, О. В. Клецька // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2017. – № 4 (234). – С. 235-243.

3. Губаревич, О. В. Надійність і діагностика електрообладнання [Текст] : підручник / О. В. Губаревич. – Сєверодонецьк : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
4. Решетняк, І. С. Підвищення надійності роботи тягових електродвигунів існуючих локомотивів [Текст] / І. С. Решетняк, А. П. Фалендиш, А. М. Зінківський // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 147. – С. 77-82.
5. Діагностування підшипників кочення допоміжних машин електровоза з використанням параметричної моделі та спектра обвідної вібрації [Текст] / Е. Д. Тартаковський, С. В. Михалків, А. М. Ходаківський, Р. С. Сапон // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. – 2016. - № 3 (78). – С. 12-18.
6. Жалкін, Д. С. Удосконалення методів контролю теплового стану тягових електричних двигунів електровозів [Текст] / Д. С. Жалкін, А. В. Таран // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 158, Т. 2. – С. 74-82.
7. Авер'янов, В. Неруйнівний контроль і діагностування підшипників кочення [Текст] / В. Авер'янов // Вісник ТНТУ. – 2015. – Т. 77, №1. – С. 142–149.
8. Baranski, M. Selected Diagnostic Methods of Electrical Machines Insulation Operating in Industrial Conditions [Text] / M. Baranski, A. Decner, A. Polak // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical, 2014. – № 5. – P. 2047-2054.
9. Pollak, A. The use of DC current to testing condition of the insulation of electrical machines [Text] // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. – 2013. – №1 – P. 123-131.
10. Sumtsov, A. Thermal imaging diagnostics locomotives [Text] / A. Sumtsov, A. Falendysh, O. Kletska // MATEC Web of Conferences 182, 01004.
11. Шестаков, И. В. Совершенствование технологии диагностирования изоляции тяговых электродвигателей подвижного состава [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / И. В. Шестаков. – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 212 с.
12. Буйносов, А. П. Техническая диагностика электроподвижного состава [Текст] : учеб.-метод. пособие / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2013. – 126 с.

Калініченко В'ячеслав Вікторович, магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Сумцов Андрій Леонідович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: sal-hiit@i.ua.

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: natalia65@ukr.net.

Павлюченков Михайло Васильович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри будівельної механіки та гідроліки Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: misha_83@ukr.net.

Калиниченко Вячеслав Викторович, магистрант, кафедра эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Сумцов Андрей Леонидович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта транспорта. E-mail: sal-hiit@i.ua.

Чигирик Наталья Дмитриевна, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: natalia65@ukr.net.

Павлюченков Михаил Васильевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры строительной механики и гидравлики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: misha_83@ukr.net.

Kalinichenko Vyacheslav Viktorovich, master, Department of Operation and Repair of the Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Sumtsov Andrii Leonidovich, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Operation and Repair of The Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: sal-hiit@i.ua.

Chigirik Nataliya Dmitrivna, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Operation and Repair of the Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: natalia65@ukr.net.

Pavliuchenkov Mykhailo Vasilovich, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: misha_83@ukr.net.

Статтю прийнято 12.11.2018 р.

УДК 629.4.063.6

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РОБОТИ ФОРСУНОК ДИЗЕЛІВ ТЕПЛОВОЗІВ

Д-р техн. наук В. Г. Пузир, канд. техн. наук Ю. М. Дацун,
магістранти В. Е. Сендюк, В. В. Пиво

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ

Д-р техн. наук В. Г. Пузырь, канд. техн. наук Ю. Н. Дацун,
магистранты В. Э. Сендюк, В. В. Пиво

ANALYSIS OF THE METHODS QUALITY ASSESSMENT WORK INJECTOR DIESEL LOCOMOTIVES

D. Sc. (Tech.) V. Puzyr, PhD (Tech.) Y. Datsun, masters V. Sendiuk, V. Pyvo

У статті виконано аналіз існуючих методів контролю якості роботи форсунок тепловозних дизелів, проаналізовано їх основні переваги та недоліки і запропоновано методику оцінки якості розпилю палива форсункою на автоматизованому стенді, яка дасть змогу знизити відсоток участі людини-оператора в процесі прийняття рішення про якість роботи форсунок.

Використання цієї методики значно зменшить трудовитрати на випробування форсунок та дасть змогу підвищити ефективність роботи дизельних двигунів внутрішнього згорання, суттєво знизити витрату палива та викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Ключові слова: форсунка, якість розпилення, паливна система, розпилювач, дизель.

В статье выполнен анализ существующих методов контроля качества работы форсунок тепловозных дизелей, проанализированы их основные преимущества и недостатки и предложена методика оценки качества распыла топлива форсункой на автоматизированном стенде, которая позволит снизить процент участия человека-оператора в процессе принятия решения о качестве работы форсунок.

Использование данной методики значительно уменьшит трудозатраты на испытания форсунок и позволит повысить эффективность дизельных двигателей внутреннего сгорания, существенно снизит расход топлива и выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Ключевые слова: форсунка, качество распыла, топливная система, распылитель, дизель.

Railway industry is one of the largest consumers of diesel fuel in the country due to its use of diesel locomotives and diesel trains to perform transport and shunting operations. In the conditions of constant rise in fuel and energy resources, this article of expenses of Ukrzaliznytsia continues to grow. Naturally, the issue of reducing the cost of energy carriers on the Ukrainian railways becomes extremely relevant.

Operation of the fuel equipment depends on the main power and economic parameters of the diesel engine, its reliability and stability of the parameters, as well as the toxicity and smoke of the exhaust gases. Therefore maintenance of fuel equipment in the proper technical condition will allow to provide high techno-economic efficiency of diesels of rolling stock.

In the article analyzes the existing methods of quality control of diesel injectors, analyzes their main advantages and disadvantages and suggests a method for assessing the quality of sprayed fuel by an injector on an automated test bench, which will reduce the percentage of human operator in the decision-making process on the quality of the injector.

In the article analyzes the existing methods of quality control of diesel injectors, analyzes their main advantages and disadvantages and suggests a method for assessing the quality of sprayed fuel by an injector on an automated test bench, which will reduce the percentage of human operator in the decision-making process on the quality of the injector.

Testing bench has a fairly high degree of discretization of data, so it is possible to experimentally determine the limits of the change in the angle of inclination of the pressure curve in the hydraulic accumulator, in which the ideal quality of the saw is observed. Deviations from the averaged value of the curve obtained when testing the reference nozzles in the direction of angle increase indicate a deterioration in the quality of the spray due to an increase in the diameter of the nozzle hole and the amount of fuel injected per cycle, and in the direction of decrease - on a reduced cycle feed or on the high stiffness of the spring of the nozzle. Use of this technique will significantly reduce the labor costs for testing nozzles and will increase the efficiency of diesel internal combustion engines, significantly reduce fuel consumption and emissions of harmful substances into the environment.

Keywords: injector, spray quality, fuel system, sprayer, diesel.

Вступ. Залізнична галузь є однією з найбільших споживачів дизельного палива в країні за рахунок використання його тепловозами та дизель-поїздами для виконання перевізної та маневрової роботи. В умовах постійного дорожчання паливо-енергетичних ресурсів ця стаття витрат Укрзалізниці продовжує збільшуватись. Природно, що питання скорочення витрат енергоносіїв на залізницях України набуває неабиякої актуальності.

Від роботи паливної апаратури залежать основні потужнісні та економічні показники дизеля, його надійність та стабільність параметрів, а також токсичність і димність відпрацьованих газів. Тому підтримання паливної апаратури в належному технічному стані дасть змогу забезпечувати високу техніко-

економічну ефективність дизелів рухомого складу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з [1] найбільший вплив на режими та параметри роботи дизеля здійснює технічний стан форсунок. Визначення технічного стану форсунок тепловозних двигунів проводиться під час ПР-1 [2, 5] на спеціальних стендах. Контроль основних параметрів форсунок під час випробувань здійснюється персоналом депо, що збільшує негативний вплив на результати досліджень «людського чинника». Питаннями розробки об'єктивних методів контролю технічного стану форсунок займалися як вітчизняні, так і закордонні вчені та спеціалісти. У [2] запропоновано виконувати контроль якості роботи паливної системи, а зокрема форсунок,

візуальним методом, який потребує високої кваліфікації та досвіду робітників, однак є досить неточним. На цей момент існує ряд способів оцінки параметрів роботи форсунок, застосування яких потребує спеціалізованого обладнання, що має високу вартість, та потужних ЕОМ для обробки отриманих даних [3, 4, 6, 7].

Стрімкий розвиток нових технологій контролю розширює діапазон підходів до оцінки технічного стану вузлів. Їх застосування у виробництві дасть змогу підвищити об'єктивність діагностування.

Визначення мети та задачі дослідження. Провести аналіз існуючих методів оцінки технічного стану паливних форсунок та сформулювати пропозиції

щодо удосконалення технології післяремонтних випробувань елементів паливної апаратури дизелів рухомого складу.

Основна частина дослідження. Згідно з вимогами правил ремонту [2, 5] роботу форсунок під час випробувань на стенді оцінюють за рядом критеріїв (рис. 1).

На цей час у локомотивних депо та ремонтних підприємствах для діагностування стану форсунок використовується випробувальне обладнання з досить низькою інформативністю та точністю отриманих результатів, що потребує вдосконалення. Підвищення об'єктивності контролю можливе за рахунок упровадження автоматизованих систем.

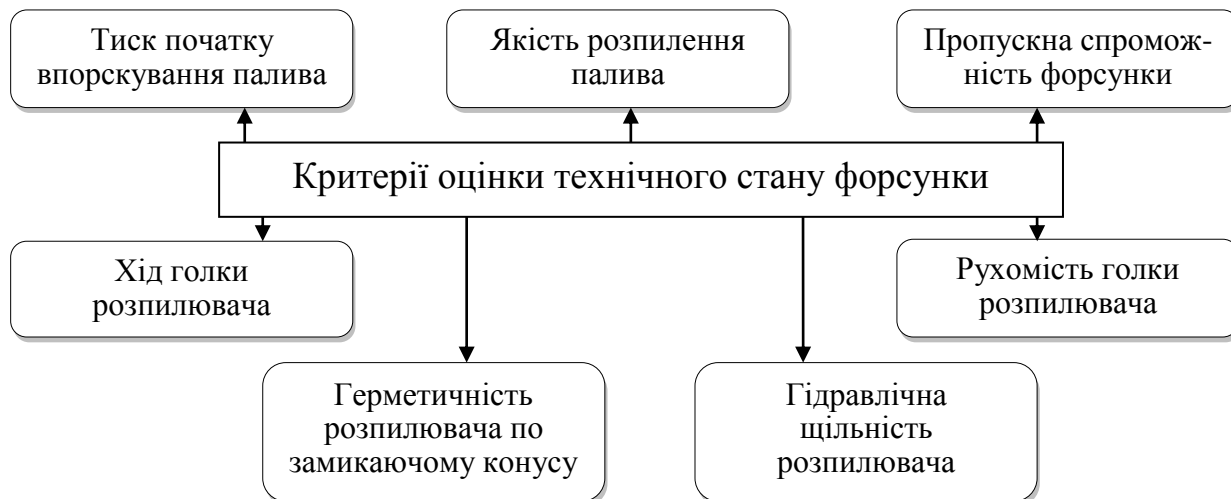


Рис. 1. Критерії оцінки технічного стану форсунки

Найбільшу складність для автоматизованого контролю в процесі випробувань форсунок являє оцінка якості розпилювання. На цей час для оцінки якості розпилювання форсунок дизелів застосовується ряд підходів (рис. 2)

Візуальний метод огляду на цей час є найбільш поширеним у локомотивних депо і полягає в безпосередньому визначенні слюсарем-ремонтником якості розпилу палива при роботі форсунок на стенді типу А106, спираючись на зорову інформацію та власний досвід. Цей метод має низьку

точність та інформативність і потребує вдосконалення.

Метод фотографування факела розпилу оснований на обробці на ЕОМ серії фотознімків, отриманих за допомогою високочастотної камери. У спеціально розробленому програмному забезпеченні виконується оцінка геометричних параметрів усієї структури розпилу факела, оцінка ступеня нерівномірності розпилу струменів палива, визначення ступеня заповнення об'єму випробувальної камери [6]. До його недоліків можна віднести

високу вартість обладнання, складність та вартість програмного забезпечення, відсутність можливості регулювання тиску

впорскування та визначення його впливу на якість розпилу.

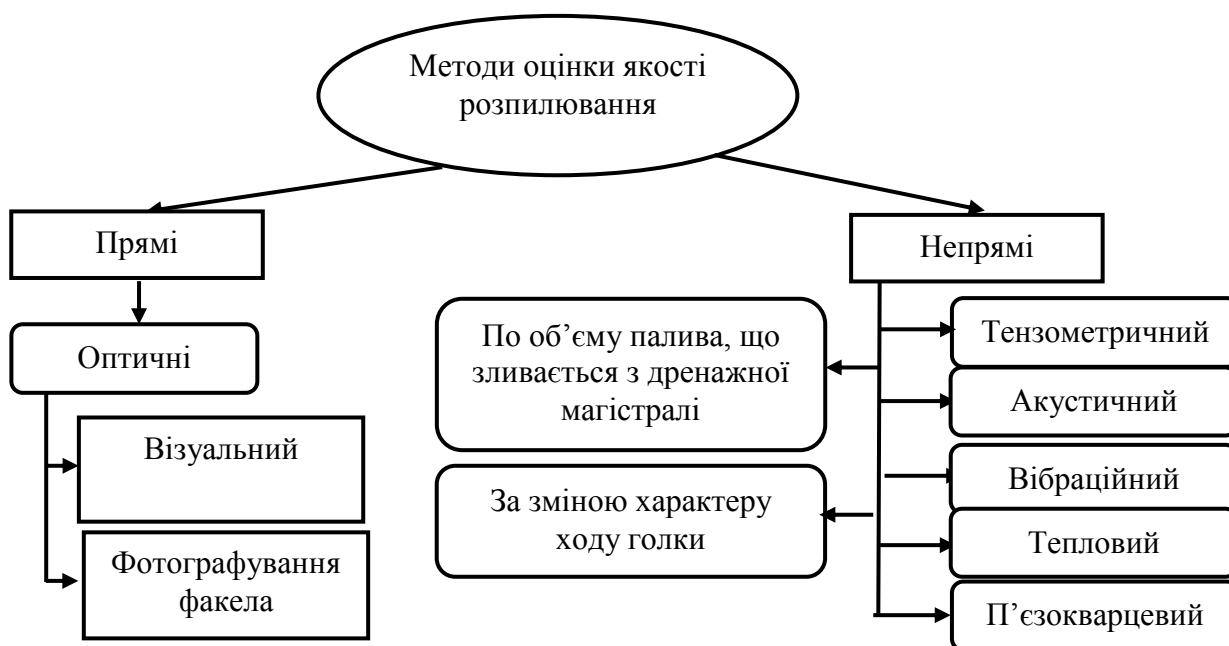


Рис. 2. Методи оцінки якості розпилювання

Вібраційні методи основані на отриманні і порівнянні з еталонними осцилограмами вібраційних коливань, що виникають при піднятті голки розпилювача та її поверненні в замикаючий конус. Робота двигуна внутрішнього згорання, його механізмів і систем супроводжується вібрацією, між рівнем вібрації і технічним станом об'єкта існує взаємозв'язок. У міру зношування деталей механізмів збільшуються зазори в сполучених парах і підвищується кінетична енергія ударних впливів. Ударні впливи підвищуються зі збільшенням ходу голки розпилювача форсунки в процесі експлуатації. Маючи набір осцилограм із заздалегідь відомими несправностями, методом порівняння можна визначити вид ушкодження [7]. Недоліком цього методу діагностування є неможливість запису повного ходу голки, що не дає змоги визначити її хід до упору, швидкість підняття і посадки.

Тепловий метод оснований на контролі зміни температури поверхні

трубопроводу живлення форсунки. Якщо для відомих несправностей паливної апаратури (знос плунжерної пари, утворення коксу в розпилювачі форсунок, втрата рухомості голки, зниження тиску відкриття голки) визначити зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу, це дасть змогу за її зміною визначити вид несправності [8]. Недоліком такого методу є складність проведення контролю технічного стану об'єкта досліджень, висока вартість обладнання, не виключається вплив температури деталей двигуна на зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу.

Метод діагностування з використанням накладного п'єзоелектричного датчика тиску полягає в порівнянні дослідної діаграми, отриманої за допомогою п'єзоплівки з набором діаграм, отриманих з форсунок з відомими характерними несправностями (втрата рухомості голки розпилювача). Ефективність такого підходу залежить від набору діаграм, що є в базі

даних, і якості програмного забезпечення [9]. Недоліки – відсутність можливості визначати ділянку (місце) зависання (початок, середина або кінець ходу голки). Використання датчика для запису ходу голки дасть змогу визначити місце зависання, більш точно дасть змогу оцінити початок (кут випередження впорскування) і тривалість упорскування.

Діагностування за зміною ходу голки – на діаграмі руху голки виділяють характерні точки і ділянки: точку початку підняття голки (початок подачі палива); ділянку підняття голки; ділянку максимального підняття голки; ділянку посадки голки на сідло; точку закінчення посадки голки.

Хід голки, визначений у поточний період експлуатації дизеля, порівнюють з еталонним (контрольним) ходом, оцінюють технічний стан форсунки та установлюють можливі види несправностей [10].

Діагностування за величиною витікання палива з дренажної магістралі – при зносі обмежуючої поверхні корпусу форсунки і збільшенні ходу голки вона не досягає упору, і витікання палива збільшується. За зміною витікань можна визначити збільшення ходу голки і знос розпилювача [11].

Усі оглянуті методи потребують або додаткового встановлення датчиків, або обладнання, що має високу вартість, а достовірність визначення параметрів залежить від ряду суб'єктивних і об'єктивних чинників: кваліфікації оператора, що виконує перевірку, можливостей засобів вимірювання, якості програмного забезпечення, наявності бази даних з характерними несправностями та ін. Це потребує пошуку ефективних та недорогих методів автоматизованої оцінки якості роботи форсунки, що можуть застосовуватися в локомотиворемонтних виробництвах.

Фахівцями кафедри ЕРПС УкрДУЗТ розроблений автоматизований стенд для оцінки якості роботи паливних форсунок дизелів тепловозів (рис. 3).



Рис. 3. Загальний вигляд випробувального стенда:

- 1 – шафа з паливним обладнанням стенда;
- 2 – випробувальна камера з кріпленням форсунки;
- 3 – монітор користувача;
- 4 – панель керування;
- 5 – аварійне вимикання стенда;
- 6 – кнопка вмикання стенда;
- 7 – силова шафа

Стенд призначений для автоматизованого технічного контролю і регулювання форсунок дизелів типу Д49, Д100, К6S310DR та сучасних форсунок з електронним впорскуванням палива під час їх ремонту (обслуговування) у базових тепловозоремонтних підприємствах Укрзалізниці та інших підприємствах, що виконують поточні ремонти дизелів тепловозів чи їх паливної апаратури.

Стенд має можливість будувати та відображати на моніторі криву зміни тиску в паливопроводі високого тиску (рис. 4).

Для оцінки залежності між характером кривої зміни тиску та якістю розпилення палива на стенді проводились випробування форсунок з різними несправностями. У дослідженні було використано 50 форсунок, 10 з яких відповідали вимогам [2], а решта мали несправності, що викликають погіршення якості розпилювання. За діагностичний параметр якості розпилювання було обрано кут нахилу кривої зміни тиску палива в паливопроводі.

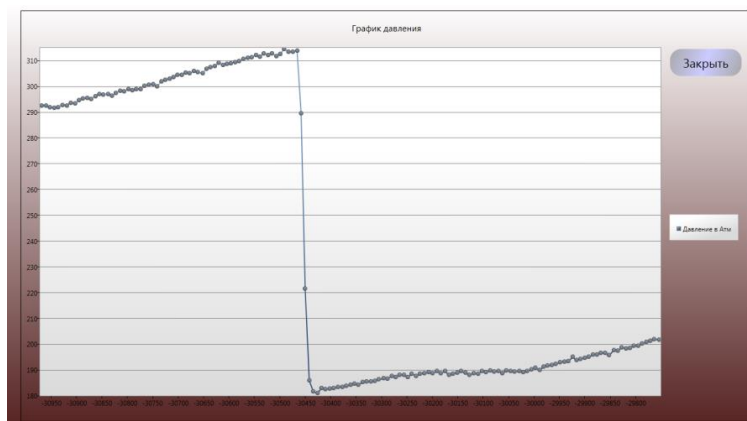


Рис. 4. Графік зміни тиску в паливопроводі форсунки

За аналізом характерних точок на імпульсі тиску (за амплітудою і фазою) можна визначити вплив зносу плунжерної пари, напрямної розпилювача (зазора),

жорсткості пружини, ходу голки, діаметра соплових отворів на процес подачі палива (рис. 5).

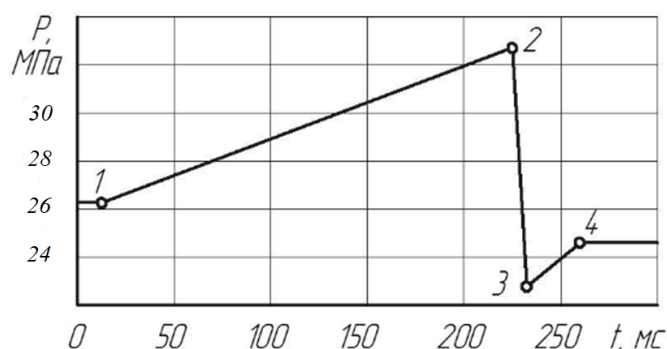


Рис. 5. Фази зміни тиску в паливопроводі в процесі випробування форсунок

Для визначення впливу зносу плунжерної пари обробляється ділянка 1–2. Зміна тиску на ділянці 2–3 залежить від діаметра соплових отворів, збільшення ходу голки і зазора в сполученні «голка–корпус розпилювача». По ділянці 3–4 оцінюється подача палива. Дослідження в основному проводилися по ділянці осцилограми 2–3.

Стенд має досить високий ступінь дискретизації даних, тому можливо експериментально встановити межі зміни кута нахилу кривої 2–3, при яких спостерігається ідеальна якість розпилювання. Відхилення від усередненого значення

кривої, отриманої при випробуваннях еталонних форсунок у бік збільшення кута свідчать про погіршення якості розпилення через збільшення діаметра соплового отвору і кількості палива, що впорскується за цикл, а в бік зменшення – про зменшену циклову подачу або про високу жорсткість пружини форсунки. Експериментальним шляхом було визначено межі кута нахилу кривої відносно вертикальної осі координат, при якому можна стверджувати, що якість розпилення близька до еталонної і форсунка придатна до використання (рис. 6).



Рис. 6. Зона ідеальної якості розпилю

Висновки. Аналіз існуючих методів оцінки технічного стану паливних форсунок дизелів показав те, що їх застосування пов'язане з ускладненням конструкції стендів спеціальним обладнанням, що має високу вартість. Використання спеціального обладнання в умовах ремонтних виробництв може бути ускладнено несприятливими умовами роботи та низькою кваліфікацією виконавців.

Експериментальні дослідження дали змогу виявити залежність між зміною тиску

палива під час впорскування та якістю розпилю форсункою.

Запропонований метод оцінки якості розпилення може бути реалізований на впроваджених у депо автоматизованих стендах. Для цього необхідні незначні зміни програмного коду. Це дасть можливість значно зменшити трудовитрати на випробування форсунок та дасть змогу підвищити ефективність роботи дизельних двигунів тепловозів, суттєво знизити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Список використаних джерел

1. Трелин, А. А. Основные показатели технического состояния форсунок – давление начала впрыска, качество распыливания топлива, герметичность и пропускная способность [Текст] / А. А. Трелин, К. В. Трелина // Труды ГОСНИТИ. – 2007. – Т. 99. – С. 61-63.
2. Інструкція з технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів ЧМЭЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ [Текст] : ЦТ-0042. – К. : Укрзалізниця, 2009. – 205 с.
3. Оценка геометрических характеристик факела распыливания топлива центробежными форсунками малого перепада давления [Текст] / Н. Д. Быстров, Н. Ю. Ильясова, Л. Н. Мединская, А. В. Устинов. – М., 1998. – 12 с. – Деп. в ВИНТИ 5.10.1998, № 2926-В-98.
4. Захаров, Ю. А. Проверка, диагностика и испытание форсунок дизелей [Текст] / Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. Актуальные проблемы и их решения: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. МНИЦ ПГСХА. – Пенза : РИО ПГСХА, 2014. – С. 43–47.
5. Інструкція з технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів 2ТЕ116 [Текст] : ЦТ-0042. – К. : Укрзалізниця, 2009. – 212 с.

6. Bystrov, N. D. Evaluating the geometrical parameters of atomization-jet cross section images in diagnostics of diesel injectors [Text] / N. D. Bystrov, N. Y. Piasova, L. N. Medinskaia, A. V. Ustinov // Proceedings SPIE. – vol. 3348. – P. 308-315.

7. Коньков, А. Ю. Основы технической диагностики локомотивов [Текст]: учеб. пособие / А. Ю. Коньков. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 98 с.

8. Балагин, Д. В. Экспериментальные исследования тепловых процессов в трубопроводах высокого давления топливной аппаратуры дизелей [Текст] / Д. В. Балагин // Омский научный вестник. – 2012. – № 3 (113). – С. 142–145.

9. Макушев, Ю. П. Датчики для осциллографирования процесса впрыска топлива в дизелях. Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России [Текст] / Ю. П. Макушев, А. В. Филатов, Л. Ю. Михайлова // Матер. 66-й Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: СибАДИ, 2012. – Кн. 2. – С. 67–71.

10. Роганов, С. Г. Влияние зазора в распылителе форсунки на процесс впрыска и некоторые показатели дизеля [Текст] / С. Г. Роганов, Ю. П. Макушев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 1978. – № 1. – С. 97–101.

11. Михайлова, Л. Ю. Диагностика форсунки дизеля по анализу хода иглы и утечкам топлива [Текст] / Л. Ю. Михайлова // Вестник инновационного Евразийского университета. – 2011. – №3 (43). – С. 99-105.

Пузир Володимир Григорович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Сендюк Віктор Едуардович, магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050)-836-82-55. E-mail: yasinovka24@gmail.com.

Пиво Володимир Васильович, магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Пузырь Владимир Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Дацун Юрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Сендюк Виктор Эдуардович, магистрант, кафедра эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (050)-836-82-55.

E-mail: yasinovka24@gmail.com.

Пиво Владимир Васильевич, магистрант, кафедра эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Puzyr V., D. Sc (Tech.), Professor, Head of Department, Department of Operation and maintenance of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Datsun Y., PhD (Tech.), Associate professor, Department of Operation and Maintenance of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Sendiuk V., master, Department of Operation and Maintenance of Rolling Stock, Ukrainian State University Of Railway Transport. Tel.: (050)-836-82-55. E-mail: yasinovka24@gmail.com.

Pyvo V., master, Department of Operation and Maintenance of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 12.11.2018 р.

УДК 629.4.072:656.027

ВИБІР ЕРГАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕДРЕЙСОВОЇ ПІДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД ШВИДКІСНОГО РУХУ

Д-р техн. наук В. Г. Пузир, магістрант А. Ю. Громак

ВЫБОР ЭРГАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДРЕЙСОВОЙ ПОДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВНОЙ БРИГАДЫ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д-р техн. наук В. Г. Пузырь, магистрант А. Ю. Громак

THE CHOICE OF THE ERGATIC MODEL OF THE PRECRUSION PREPARATION OF LOCOMOTIVE HIGH-SPEED MOVEMENT TEAM

D. Sc. (Tech.) V. G. Puzyr, master A. U. Gromak

У статті вирішуються питання щодо вибору ергатичної моделі локомотивної бригади. Локомотивна бригада розглядається як ергатична система з декількома рівнями керування. На підставі критеріїв, що запропоновані у статті, обрана оптимальна система роботи локомотивної бригади з дискретною моделлю «людина-оператор». Наведені моделі можуть бути реалізовані для формування технології передрейсового контролю локомотивної бригади при організації швидкісного руху.

Ключові слова: локомотивна бригада, ергатична система, модель «людини-оператора», безпека руху.

Статья посвящена вопросам технологии предрейсовой подготовки локомотивных бригад. Локомотивная бригада рассматривается как эргатическая система с несколькими уровнями управления. На основании критериев, предложенных в статье, выбрана оптимальная система работы локомотивной бригады с дискретной моделью «человек-оператор». Приведенные модели могут быть реализованы для формирования технологии предрейсового контроля локомотивной бригады при организации скоростного движения.

Ключевые слова: локомотивная бригада, эргатическая система, модель «человека-оператора», безопасность движения.

The article deals with the choice of an ergatic model of a locomotive brigade. The locomotive brigade is considered as an ergatic system with several levels of control. Based on the criteria proposed in the article the optimal system of locomotive brigade operation with the discrete model "person-operator" is chosen. The presented models are implemented for the formation of the technology of pre-flight control of the locomotive brigade in the organization of high-speed traffic. In the context of the deterioration of the technical condition of rolling stock, the focus on improving the work of the locomotive park should be given to improving the efficiency of the operation of the TRS in the operation and maintenance of the locomotive depo. Based on the analysis of the rolling stock operation, it can be argued that the disturbance of traffic safety by locomotive brigades is the most threatening of its consequences. Ensuring the effectiveness of the system "driver-locomotive" remains and acquires a special priority on the railway transport. The efficiency of the locomotive crew's operation in operation affects the main indicators of locomotive depots and railways as a whole, namely, the accuracy of compliance with the schedule of traffic and the cost of energy for traction of trains. That is why improving the quality of managerial activity of "human-operator" in the railway transport is an urgent task, which is aimed at solving problems of increasing the efficiency of transport operation in general. The analysis and especially the synthesis of the ergatic

systems, which are locomotive brigades, assume knowledge of the characteristics of the elements (actions of the locomotive brigade) from which they are composed, since only in this case it is possible to synthesize such systems with a given quality of functioning.

Keywords: locomotive brigade, ergatigue system, model of human-operator, traffic safety.

Вступ. На фоні погіршення технічного стану рухомого складу основна увага щодо покращення роботи локомотивного парку повинна приділятися підвищенню ефективності роботи тягового рухомого складу (ТРС) в експлуатації та ремонтного господарства локомотивного депо. Забезпечення ефективності роботи системи «машиніст-локомотив» залишається і набуває особливого пріоритету на залізничному транспорті. Ефективність роботи локомотивної бригади (ЛБ) в експлуатації впливає на основні показники локомотивних депо та залізниці в цілому, а саме на точність дотримання графіка руху та на витрати енергоресурсів на тягу поїздів. Саме тому покращення якості керуючої діяльності «людини-оператора» на залізничному транспорті є актуальним завданням, яке спрямоване на вирішення проблем підвищення ефективності експлуатації транспорту в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі аналізу експлуатації рухомого складу можна стверджувати, що порушення безпеки руху з боку локомотивних бригад є найбільш загрозливими за своїми наслідками. Щорічно в результаті неправильних дій машиністів у світі гинуть та травмуються тисячі людей. Саме тому значна кількість практичних і теоретичних досліджень присвячена створенню безпечних умов перевезення вантажів і пасажирів у всьому світі. Так, в [1] здійснено вибір основних критеріїв щодо безпеки руху та впливу людської діяльності на її рівень. У [2] розроблено наукові основи технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад, а в роботах [3, 4] багато уваги приділено аналізу діяльності поліергатичних систем. Дослідження проводилися з урахуванням швидкостей руху поїздів до 120 км/год.

Збільшення швидкостей руху висуває нові вимоги до надійності ергатичних систем. Отже, у сучасних умовах неабиякої актуальності набувають питання щодо вибору ергатичної моделі локомотивних бригад швидкісного руху.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета роботи полягає у виборі ергатичної моделі передрейсової підготовки локомотивних бригад швидкісного руху. Для вирішення цих питань необхідно реалізувати такі завдання:

1. Проаналізувати модель взаємозв'язків операторів у поліергатичних системах швидкісного руху.

2. Визначити шляхи підвищення якості керуючої діяльності машиністів швидкісного руху в процесі ведення поїзда.

Основна частина дослідження. Аналіз і особливо синтез ергатичних систем, якими є локомотивні бригади, припускають знання характеристик елементів (дій локомотивної бригади), з яких вони складаються, оскільки лише в цьому випадку можна синтезувати такі системи із заданою якістю функціонування. Це дає змогу прогнозувати поведінку системи при зміні окремих параметрів, що дуже важливо для багатьох ергатичних систем. Оскільки людина є ланкою системи, остільки вивчення систем з людиною в контурі управління повинно здійснюватися як єдине ціле.

Розглянемо технічні ергатичні системи управління (ТЕС), ланки яких описуються звичайними диференціальними рівняннями. Завдання отримати математичну модель локомотивної бригади при роботі її в контурі ТЕС надзвичайно складне навіть для окремих завдань. Це пояснюється неадекватністю поведінки людини при одних і тих же умовах, а також залежністю її характеристик від часу і

безлічі психологічних факторів, урахувати які не завжди можливо.

Це означає, що локомотивній бригаді на індикаторі надається інформація лише про одну величину $\varepsilon(t)$. У багатьох реальних системах вхідних величин для локомотивної бригади може бути і більше.

Однак необхідно врахувати, що локомотивна бригада є одноканальною ланкою, хоча зовнішнє враження багатоканальності існує, оскільки частота перемикання уваги у людини може бути досить високою [5]. У схемі (рис. 1) локомотивна бригада працює в режимі стеження за вхідним сигналом.

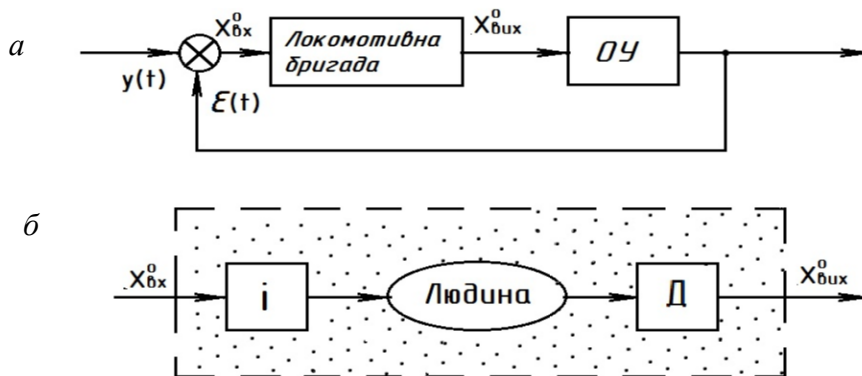


Рис. 1. Структура ергатичної системи (а) та ланки людини (локомотивна бригада) (б):
 ОУ – об’єкт управління; І – індикатор; Д – датчик реакції

Найбільш вивченими є ТЕС, структурні схеми яких мають вигляд, поданий на рис. 1, тобто системи, у яких локомотивна бригада як елемент системи має одну вхідну величину $\varepsilon(t)$.

Якщо індикатор є пристроєм, який показує лише незгодженість $\varepsilon(t) = y(t) - x(t)$ між вхідною величиною $y(t)$ і керованою (вихідною) величиною $x(t)$, то такий режим називається режимом компенсаторного стеження. У ньому функції локомотивної бригади зводяться до нуля помилки $\varepsilon(t)$.

Якщо індикатор показує вхідну $y(t)$ та вихідну (керовану) величину $x(t)$, то такий режим називається режимом переслідуваного стеження.

Для вирішення завдань спостереження з візуальним індикатором існує багато підходів до отримання математичних моделей функціонування локомотивної бригади як ланки замкнутої системи: безперервних лінійних, нелінійних дискретних та ін.

Усі типи математичних моделей ЛБ повинні за можливості повніше відобразити основні характеристики людини як ланки системи управління. До таких характеристик належать:

- а) запізнювання реакції;
- б) згладжування високих частот (це властивість посилюється із збільшенням частот);
- в) залежність характеристик від часу (причиною цього є те, що людина навчається, вона може передбачати зміну вхідної величини за непрямими ознаками, на неї впливають стомлюваність, емоції тощо);
- г) нелінійність.

Структурні схеми деяких типових моделей локомотивних бригад [5] наведені на рис. 2–4.

Виходячи з досвіду та практики експлуатації доцільно прийняти систему з дискретною моделлю людини–оператора.

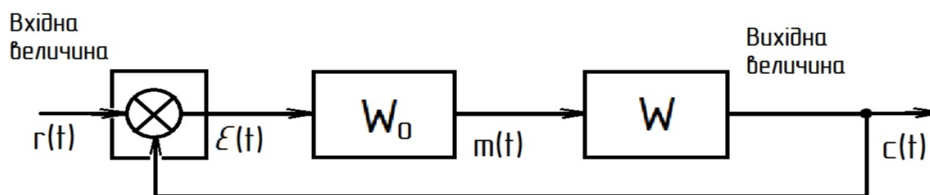


Рис. 2. Лінійна модель системи з локомотивною бригадою: W_0 – передавальна функція людини-оператора; W – передавальна функція керованого пристрою

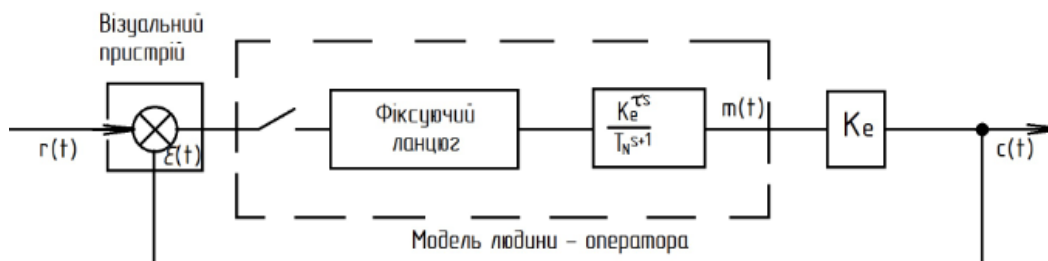


Рис. 3. Система з дискретною моделлю «людини-оператора»

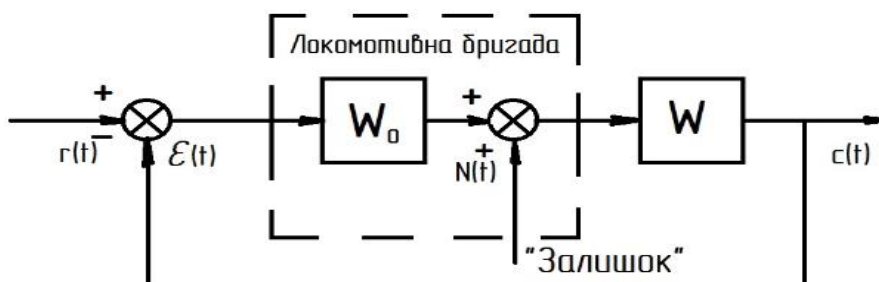


Рис. 4. Система з квазілінійною моделлю «людини-оператора»

У практичній же діяльності людей дуже часто трапляються системи управління, що складаються з декількох людей (локомотивна бригада). Такі системи зазвичай називають поліергатичними. Якість функціонування таких систем визначається характеристиками не тільки окремих операторів, а й колективу в цілому. Це залежить від злагодженості колективу, від психологічної сумісності її членів, від структури зв'язків у колективі, від розподілу функцій тощо. Залежно від кількісного складу колективи операторів можуть бути великі і малі, при цьому поведінка людини-оператора в умовах великих і малих груп може істотно

відрізнитися. У групах до того ж, крім функціональних (ділових) контактів, виникають емоційні (неофіційні, неділові) контакти, які чинять взаємний вплив. Усе це підкреслює складність аналізу і синтезу поліергатичних систем.

При оцінці різних структурних зв'язків операторів у групі [6], наприклад, розглядається показник центральності i -го оператора

$$C_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{\sum_j d_{ij}} \quad (1)$$

На рис. 5 колами показані оператори, а лініями – взаємозв'язки між ними.

Вважається, що кожна лінія показує одиницю відстані. Відстань d_{ij} між двома операторами i та j – це найменша кількість ланок, за якими можна пройти від одного оператора до іншого.

Показник периферійності Π в ряді випадків визначає ефективність вирішення

групових завдань. При вирішенні ряду завдань витрачається найменший час та виходить найменша кількість помилок для структури рис. 5, д, для якої повна периферійність $\Pi = 13,6$, тобто найбільша з наведених структур. Найгірші показники відповідають структурі рис. 5. б, $\Pi = 0$.

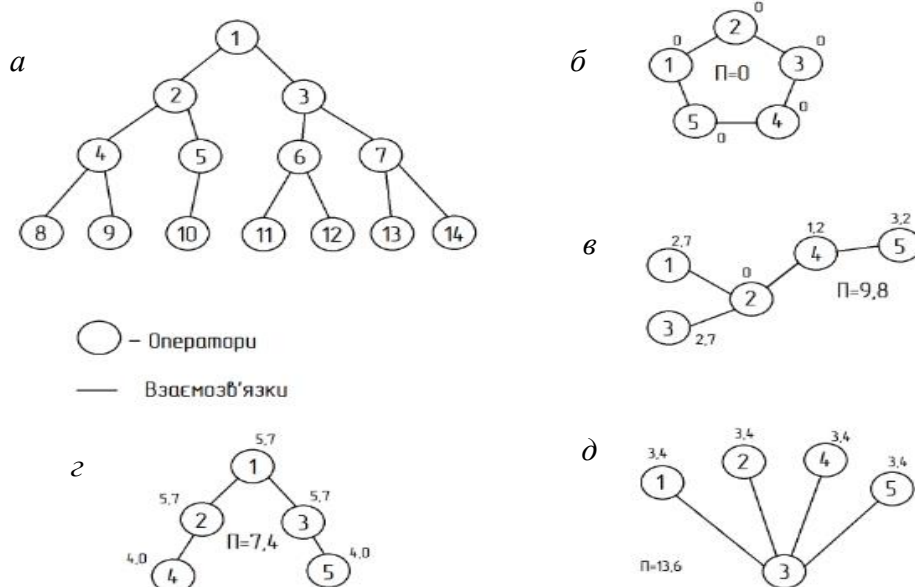


Рис. 5. Типи структур взаємозв'язків операторів у поліергатичних системах

У [6] відзначається також, що за допомогою показника Π можна порівнювати тільки структури з однакою кількістю операторів. Для структур з неоднаковою кількістю операторів їх оцінка істотно ускладнюється. Єдиного підходу до знаходження цієї оцінки поки що немає.

З огляду на запропоновані вище завдання пропонуємо такі стратегії управління:

1. Дотримання графіка руху – прагнення мінімізувати часовий розрив між заданим і поточним графіками руху.

2. Максимальна безпека руху – прагнення мінімізувати ризик виникнення транспортної пригоди: зниження швидкості, підвищений контроль за станом колії і сигналів, застосування гальм із запасом інтенсивності гальмування та часу на відновлення зарядки гальмівної магістралі.

3. Мінімальна витрата енергії на тягу – зменшення часу роботи на перехідних режимах, максимальне використання кінетичної енергії поїзда, робота обладнання на режимах максимального ККД.

4. Максимальний рівень надійності рухомого складу – недопущення перевантаження устаткування локомотива, уникнення режимів незадовільної роботи обладнання (буксування, перегрів, підвищена вібрація тощо), підвищений контроль за технічним станом локомотива.

Висновки. Зважаючи на досвід і практику експлуатації швидкісного руху розвинених країн, для дослідження взаємозв'язків операторів у поліергатичних структурах доцільно прийняти систему з дискретною моделлю управління.

Як критерій показника ефективності ергатичної системи може виступати центральний i -й оператор.

Перехід на швидкісний рух потребує ускладнення запропонованих моделей руху передрейсового контролю.

Покращення якості роботи ергатичної системи можливо упродовженням комплексу заходів, зокрема шляхом оптимізації розташування, форми та кількості приладів контролю.

Список використаних джерел

1. Самсонкін, В. М. Теорія безпеки на залізничному транспорті [Текст] : монографія / В. М. Самсонкін, В. І. Мойсеєнко. – К. : Каравела, 2014. – 247 с.
2. Пузир, В. Г. Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. Г. Пузир. – Харків : УкрДАЗТ, 2006. – 38 с.
3. Зигель, А. Модели группового поведения в системе “человек-машина” [Текст] / А. Зигель, Дж. Вольф. – М. : Мир, 1973. – 23 с.
4. Явна, А. А. К расчету параметров группы операторов автоматизированных систем ответственного назначения [Текст] / А. А. Явна // В кн.: Проблемы распределения информации. – М. : Наука, 1973. – Вып. 31. – С. 174-176.
5. Современная теория систем управления [Текст]. – М. : Наука, 1970. – 343 с.
6. Инженерная психология [Текст]. – К. : Вища школа, 1976. – 186 с.

Пузир Володимир Григорович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail.: puzyr.v.g.@gmail.com.

Громак Анатолій Юрійович, магістрант кафедри експлуатації і ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 050 04 44 693. E-mail.: anatoliygromak27@gmail.com.

Пузырь Владимир Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail.: puzyr.v.g.@gmail.com.

Громак Анатолий Юрьевич, магистрант кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. 050 04 44 693. E-mail.: anatoliygromak27@gmail.com.

Puzyr V.G., Dr. Sc. (Tech.), Professor, Head of Department, Department of Maintenance and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail.: puzyr.v.g.@gmail.com.

Gromak A.U. master, Department of Maintenance and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 0500444693. E-mail: anatoliygromak27@gmail.com.

Статтю прийнято 13.11.2018 р.

УДК 531.16:629.4.067

АНАЛІЗ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ РОЗПІЗНАВАННЯ СХОДУ ВАГОНІВ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Магістранти Т. В. Войнаровська, Н. С. Деордієва, С. С. Сауляк, В. І. Леонов

АНАЛИЗ И ВЫБОР АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ СХОДА ВАГОНОВ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Магистранты Т. В. Войнаровская, Н. С. Деордиева, С. С. Сауляк, В. И. Леонов

ANALYSIS AND SELECTION FOR THE ALGORITHM IDENTIFICATION OF THE DERAILMENT OF HIGH-SPEED CARRIAGES

Masters T. V. Vojnarovs`ka, N. S. Dyeordiyeva, S. S. Saulyak, V. I. Leonov

У статті запропоновано алгоритм розпізнавання сходу вагонів швидкісного руху, зроблено вибір найбільш раціонального коду, що відповідає кожному стану об'єкта, запропоновано основні ознаки сходу пасажирського вагона швидкісного руху, алгоритми логічної обробки сформованих ознак, які забезпечують оптимальне рішення задачі виявлення сходу вагона, Для порівняльної оцінки якості ознак розпізнавання встановлено критерії якості і вибране оптимальне рівняння функції, що розділяє.

Ключові слова: високошвидкісний пасажирський поїзд, сход з рейок, класифікатор, алгоритм розпізнавання, ознака розпізнавання.

В статтє предложен алгоритм распознавания схода вагонов скоростного движения, сделан выбор наиболее рационального кода, соответствующего каждому состоянию объекта, предложены основные признаки схода пассажирского вагона скоростного движения, алгоритмы логической обработки сформированных признаков, обеспечивающих оптимальное решение задачи обнаружения схода вагона. Для сравнительной оценки качества признаков распознавания установлены критерии качества и выбрано оптимальное уравнение разделяющей функции.

Ключевые слова: высокоскоростной пассажирский поезд, сход с рельс, классификатор, алгоритм распознавания, признак распознавания.

The purpose of this work is to develop algorithms for recognizing the gathering of high-speed carriages.

For this, the problem of choosing the most rational code corresponding to each state of the object was solved, the optimal equation of the separating function was chosen.

For this, the problem of choosing the most rational code corresponding to each state of the object was solved, the optimal equation of the separating function was chosen.

In general, the detection of a derailment of a railcar consists of the following operations: the conversion of monitored parameters into digital form for further processing by means of computer equipment; formation of signs (code) of the state of the object; classification of the state of the object in accordance with certain requirements.

To solve these problems, it is necessary to study the design features of the running gears and the superstructure, their working conditions, signs (parameters) characterizing the descent of the car, the behavior of these parameters in different modes of train movement. Also, the parameters of

the recognition system hardware (sensor characteristics, microcontroller capabilities, power supplies for electronic circuits) must be taken into account.

The main controlled parameters in this process are the amplitude and frequency of oscillation of the wheelset. Here, the system is required to separate the values of these parameters to identify a descent - these are road irregularities, wheel defects.

For a comparative assessment of the quality of recognition features, it was proposed to establish quality criteria. Here a criterion is used, based on a comparison of the statistical characteristics of the signs.

The classification of the state of an object is as follows: the likelihood ratio is calculated when the feature vector is measured and a hypothesis is then accepted or rejected depending on whether the point found is located above or below the separating function.

The decision making algorithm in favor of one of the classes of states of recognition objects is recommended to use the decision method with a constant sample size. The separation function equation is derived from the Bayesian criterion, which minimizes the average risk of making a wrong decision.

Keywords: *high speed passenger train, derailment, classifier, diagnostic sign, algorithm identification.*

Вступ. Проблема сходу пасажирських вагонів швидкісних поїздів через різноманітні причини, незважаючи на сучасні засоби контролю, залишається актуальною для України, а також усіх країн, що мають швидкісне залізничне сполучення.

Так, 18 грудня 2017 року поїзд компанії Amtrak, що зійшов з рейок у штаті Вашингтон, упав з моста на шосе.

28 квітня 2015 року швидкісний поїзд Hyundai, що прямував за маршрутом Харків-Київ зійшов з рейок на станції Люботин.

Але найбільша залізнична катастрофа в історії високошвидкісних поїздів сталася 3 червня 1998 року на лінії Ганновер–Гамбург. Тоді у поїзда ICE, що рухався зі швидкістю 200 км/год, зійшов з рейок один з вагонів, проїхавши, таким чином, 10 км, поїзд врізався в опору моста та обрушив міст на себе. Слід зазначити, що пристрої безпеки цього поїзда та наземні системи контролю не змогли запобігти катастрофі.

На жаль, на сьогодні відсутні надійні системи розпізнавання сходів, тому проблема виявлення і розпізнавання сходів вагонів швидкісного руху залишається актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усі основні роботи, що присвячені сходу вагонів аналізують, як правило, причини інцидентів. Найбільш повні сучасні дослідження сходів вагонів у результаті дефектів колії або дефектів ходових частин подані в роботах [1–3]. Також увагу дослідників спрямовано на моделювання динаміки вагонів у різних умовах. Розробленню математичних моделей динаміки вагона при взаємодії з рейковою колією присвячена робота [4].

У цей час, завдяки розвитку спеціалізованих програмних комплексів, розроблено значну кількість комп'ютерних моделей руху вагонів та імітації їх сходів [5–8].

Дослідження кінематики колісної пари після сходів та при її рухові по шпалах наведено в роботі [9].

У роботах [10, 11] запропоновані теоретичні розробки систем виявлення та реєстрації сходів рухомого складу.

Аналіз публікацій, присвячених сходу вагонів, показав, що основну увагу дослідники приділяли або механізму сходів, або його недопущенню. Методиці та алгоритмам виявлення сходів пасажирських вагонів швидкісного руху практично не приділяється увага, тому ця проблема

повинна вирішуватися системно, з обов'язковим розглядом усіх аспектів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою цієї роботи є розроблення алгоритмів розпізнавання сходу вагонів швидкісного руху.

Для цього потрібно вирішити завдання вибору найбільш раціонального коду, відповідного кожному стану об'єкта. Також скласти алфавіт ознак сходу вагона. Для порівняльної оцінки якості ознак розпізнавання встановити критерії якості і вибрати оптимальне рівняння функції, що розділяє.

Основна частина дослідження. У загальному вигляді виявлення сходу може складатися з таких операцій: перетворення контрольованих параметрів у цифрову форму для подальшої обробки; формування ознак (коду) стану об'єкта; класифікація станів об'єкта відповідно до певних вимог.

Для вирішення цих завдань необхідно вивчити конструктивні особливості ходових частин та верхньої будови колії, умови їх роботи, ознаки (параметри), що характеризують схід вагона, поведінка цих параметрів при різних режимах руху поїзда. Так само тут обов'язково повинні враховуватися параметри апаратної

частини системи, що розпізнає (характеристики датчиків, можливості мікроконтролерів, джерел живлення електронних схем).

Від вибору цих параметрів будуть прямо залежати якісні показники системи виявлення сходу.

Основними контрольованими параметрами, як показують дослідження [3], є амплітуда і частота коливання колісної пари. Тут від системи потрібно розділяти величини цих параметрів для визначення сходу, нерівності колії, при дефектах коліс.

При цьому необхідно побудувати систему розпізнавання так, щоб при вибраних параметрах вона забезпечувала мінімальну ймовірність помилкового розпізнавання, так як та чи інша помилка буде призводити, з одного боку, до не виправданих ризиків, а з другого – до необґрунтованих зупинок.

Це можливо при високій кореляції вимірюваних динамічних параметрів руху об'єкта. Для цього потрібно встановити ступінь такої кореляції, тобто за результатами V вимірювань визначити коефіцієнт кореляції r_{ab} розглянутих величин a і b [12]:

$$r_{ab} = \frac{\frac{1}{V} \sum_{i=1}^V (a_i - m_a)(b_i - m_b)}{\sqrt{\frac{1}{V} \sum_{i=1}^V (a_i - m_a)^2 \frac{1}{V} \sum_{i=1}^V (b_i - m_b)^2}}, \quad (1)$$

де m_a і m_b – середні значення розглянутих величин.

Завдання формування ознак зводиться до вибору найбільш раціонального коду, відповідного кожному стану об'єкта. При цьому необхідно прагнути, щоб вибрані ознаки мали найменші дисперсії при максимально можливому розходженні середніх значень ознак станів різних класів (відстані між гіпотезами). Якщо ознаки розпізнавання корельовано, головні з них

можуть бути визначені шляхом переходу до нових випадкових змінних (за допомогою лінійних перетворень), при яких кореляція ознак зникає.

Для достовірного виявлення сходу вирішального значення набуває не тільки вибір ознак, а й їх логічне ранжування (упорядкування). Мета упорядкування ознак полягає в тому, щоб на кожному попередньому етапі процесу класифікації використовувалася більш інформативна ознака, ніж на наступному. При цьому

більш інформативною вважається та ознака, яка приводить до меншого відсотка помилок розпізнавання [12].

Складання алфавіту ознак є виключно важливим етапом при побудові алгоритму автоматичного контролю сходу вагона.

Для порівняльної оцінки якості ознак розпізнавання сходу необхідно встановити критерії якості. Залежно від способу опису ознак розпізнавання можливі різні критерії оцінки їх якості. У цьому завданні найбільш зручним є критерій, оснований на порівнянні статистичних характеристик ознак [13]. Як критерій порівняльної оцінки ознак у цьому випадку доцільно використовувати величину

$$K_j = \frac{m_1 [M_{2ji}]}{M_{2ji}} ; \quad (2)$$

де $m_1 [M_{2ji}]$ – математичне очікування дисперсії j -ї ознаки за класами;

M_{2ji} – дисперсія математичного очікування розподілу ознак при переході від класу до класу.

Відповідно до визначення

$$m_1 [M_{2ji}] = \sum_{i=1}^m M_{2ji} \rho(\Omega_i), \quad (3)$$

де m – кількість класів розпізнавання;

$\rho(\Omega_i)$ – апіорна ймовірність появи стану, що належить до класу Ω_i .

Дисперсія математичного очікування розподілів ознак при переході від класу до класу

$$\overline{M_{2ji}} = m_1 \{ [m_{ji} - m_1(m_{ji})]^2 \}, \quad (4)$$

де m_{ji} – математичне очікування j -ї ознаки i -го класу стану;

$m_1(m_{ji})$ – математичні очікування математичних очікувань значень j -ї ознаки, що належать різним класам.

Найкращим слід вважати ту з ознак, яка мінімізує відношення (1):

$$\min K_j = \frac{m_1 [M_{2ji}]}{M_{2ji}}. \quad (5)$$

Якщо $K_l < K_s$, то якість ознаки X_l вища від якості ознаки X_s . Тобто, кращою з двох вважається ознака розпізнавання, у якої більша «відстань» між математичними очікуваннями значень ознаки, що належать різним класам, і менша дисперсія цих ознак.

Наступний етап побудови алгоритму полягає в аналітичному описі класів станів мовою обраних ознак. У межах цього етапу необхідно виділити в просторі ознак області $D_i, i = 1, 2, \dots, m$, відповідні класам $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$ стану об'єктів розпізнавання, знайти апіорні ймовірності $\rho(\Omega_i)$ належності стану об'єкта до класу Ω_i , функції щільності ймовірності $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n)$ значень ознак розпізнавання X_1, X_2, \dots, X_n , що належать класу Ω_i .

Якщо сукупність n ознак розпізнавання подати у вигляді n -вимірного вектора $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ простору ознак, то при правильному аналітичному описі класів об'єктів розпізнавання межа (функція, що розділяє) між областями D_i , що відповідають класам Ω_i , буде виражатися таким рівнянням:

$$F_q(X) - F_g(X) = 0. \quad (6)$$

Далі складаються такі алгоритми логічної обробки сформованих ознак, які забезпечили б оптимальний (відповідно до обраного критерію оптимальності) розв'язок задачі виявлення сходу вагона, тобто критерій якості розпізнавання сходу повинен досягати екстремального значення.

Алгоритм прийняття рішення на користь одного з класів станів об'єктів

розпізнавання рекомендується використувати для вирішення з постійним розміром вибірки.

У цьому випадку є n ознак ($n = \text{const}$) X_1, X_2, \dots, X_n , які належать одному з класів станів Ω_i . Позначимо через H_i і H_j – гіпотези того, що вибіркові значення

належать апріорно відомим розподілам $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_i)$ та $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_j)$, а через γ_i і γ_j — рішення, що полягають у прийнятті відповідних гіпотез. Встановлення правила рішення зводиться до поділу n -вимірного простору ознак (X_1, X_2, \dots, X_n) на дві області A_i і A_j , що не перетинаються, тобто

$$(X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_i \rightarrow \gamma_i; (X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_j \rightarrow \gamma_j. \quad (7)$$

Оскільки при класифікації необхідно за допомогою функції, що розділяє, розмежувати області, що перетинаються, на просторі ознак в області класів станів неминучі помилки класифікації.

Розрізняють помилки двох родів: імовірність «помилкової тривоги» (помилка першого роду), тобто ймовірність прийняття рішення про схід вагона в той час, як його стан нормальний:

$$P_{pm} = P\{\gamma_j / H_i\} = P\{(X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_j / \Omega_i\} = \int_{A_j} \dots \int W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_i) dX_1 dX_2, \dots, dX_n, \quad (8)$$

і ймовірність «пропуску» сходу (помилка другого роду), тобто віднесення вибірки до

класу Ω_i , хоча вона відображає Ω_j -й клас стану:

$$P_{np} = P\{\gamma_j / H_j\} = P\{(X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_i / \Omega_j\} = \int_{A_i} \dots \int W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_j) dX_1 dX_2, \dots, dX_n. \quad (9)$$

Очевидно, що при заданому (постійному) розмірі вибірки неможливо одночасно зробити як завгодно малими ймовірності «помилкової тривоги» і «пропуску». Можна лише змінювати їх співвідношення, переміщаючи функцію, що

розподіляє. Оптимальне рівняння функції, що розділяє, може бути отримано на основі критерію Байеса, що мінімізує середній ризик прийняття неправильного рішення. При використанні критерію Байеса функція, що розділяє, набуває такого вигляду:

$$D(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{P(\Omega_j)W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_j)}{P(\Omega_i)W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_i)} = \frac{P(\Omega_j)}{P(\Omega_i)} \lambda(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{C_{ij} - C_{ii}}{C_{ji} - C_{jj}}, \quad (10)$$

де $P(\Omega_j)$, $P(\Omega_i)$ – апріорні ймовірності відповідних класів станів;

$\lambda(X_1, X_2, \dots, X_n)$ – функція правдоподібності;

$\begin{vmatrix} C_{ii} & C_{ij} \\ C_{ji} & C_{jj} \end{vmatrix}$ – матриця вартостей втрат, у

якій рядки відповідають гіпотезам H_i і H_j , а стовпці – рішенням γ_i і γ_j .

Мінімальне значення середнього ризику

$$R = P(\Omega_i)C_{ii} + P(\Omega_j)C_{jj} + P(\Omega_i)(C_{ij} - C_{ii})P_{lm} - P(\Omega_i)(C_{ji} - C_{jj})(1 - P_{np}), \quad (11)$$

де P_{lm}, P_{np} – імовірності «помилкової тривоги» і «пропуску», що визначені за допомогою функції що розділяє (10).

Тоді класифікація за постійним розміром вибірки зводиться до такого:

- обчислюється відношення правдоподібності при вимірюваному векторі ознак;

- приймається або відкидається гіпотеза H_i залежно від того, над або під функцією, що розділяє, розташована знайдена точка.

Висновки. Таким чином, у цій роботі було запропоновано алгоритм розпізнавання сходу вагонів швидкісного руху, а також був зроблений вибір найбільш раціонального коду, що відповідає кожному стану об'єкта. Також запропоновані основні ознаки сходу пасажирського вагона швидкісного руху. Для порівняльної оцінки якості ознак розпізнавання встановлено критерії якості і вибране оптимальне рівняння розділюючої функції.

Список використаних джерел

1. Сокол, Э. Н. Механизм железнодорожно-транспортных происшествий при сходе с рельсов подвижного состава [Текст] / Э. Н. Сокол // Матер. доп. наук.-техн. конф. "Фізичні методи та засоби контролю матеріалів та виробів", 17-21 лютого 1997р., м. Славське. – К.; Львів, 1997. – С. 100–102.
2. Сокол, Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики) [Текст] : монография / Э. Н. Сокол. – 2-е изд., доп. – К. : Транспорт України, 2004. – 368 с.
3. Zeng, J. Study on the wheel/rail interaction and derailment safety / J. Zeng, P. Wu [Text] // Wear. – 2011. – Vol. 9–10, № 265. – P. 1452–1459.
4. Berghuvud, Ansel. Dynamic modelling of freight wagons [Text] / Ansel Berghuvud, Sebastian Stichel, Thomas Nordmark. – Master's Degree Thesis, 2011. – 80 p.
5. Buonsanti, M. Dynamic modelling of freight wagon with modified bogies [Text] / M. Buonsanti, G. Leonardi // European Journal of Scientific Research. – 2012. – Vol. 86, № 2. – P. 274–282.
6. Iwnicki, S. D. Handbook of Railway Vehicle Dynamics [Text] / S. D. Iwnicki. – London : CRC Press, 2006. – 527 p.
7. Mcclanachan, M. An investigation of the effect of bogie and wagon pitch associated with longitudinal train dynamics, The Dynamics of vehicles on roads and tracks, Vehicle Syst. [Text] / M. Mcclanachan, C. Cole, D. Roach, B. Scown. – Dyn. Suppl. (33), 1999. – P. 374–385.
8. Ловська, А. О. Комп'ютерне моделювання динаміки несучої конструкції кузова вагона при перевезенні залізничним поромом [Текст] / А. О. Ловська // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3. – С. 9–14.

9. Петухов, В. М. Кинематическая модель движения колесной пары после схода с рельс [Текст] / В. М. Петухов, Н. А. Аксёнова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. праць. Сер. Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 30 (1252). – С. 92–97.

10. Орлова, А. М. Выбор типов, мест расположения датчиков и критериев для сигнализации о сходе грузового вагона на основе математического и физического моделирования [Текст] / А. М. Орлова, В. С. Лесничий, Н. В. Смирнов // Наука та прогрес транспорту. – Днепропетровск : ДНУЗТ им. академика В. Лазаряна, 2004. – № 5. – С. 162–166.

11. Салтыков, Д. Н. Разработка принципов создания устройств регистрации схода с рельсов нетягового подвижного состава [Текст] / Д. Н. Салтыков, А. Э. Павлюков // Развитие транспортного машиностроения в России: тр. Междунар. конф. Сб. докл. – М. : ВНИИЖТ, 2004. – С. 135-136.

12. Барабаш, Ю. Л. Вопросы статистической теории распознавания [Текст] / Ю. Л. Барабаш. – М. : Советское радио, 1967. – 400 с.

13. Горелик, А. Л. Методы распознавания [Текст] / А. Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – М. : Высш. шк., 1977. – 222 с.

Войнаровська Тетяна Валеріївна, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Деордієва Надія Семенівна, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Сауляк Світлана Семенівна, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Леонов Володимир Іванович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Войнаровская Татьяна Валерьевна, магистрант, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Деордиева Надежда Семеновна, магистрант, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Сауляк Светлана Семеновна, магистрант, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Леонов Владимир Иванович, магистрант, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Vojnarovs`ka Tetyana Valeriyivna, master, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Dyeordiyeva Nadiya Semenivna, master, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Saulyak Svitlana Semenivna, master, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Leonov Volodymyr Ivanovych, master, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: vagon.ukrduzt@gmail.com.

Статтю прийнято 13.11.2018 р.

УДК 629.4.027

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
ПІДВИЩЕНОЇ НАПРУГИ**

Канд. техн. наук П. О. Харламов, магістрант К. Ю. Парпура,
старш. викл. О. М. Харламова

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Канд. техн. наук П. А. Харламов, магістрант К. Ю. Парпура,
старш. препод. Е. Н. Харламова

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF HIGH-SPEED RAILWAY THROUGH THE USE OF
THE DC OVERVOLTAGE**

PhD (Tech.) P. Kharlamov, master K. Parpura, Senior lecturer O. Kharlamova

Застосування в контактній мережі залізниць України постійного струму при напрузі 3 кВ не є оптимальним ані для обладнання електропостачання, ані для електрорухомого складу. Це був вимушений компроміс, що зумовлено вартістю втрат енергії в такій системі й вартістю її обладнання. Підвищення ж напруги в контактній мережі постійного струму в кілька разів дасть можливість застосувати системи імпульсного перетворення енергії, що усувають безпосередній зв'язок між напругами контактної мережі й тягових двигунів. Це суттєво поліпшить техніко-економічні показники системи тяги постійного струму та сприятиме розвитку високошвидкісного залізничного рухомого складу на постійному струмі.

Ключові слова: електрифікація, тяга, струм, напруга.

Применение в контактной сети железных дорог Украины постоянного тока при напряжении 3 кВ не является оптимальным ни для оборудования электроснабжения, ни для электроподвижного состава. Это был вынужденный компромисс, который обусловлен стоимостью потерь энергии в такой системе и стоимостью ее оборудования. Повышение же напряжения в контактной сети постоянного тока в несколько раз даст возможность применить системы импульсного преобразования энергии, которые разрывают непосредственную связь между напряжением контактной сети и тяговых двигателей. Это существенно улучшит технико-экономические показатели системы тяги постоянного тока и будет содействовать развитию высокоскоростного железнодорожного подвижного состава на постоянном токе.

Ключевые слова: электрификация, тяга, ток, напряжение.

The majority of CIS railways are electrified on DC with a voltage in the contact network of 3 kV. However, such a voltage is not optimal either for power supply devices or for electric rolling stock. It is a compromise solution, determined by the cost of energy losses in such a system and the cost of its devices. An increase in the voltage in the contact network of a direct current, for example, up to 6 or 12 kV or more, in order to reduce the energy losses in the system under the existing principles of regulating the operating conditions of the emitter. p.s. leads to a significant

increase in the cost of electrical equipment and traction engines. It is characteristic that the noted shortcomings of the DC traction system of 3 kV are due to the fact that there is a direct electrical connection between the voltage of the contact network and the voltage of the traction electrical equipment. If this connection is eliminated and it is possible to regulate voltages on traction engines within wide limits, it will be possible to increase the voltage in the contact network several times to significantly improve the technical and economic performance of the DC traction system. New possibilities in this respect are opened by the use of pulsed energy conversion systems, which eliminate the direct connection between the voltages of the contact network and traction motor. The use of thyristor control of the operating modes of traction motors allows smoothly adjusting in a wide range the voltage applied to the traction motors, regardless of the voltage in the contact network. Perspective are systems in which brushless motors are used as traction motors - asynchronous or synchronous (gate valves). If the DC link traction system raises the voltage in the contact network by 2-3 times, then when using the thyristor control of the traction engine operation, in addition to saving energy during start-up, reducing the number of control equipment, the cost of construction and operation of the power supply system will decrease.

Keywords: electrification, traction, current, voltage.

Вступ. Сучасні схеми силової електроніки забезпечують переваги для електричних мереж залізниць. Сьогодні у світі співіснують дві принципово різні системи електрифікації залізниць: системи постійної напруги 3 кВ (1,5 кВ) і однофазні системи змінної напруги 25 кВ при 50 Гц. Електровози та електропоїзди для систем живлення постійного струму мають більш просте електроустаткування з тяговою машиною постійного струму. Рухомий склад з трифазними тяговими машинами змінного струму має істотні обмеження на потужність завдяки низькій напрузі в контактній мережі. Зважаючи на це, питання можливості використання підвищеної напруги в системах постійного струму є актуальними, особливо для розвитку високошвидкісного руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені випробування тиристорно-конденсаторних систем для електрифікації у шістдесяті роки минулого століття в СРСР [1, 2] та у сімдесяті роки в Італії [3] із постійним струмом 6 кВ не сприяли появі нової концепції електровозів постійного струму насамперед через нестачу потужних ізольованих транзисторів з ізольованим затвором і біполярних транзисторів. Тому найбільш потужні електровози були розроблені для

однофазних систем електропостачання змінного струму з номінальною напругою 25 кВ. Подальше збільшення потужності обмежувалося ростом габаритних розмірів і маси однофазного трансформатора на такому електровозі. Наявність потужних високовольтних IGBT-транзисторів дала змогу побудувати електроустаткування електровоза змінного струму без низькочастотного важкого трансформатора (50 або 16 2/3 Гц), замінивши його на трансформатори середньої частоти (400 Гц) [4] або (відносно) високої частоти (18 кГц) [5]. Трансформатор, однак, був лише засобом забезпечення інтерфейсу між високою напругою передачі й значно меншою напругою навантаження та був виконавчим механізмом для керування швидкістю й потужністю, дозволяючи прості зміни напруги навантаження за допомогою трансформаторних відгалужень, що використовувались на старих локомотивах.

Сучасні конструкції без трансформатора можливі через спеціальні силові електронні схеми. Загальні вимоги – це висока вхідна напруга в широкому діапазоні й досить плавні струми, а також можливість рекуперації. Нові технічні розв'язки без трансформаторів для знижувальних або підвищувальних Дс-Дс-перетворювачів дають змогу збільшити

потужність електровозів з використанням постійного струму через збільшення напруги в контактній мережі значно вище 3 кВ.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є визначення особливостей використання систем постійного струму з підвищеним рівнем напруги в контактній мережі до 24 кВ, що дає принципову можливість забезпечити якісне струмознімання при високошвидкісному русі.

Основна частина дослідження. Відповідно до рівня технічного прогресу електрифікація проводилася на постійному струмі «низької» напруги (1,5 кВ; 3,3 кВ), тому що на локомотивах були встановлені двигуни саме постійного струму, електричні (технічні) характеристики яких не допускали подачу напруги живлення більшу, ніж 1,5 кВ. Електрична енергія доставляється до електрорухомого складу (ЕРС) за допомогою контактної мережі (КМ), контактна підвіска якої виконана товстими мідними проводами, найчастіше подвійними. Така марнотратність зумовлена тим, що передача необхідної потужності «низькою» напругою супроводжується протіканням у КМ більших струмів (близько 1000 А), тому переріз проводів збільшують для зниження активних втрат. Для подачі електроенергії в КМ використовуються тягові підстанції (ТП) постійного струму, які знижують напругу, що приходить із енергосистеми, випрямляють її й подають у КМ.

Однак наприкінці 1920-х років у СРСР фахівці дійшли висновку, що оптимальним варіантом є електрифікація на постійному або змінному (50 Гц) струмі напругою 20 кВ. В остаточному підсумку перевагу було віддано системі змінного струму частотою 50 Гц і напругою 27,5 кВ. Таке рішення зумовлене тим, що технічний розвиток тих років не давав змоги одержати високу постійну напругу, а потім перетворити її в 3,3 кВ усередині локомотива.

Сучасний рівень технічного прогресу дає змогу встановлювати на ЕРС змінного

струму асинхронний електродвигун, який одержує живлення від імпульсно-частотного перетворювача, здатного перетворити однофазну напругу, отриману із КМ, у трифазну напругу з регульованою частотою й амплітудою. Окрім того, нинішній рівень розвитку електроніки дає змогу здійснити раніше неможливе – провести електрифікацію по системі постійного струму високої напруги.

Відомо, що протікання струму по проводах супроводжується втратами енергії і, як наслідок, зменшенням напруги на навантаженні (пантограф локомотива). Для збільшення ефективності системи електропостачання необхідно звести ці втрати до мінімуму. З курсу теоретичних основ електротехніки відомо, що, крім активних втрат, властивих обом родам струму, змінний струм має ще й реактивний (індуктивний і ємнісний) опір. Очевидно, що при передачі однієї й тієї ж потужності тим самим рівнем напруги, втрати енергії на змінному струмі будуть більші, ніж на постійному. Це перший аргумент на користь використання постійного струму. Більше того, з вищесказаного випливає, що, при рівності рівнів струму й напруги на ТП системи змінного струму (СЗС) і системи постійного струму (СПС), використання СПС дає змогу підводити до ЕРС більшу потужність.

Слід також зазначити, що активний опір провідників у ланцюзі змінного струму завжди більший за їх опір у ланцюзі постійного струму через так зване явище поверхневого ефекту (скін-ефекту), суть якого полягає в тому, що змінний струм протікає по перерізу провідника не рівномірно, а витісняється до поверхні [6]. Це призводить до того, що переріз провідника використовується не повністю, тобто «корисний» переріз провідника зменшується, що призводить до збільшення активного опору. Це збільшення тим більше, чим більша частота струму, що протікає. Вплив скін-ефекту на проведення КМ практично незначний. Однак не варто

забувати про те, що як зворотна провідність використовується сталеве, а отже, феромагнітне, рейкове коло, що має набагато більшу, порівняно з контактною підвіскою, площу поперечного перерізу й більшу абсолютну магнітну проникність, що залежить від струму, що протікає по ньому. Відомо, що при змінному струмі значення активного опору рейкового кола в 5–10 раз перевищує значення активного опору при постійному струмі, а це вже необхідно враховувати [7]. Що б там не було, СПС позбавлена проблеми збільшення втрат, зумовлених скін-ефектом у КС і рейках, оскільки значення частоти постійного струму дорівнює нулю.

До мінусів використання СПС справедливо зараховують електрохімічну корозію підземних споруджень. Вплив цієї проблеми може бути зменшено декількома способами (в ідеалі використовуваними спільно), серед яких:

- використання станцій катодного захисту;
- зменшення струмів, споживаних ЕРС і відповідно тих, що протікають у землі.

Перший спосіб широко відомий і досить давно застосовується. А от зниження струмів може бути досягнуте практично тільки за рахунок збільшення живильної напруги, тому що для передачі деякої потужності високою напругою необхідні порівняно невеликі струми.

Саме через усі зазначені вище причини пропонується використовувати СПС з живильною напругою не менш 25 кВ. Адже при збільшенні напруги в 7,5 разу (відповідно до існуючих 3,3 кВ) відбувається зменшення струму в ті ж 7,5 разу. Втрати в провідниках за законом Джоуля-Ленца пропорційні квадрату струму, отже при зменшенні струму в 7,5 разу втрати зменшуються в 56, 25 разу.

Рівень живильної напруги не менш 25 кВ був обраний з таких міркувань:

- при зменшенні струму немає необхідності у використанні двох або більше контактних проводів;

- дія електрохімічної корозії підземних споруджень залежить від значення струму, що протікає, тому при зменшенні струму зменшується руйнівний вплив корозії;

- при збільшенні напруги СПС до 25 кВ і відповідно зменшенні струмів можна буде використовувати більш-менш відомі технічні рішення на вибір устаткування ТП, характеристик контактної підвіски (типу, перерізу й ін.), ізоляторів тощо.

Зниження втрат приводить до можливості збільшення відстані між ТП, а отже, до зменшення кількості ТП.

Важливо розглянути тему електромагнітної сумісності. Тут, безсумнівно, перевага віддається СПС, оскільки постійний струм і постійна напруга не створюють несприятливих змінних електромагнітних полів. Чого не можна сказати про СЗС, що створює небезпечний електромагнітний вплив.

Окрім того, постійна напруга в СПС отримана на ТП випрямленням змінної трифазної напруги, тому є пульсуючою і складається з постійної й змінної складових. Досить поширені на залізниці трифазні 6-пульсові випрямні агрегати, що використовують мостову схему Ларіонова або схему «дві вторинні зворотні зірки зі зрівнювальним реактором» [8].

Але досить очевидно, що більш ефективним буде застосування 12- і 24-пульсових схем, які підвищують якість випрямленої напруги, знижують втрати реактивної потужності, поліпшують зовнішню характеристику. Однак практичне використання будь-якої схеми випрямлення приводить до необхідності подальшого зниження пульсацій, зумовлених наприклад несиметричним режимом роботи. Для цього використовують різні фільтри, що згладжують (ЗФ). Варто також додати, що коефіцієнт корисної дії (ККД) багатьох сучасних перетворювачів досягає 97–99 %.

Застосування СПС високої напруги має на увазі використання відповідних релейних захистів і комутаційних апаратів.

Релейний захист (РЗ), природно, зазнає змін. По-перше, зміняться значення налаштувань різних видів захистів. По-друге, для підвищення ефективності необхідно встановлювати й використовувати РЗ, побудований на сучасній елементній базі – мікропроцесорах (МП). Використання мікропроцесорних інформаційно-керуючих систем (МІКС) у РЗ підвищує її надійність, швидкодію й чутливість, а отже, і ефективність усієї системи. Застосування МП також розширює функціональні можливості РЗ, а це у свою чергу дає змогу створювати захист нового покоління практично будь-якої складності.

Усі захисти, установлені на ТП, повинні бути об'єднані в єдину інформаційно-обчислювальну систему (ІОС) підстанції. За необхідності єдині ІОС окремих ТП можуть бути об'єднані між собою в ще більшу ІОС.

Після того, як якісна постійна напруга, наприклад рівна 27,5 кВ, отримана на ТП і з найменшими втратами за допомогою КМ доставлена до локомотива, виникає питання: а чи здатний ЕРС прийняти й використовувати цю напругу? Адже для живлення двигунів постійного струму або асинхронних двигунів напруга повинна бути знижена.

Якщо на ЕРС установлені асинхронні електродвигуни, необхідно використовувати імпульсний перетворювач (ІП) з регулюванням частоти й амплітуди. Такі перетворювачі здатні перетворювати постійну напругу в трифазну змінну напругу з регульованою частотою. Такі перетворювачі вже застосовуються в промисловості й на залізниці в СЗС-27,5, там, де використовуються асинхронні двигуни. Ці ІП можуть жити будь-яким родом струму: змінним трифазним, змінним однофазним або постійним,

оскільки всередині перетворювача однаково живильна напруга випрямлюється й за допомогою різних напівпровідникових обладнань імпульсно подається в потрібні моменти на ту або іншу фазу електродвигуна. Це може бути здійснено двома способами. Перший полягає в простій подачі імпульсів у потрібні фази. У цьому випадку ми одержуємо трифазну систему, але не синусоїдальну, а імпульсну. Другий, більш складний спосіб, полягає у створенні кривої напруги з набраних один за одним імпульсів різної амплітуди з наступним згладжуванням. Таким чином, виходить крива напруги, схожа на синусоїдальну криву. Імпульсний перетворювач створює три такі квазісинусоїдальні криві напруги, кожна з яких подається в потрібну фазу асинхронного двигуна.

Якщо ж на ЕРС розміщені двигуни постійного струму, необхідно просто знизити рівень напруги й регулювати його в деяких межах. Це перетворення (зниження напруги) може зробити ІП, що працює на напівпровідникових пристроях (зокрема транзисторах, симісторах і діодах) або із проміжним перетворенням на високій частоті.

Проте в ІП є принаймні один істотний недолік — імпульси різних частот викликають несприятливі електромагнітні впливи, з якими можливо й необхідно боротися застосуванням, наприклад устаткування, що екранує.

Висновки. З розробленням і виробництвом системи електричної тяги постійного струму підвищеної напруги 25 кВ почнеться новий етап у розвитку електричної тяги з підвищеними техніко-економічними показниками. Швидкісний рух зі швидкостями до 250–280 км/год може бути здійснено при наявній системі електропостачання постійного струму 3,0 кВ.

Список використаних джерел

1. Розенфельд, В. О. Применение постоянного тока высокого напряжения для электрической тяги [Текст] / В. О. Розенфельд, В. О. Шевченко, В. А. Майбога // Железнодорожный транспорт. – 1962. – № 7. – С. 35-39.
2. Система электрической тяги постоянного повышенного напряжения с тиристорными преобразователями на подвижном составе [Текст] / В. Е. Розенфельд, В. В. Шевченко, В. А. Майбога, Г. П. Долаберидзе // Электрическая и тепловозная тяга. – 1968. – №3. – С 4-6.
3. Kim J. Modeling, Control, and Design of Input-Series-Output-Parallel- Connected Converter for High-Speed-Train Power System [Text] / Jung-Won Kim, Jung- Sik You, B. H. Cho // IEEE transactions on power electronics. 2001. – Vol. 48. – № 3/
4. Hugo N., Stefanutti P., Pellerin M.: Power Electronics Traction Transformer // Proc. EPE07, Aalborg, 2007, CD; file 0715.pdf.
5. Steiner M., Reinold H.: Medium Frequency Topology in Railway Applications // Proc. EPE 07. Aalborg, 2007, CD, file 0585.pdf.
6. Нейман, Л. Р. Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники [Текст]: учеб. для вузов в 2 т. – 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – Т. 2. – 416 с.
7. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
8. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Парпура Кирило Юрійович, магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту, слухач за програмою ТЕМПУС.

E-mail: artem_92@icloud.com.

Харламова Олена Миколаївна, старший викладач кафедри іноземних мов Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: elenazinchenko0406@gmail.com.

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту подвижного складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Парпура Кирило Юрійович, магістрант кафедри експлуатації та ремонту подвижного складу Українського державного університету залізничного транспорту, слухач за програмою ТЕМПУС.

E-mail: artem_92@icloud.com.

Харламова Олена Миколаївна, старший викладач кафедри іноземних мов Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: elenazinchenko0406@gmail.com.

Kharlamov Pavlo, PhD (Tech.), associate professor, Department of Maintenance and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Parpura Kirilo, master (TEMPUS), Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: artem_92@icloud.com.

Kharlamova Olena, Senior lecturer, Department of Foreign Languages, Ukrainian State University of Railway Transport, E-mail: elenazinchenko0406@gmail.com.

Статтю прийнято 13.11.2018 р.

УДК 621.31

АНАЛІЗ СХЕМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Канд. техн. наук Д. Л. Сушко, магістрант С. С. Хатнянський

АНАЛИЗ СХЕМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Канд. техн. наук Д. Л. Сушко, магистрант С. С. Хатнянский

ANALYSIS OF SCHEME OF COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN THE SYSTEM OF TRACTION POWER SUPPLY

PhD (Tech.) D. L. Sushko, master S. S. Khatnianskyi

У статті проаналізовано існуючі способи і системи компенсації реактивної потужності в системі тягового електропостачання. Проблема компенсації реактивної потужності завжди посідала важливе місце у формуванні енергетичної ефективності електричної тяги. Тому для підвищення ефективності роботи пристроїв компенсації їх потужність повинна бути регульована залежно від значення тягового навантаження. З появою потужних високовольтних повністю керованих приладів типу IGBT почалося впровадження нового типу пристроїв, які називають СТАТКОМ.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, енергозбереження, система тягового електропостачання, тиристорний компенсатор, СТАТКОМ.

В статье проведен анализ существующих способов и систем компенсации реактивной мощности в системе тягового электроснабжения. Проблема компенсации реактивной мощности всегда занимала важное место в формировании энергетической эффективности электрической тяги. Поэтому для повышения эффективности работы устройств компенсации их мощность должна быть регулируемой в зависимости от значения тяговой нагрузки. С появлением мощных высоковольтных полностью управляемых приборов типа IGBT началось внедрение нового типа устройств, которые называют СТАТКОМ.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, энергосбережения, система тягового электроснабжения, тиристорный компенсатор, СТАТКОМ.

The article analyzes the existing methods and systems of reactive power compensation in the traction power supply system. The problem of reactive power compensation has always occupied an important place in shaping the energy efficiency of electric traction. Therefore, to increase the efficiency of the compensation devices, their power should be adjustable depending on the value of the tractive load.

Depending on the methods of regulation, a step-by-step control scheme with several sections of a capacitor bank and a smooth control with a thyristor control unit, a static thyristor compensator (STK), is considered.

With the advent of powerful high-voltage fully controlled IGBT devices, the introduction of a new type of device began, which is called STATCOM (static synchronous reactive power compensator), whose task is to improve the quality of electricity and increase the efficiency of its transmission and distribution systems by compensating reactive power, regulating voltage and increasing stability of the power systems.

In the case of direct connection of STATCOM to networks of the middle class of voltage, multi-level converters are used. Each individual output voltage is generated using PWM modulation with a switching phase shift for each bridge. One of these converters is an H-bridge based converter. An important advantage of this configuration is its modularity, which makes it easy to scale STATCOM when switching to different voltage levels and facilitates the operation and maintenance of the electrical installation.

Keywords: reactive power compensation, energy saving, traction power supply system, thyristor compensator, STATCOM.

Вступ. Проблема компенсації реактивної потужності (КРП) завжди посідала важливе місце в загальному комплексі питань підвищення ефективності передачі, розподілу та споживання електричної енергії. Правильне вирішення таких завдань значною мірою приводить не тільки до підвищення якості електропостачання, а також і до економії грошових і матеріальних ресурсів. Питання про компенсацію реактивної потужності повинно розглядатися з огляду на сучасні погляди і новітні технічні розробки в галузі електропостачання.

Мінімізація втрат електроенергії в тяговій мережі є цільовим завданням участі системи тягового електропостачання (СТЕ) у формуванні енергетичної ефективності електричної тяги в цілому [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У тяговій мережі змінного струму магістральних залізниць реактивна потужність споживається електровозами

змінного струму, коефіцієнт потужності яких залежить від режиму роботи електровоза (у режимі тяги $\cos\varphi = 0,5-0,85$; у режимі рекуперативного гальмування $\cos\varphi = 0,25-0,55$). На міжпідстанційній зоні відповідно до графіка руху переміщуються декілька парних і непарних поїздів, що є причиною зміни споживання реактивної потужності в часі в різних точках ділянки [4, 5, 9].

Активним заходом підвищення $\cos\varphi$ є установлення в мережах батарей статичних конденсаторів, тобто компенсувальних пристроїв (КП) [2, 3, 5, 8].

На рис. 1 подана схема та векторна діаграма, які пояснюють принцип компенсації реактивної потужності.

При встановленні у споживача КП, який віддає в мережу реактивну потужність q_k , величина реактивної потужності, що передається по лінії, зменшується, завдяки чому $\cos\varphi$ зростає. У цьому легко переконатися з діаграми (рис. 1, б).

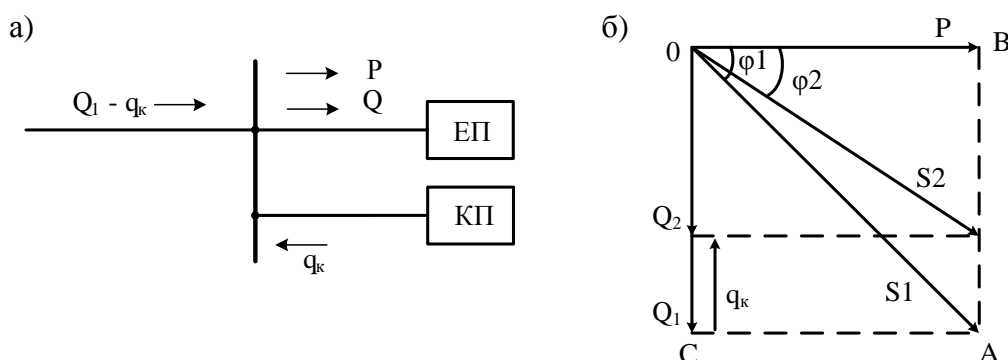


Рис. 1. Схема електропередачі (а) та векторна діаграма компенсації потужності (б)

До компенсації потужність зображається трикутником OAB, де вектор $OB = P$ означає задану активну потужність споживача, а вектор $AB = OC = Q_1$ відповідає реактивній потужності споживача. Потужність КП, потрібна для підвищення $\cos\varphi$ від його початкового значення $\cos\varphi_1$ до бажаного $\cos\varphi_2$, легко визначити з діаграми [3].

Реактивна потужність до штучної компенсації становить $Q_1 = P \operatorname{tg}\varphi_1$, де $\operatorname{tg}\varphi_1$ відповідає $\cos\varphi_1$. Після компенсації її величина буде

$$Q_2 = P \operatorname{tg}\varphi_2. \quad (1)$$

Отже, потужність компенсуючого пристрою

$$Q_k = Q_1 - Q_2 = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2). \quad (2)$$

За отриманою за цією формулою потужністю КП вибирають найближчу стандартну за каталогами [2, 3].

Визначення мети та задачі дослідження. Аналіз існуючих способів і систем компенсації реактивної потужності в системі тягового електропостачання, які дадуть змогу забезпечити енергозбереження та економічність процесу перевезень, а також ефективність застосування статичних регульованих компенсаторів реактивної потужності в системах тягового електропостачання залізниць.

Основна частина дослідження. Відомо [5, 7], що компенсація реактивної потужності спрямована переважно на економію (зменшення втрат) при експлуатації тягових мереж і одночасно на поліпшення якості напруги.

Для оцінки величини реактивної потужності зазвичай використовується один з двох коефіцієнтів:

- коефіцієнт потужності $\cos\varphi = P/S$;
- коефіцієнт реактивної потужності $\operatorname{tg}\varphi = Q/P$.

Зв'язок між цими коефіцієнтами:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\varphi}}. \quad (3)$$

Споживання реактивної потужності (РП) призводить до таких негативних явищ:

- збільшення струму в мережі:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U} = \frac{P}{Q} \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\varphi}; \quad (4)$$

- збільшення втрат активної потужності:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2}{U^2} \cdot R \cdot (1 + \operatorname{tg}^2\varphi). \quad (5)$$

Крім низького значення коефіцієнта потужності, особливістю тягового електропостачання також є генерація ЕРС вищих гармонік струму в тяговій мережі. Гармоніки струму 150, 250, 350 Гц тягової мережі відповідно дорівнюють 25, 8, 3 % від основної гармоніки струму ЕРС, вони проникають у мережі 110 (220) кВ і створюють негативні наслідки.

Покращення режиму напруг і компенсації реактивної потужності можна досягти за допомогою використання установок поздовжньої (ПЄК) і поперечної (ПК) ємнісної компенсації [2, 3, 7].

Установки поздовжньої (ПЄК) і поперечної (ПК) компенсації в системі тягового електропостачання залізниць вирішують багато завдань: підвищують пропускну спроможність залізниць, забезпечуючи підвищення рівня напруги; знижують втрати електроенергії, забезпечуючи енергозбереження; підвищують ефективність роботи електрообладнання, покращуючи якість електроенергії, і в цілому покращують електромагнітну сумісність тягових мереж. Установки поперечної і поздовжньої ємнісної компенсації вмикаються на тягових підстанціях і на постах секціонування тягової мережі змінного струму.

Найбільший ефект у тяговій мережі дає вмикання ПК всередині міжпідстанційної зони на посту секціонування [4, 5, 9]. Для запобігання резонансним явищам послідовно з конденсаторною батареєю вмикають реактор, індуктивність якого вибирають так, щоб коло, яке утворилося, було налаштоване на частоту третьої гармоніки тягового струму (150 Гц). У цьому випадку установка буде мати ємнісний характер при основній частоті й індуктивний – для гармонік тягового струму вище третьої. Тому виключається можливість виникнення резонансних коливань не тільки на частоті третьої, але й гармонічних складових більш високого порядку [2, 3].

Специфікою тягового навантаження є його непостійність у зв'язку зі зміною режиму роботи ЕРС, його переміщенням і зміною величини ЕРС на міжпідстанційній зоні. Це приводить до зміни в часі графіка споживання реактивної потужності ЕРС. Для нормалізації режиму напруги і зниження втрат електроенергії потужність, яку генерує ПК, повинна відповідати споживаній.

Тому для підвищення ефективності роботи пристроїв поперечної ємнісної компенсації їх потужність повинна бути регульованою залежно від значення тягового навантаження [4–6].

Залежно від способів регулювання розглянемо такі групи перспективних регульованих КП для тягового електропостачання:

- ступінчастий регульований КП з декількома секціями конденсаторних батарей, які перемикаються;

- плавно регульована установка КП з нерегульованою конденсаторною батареєю і з паралельно увімкненим реактором, який регулюється тиристорним блоком.

Регульовані КП ступеневого типу складаються з декількох секцій. Залежно від регульованого параметра (напруга, струм, реактивна потужність тощо) в них вмикається і вимикається чергова секція

(рис. 2, а, КП1, КП2, КП3). У кожену секцію входять: конденсаторна батарея С, реактор LR і головний вимикач Q1 з демпфувальним ланцюгом Q2-R [5].

У схемах КП з регульованими реакторами (рис. 2, б) сумарна потужність КП при паралельному вмиканні регульованого реактора LRP і конденсаторної батареї С з реактором LR дорівнює різниці їх потужностей. Якщо зазначені потужності рівні, то КП практично не генерує реактивну потужність. При регулюванні LRP зі зменшенням його потужності КП збільшує генерацію реактивної (ємнісної) потужності в мережі [5].

Більший інтерес становить схема (рис. 2, в) з реактором, регульованим за допомогою тиристорів, так звані статичні тиристорні компенсатори (СТК). Збільшуючи кут регулювання тиристорів від 0 до $\pi/2$, змінюють величину струму, що протікає через реактор, від номінального значення до нуля [5, 7, 8, 10].

Замість реактора може застосовуватися реактор-трансформатор для зниження напруги на комутованих тиристорах (рис. 2, г). Також відомі схеми з вмиканням конденсаторної батареї і СТК через знижувальний трансформатор, що забезпечує можливість роботи тиристорів на зниженій напрузі.

Одна з основних характеристик СТК полягає в тому, що кількість реактивної потужності, яка взаємозамінюється з системою, залежить від прикладеної напруги. При номінальній напрузі СТК представляє лінійну характеристику, яка обмежена номінальною потужністю конденсатора і реактора відповідно. За цими межами характеристика не є лінійною, що є одним з основних недоліків цього типу компенсатора [8].

З появою потужних високовольтних приладів типу IGBT почалося впровадження нового типу пристроїв, які називають СТАТКОМ (статичний синхронний компенсатор реактивної потужності), завданням яких є поліпшення

якості електроенергії та підвищення ефективності систем її передачі і розподілу за рахунок компенсації реактивної

потужності, регулювання напруги та підвищення стійкості роботи енергосистем [7, 8, 10].

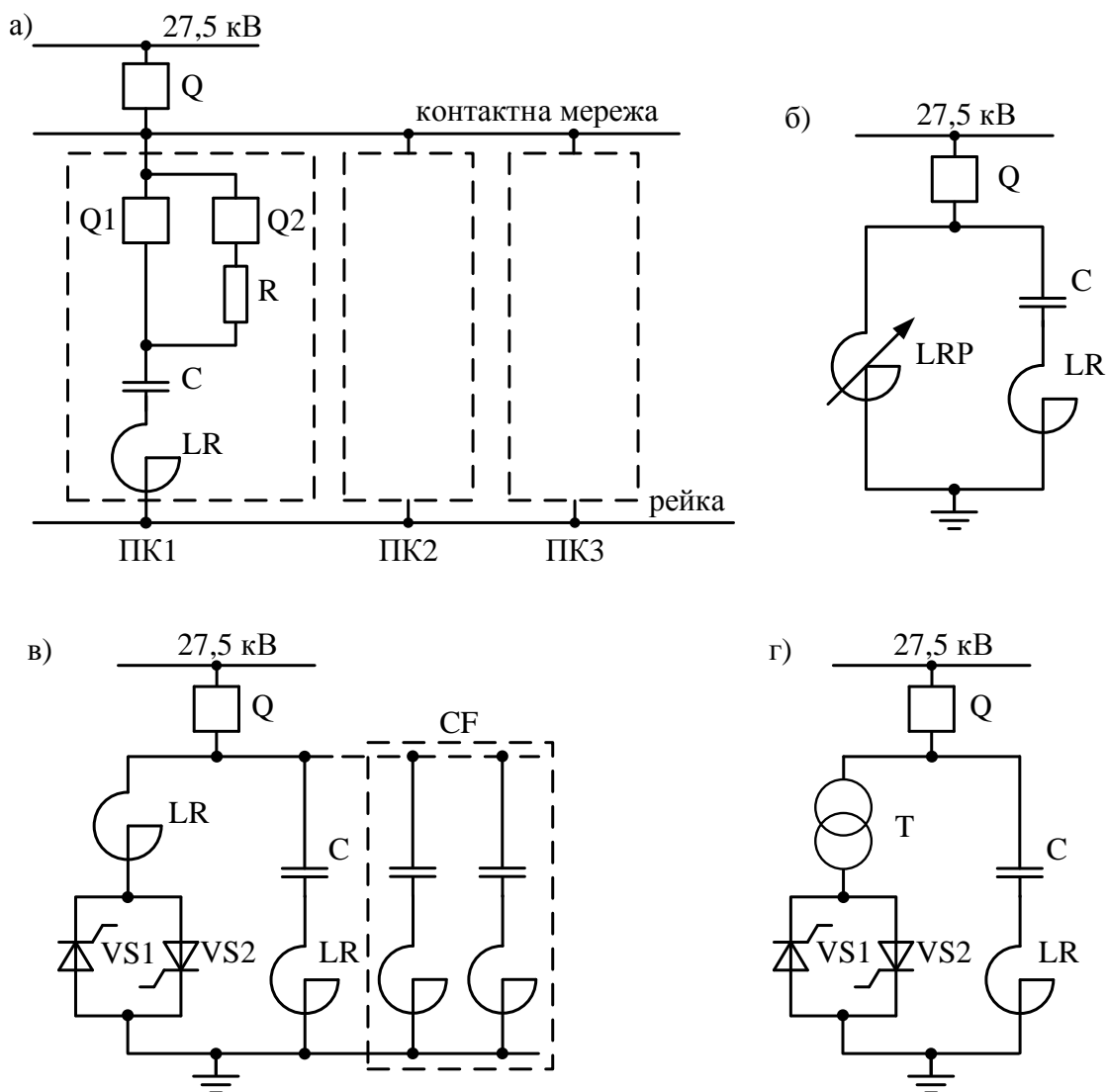


Рис. 2. Схеми регульованих КП з реактором

СТАТКОМ являє собою інвертор струму, підключений через індуктивний реактор до мережі (рис. 3) [8].

Рис. 3, б показує, яким повинен бути струм СТАТКОМ i_k , щоб при споживанні всіма електроприймачами (ЕП) несинусоїдального струму i_n з мережі споживався синусоїдальний струм $i_{n(1)}$, що передає ту ж активну потужність.

Струм компенсатора $i_k = i_{n(1)} - i_n$.
Визначаючи споживану реактивну

потужність у системі, СТАТКОМ може видавати рівну і протилежну за знаком реактивну потужність, забезпечуючи тим самим динамічну компенсацію реактивної потужності.

У разі прямого (безтрансформаторного) підключення СТАТКОМ до мереж застосовують каскадні багаторівневі перетворювачі [7, 8, 10].

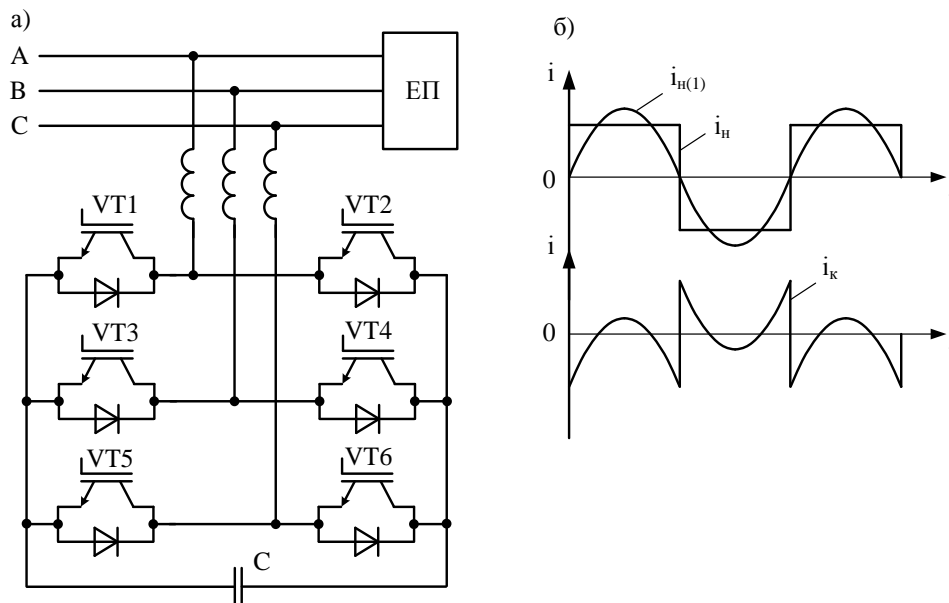


Рис. 3. Схема підключення СТАТКОМ до мережі (а) та діаграми струмів (б)

Цей перетворювач будується з послідовно з'єднаних силових модулів (рис. 4, а). Кожний модуль є інвертор, побудований за схемою Н-моста, і має власний конденсатор (рис. 4, б). Для каскадного багаторівневого інвертора повна вихідна напруга є сумою вихідних напруг окремих модулів Н-мостів. Кожна окрема вихідна напруга формується з

використанням широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) модуляції із зсувом фази комутації для кожного моста.

На рис. 4, в наведено графік вихідної напруги в одному колі, що складається з 6 блоків. Навіть при такій кількості модулів форма напруги близька до синусоїди, а зі збільшенням їх числа кількість сторонніх гармонік у сигналі різко скорочується.

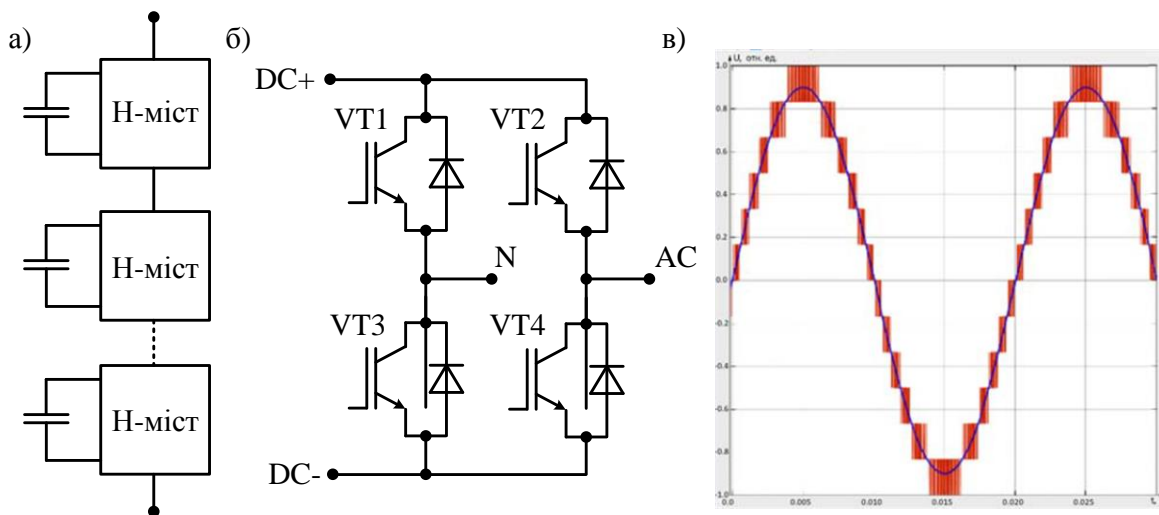


Рис. 4. Схема багаторівневого перетворювача (а), силового модуля (б) та діаграма вихідної напруги СТАТКОМ

Висновки. Проведений аналіз способів і систем компенсації реактивної потужності в системі тягового електропостачання показує, що подальше підвищення якості електроенергії та енергоефективності можливе завдяки переходу від нерегульованих КП до регульованих залежно від значення тягового навантаження, які дадуть змогу забезпечити енергозбереження та економічність процесу перевезень.

Порівняно з СТК й іншими традиційними пристроями компенсації

реактивної потужності СТАТКОМ має ряд переваг: кращі динамічні характеристики; можливість підтримки номінального емнісного вихідного струму при низькій напрузі системи, що у свою чергу забезпечує більш високу динамічну стійкість передачі порівняно з СТК; завдяки високій частоті перемикання приладів СТАТКОМ може здійснювати активну фільтрацію гармонічних струмів навантаження; вимагає менше місця для установки (приблизно у два рази порівняно з СТК).

Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія Укрзалізниці на період до 2015 р. і на перспективу до 2020 р. [Текст] : затв. державною адміністрацією залізничного транспорту України 26.11.2013 р. – К. : Укрзалізниця, 2013. – 104 с.
2. Марквард, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквард. – М. : Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Акімов, О. І. Електричні мережі електрифікованих залізниць [Текст] : навч. посібник / О. І. Акімов, Д. Л. Сушко. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – 229 с.
4. Доманский, И. В. Режимы работы системы тягового электроснабжения переменного тока с устройствами компенсации реактивной мощности [Текст] / И. В. Доманский // Электротехника і електромеханіка. – 2015. – № 3. – С. 59-66.
5. Герман, Л. А. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог [Текст] : учеб. пособие / Л. А. Герман, А. С. Серебряков. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 316 с.
6. Солонина, Н. Н. Новые технологии компенсации реактивной мощности [Текст] / Н. Н. Солонина, К. В. Суслов, З. В. Солонина // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 5. – С. 135-143.
7. Dixon, J.W. A Full Compensating System for General Loads, Based on a Combination of Thyristor Binary Compensator, and a PWM-IGBT Active Power Filter [Text] / J.W. Dixon, Valle Y. Del, M. Orchard, M. Ortu'zar, L. Mora' n, C. Maffrand // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2003. – V. 50. – № 5. – P. 982–989.
8. Dixon, J. Reactive Power Compensation Technologies: State of the Art Review [Text] / J. Dixon, L. Morán, J. Rodríguez, R. Domke // Proceedings of the IEEE. – 2003. –V. 93. № 12. – P. 2144 – 2164.
9. Москалев, Ю. В. Определение места размещения и мощности компенсирующего устройства в системе тягового электроснабжения переменного тока двухпутного участка по минимуму потерь активной мощности [Текст] / Ю. В. Москалев, Г. Г. Ахмедзянов // Известия Транссиба. – 2016. – №2(26). – С. 100-107.
10. Shahnian, F. Static Compensators (STATCOMs) in Power Systems [Text] / F. Shahnian, S.Rajakaruna, A. Ghosh. – Singapore: Spring, 2014. – 600 p.

Сушко Дмитро Леонідович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066) 121-60-10. E-mail: dimals80@i.ua.

Хатнянський Сергій Сергійович, магістрант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (050) 026-98-47.
E-mail: sergej.hatniansky@yandex.ru.

Сушко Дмитрий Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066) 121-60-10. E-mail: dimals80@i.ua.

Хатнянский Сергей Сергеевич, магистрант кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. (050) 026-98-47.
E-mail: sergej.hatniansky@yandex.ru.

Sushko Dmitriy Leonidovich, PhD (Tech.), associate professor, Department of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (066) 121-60-10.
E-mail: dimals80@i.ua.

Khatnianskyi Serhii Serhiiyovych, master, Department of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (050) 026-98-47.
E-mail: sergej.hatniansky@yandex.ru.

Статтю прийнято 13.11.2018 р.

УДК 331.103.255

МОБІЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Канд. техн. наук С. Г. Жалкін, магістрант А. К. Брехаря

МОБИЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВОЗОВ

Канд. техн. наук С. Г. Жалкин, магистрант А. К. Брехаря

MOBILE TECHNOLOGY OF TECHNICAL SERVICE OF MANEUVAL HEAT CARRIERS

PhD (Tech.) S. Zhalkin, master A. Brekharia

Технічне обслуговування ТО-2 маневрових тепловозів виконують у критичних пунктах (ПТО), які оснащені необхідним обладнанням та укомплектовані кваліфікованими слюсарями. Технічне обслуговування ТО-2 маневрових тепловозів, які працюють на віддалених станціях, здійснюють працівники локомотивних бригад, що не гарантує його якості.

Для підвищення якості технічних обслуговувань таких тепловозів запропоновано пересувну майстерню, що змонтована у кузові автобуса.

Ключові слова: *тепловоз, технічне обслуговування, діагностика, станція, автобус, майстерня, пристосування, інструмент, запчастини.*

Техническое обслуживание ТО-2 маневровых тепловозов выполняется в крытых пунктах (ПТО), которые оснащены необходимым оборудованием и укомплектованы квалифицированными слесарями. Техническое обслуживание ТО-2 маневровых тепловозов, которые работают на отдаленных станциях, выполняется силами локомотивных бригад, что не гарантирует качество.

С целью повышения качества технических обслуживаний таких тепловозов предложена передвижная мастерская, которая смонтирована в кузове автобуса.

Ключевые слова: тепловоз, техническое обслуживание, диагностика, станция, автобус, мастерская, приспособление, инструмент, запчасти.

Technical service TS-2 mobile diesel engines conducted in large points (STS) which are equipped a necessary equipment and improved skilled locksmiths. Technical service TS-2 mobile diesel engines which work on the remote stations and conducted forces of locomotive brigades, that does not guarantee quality. With a purpose the removal of such failings is offered movable outfitter which is mounted on a serial motor-car undercarriage.

With the purpose of upgrading technical maintenances of such diesel engines a movable workshop which is mounted in the basket of bus is offered in the basket of bus. Thus considerably reduced costs on technical service, similarly new chart of periodicity of implementation TS-2A allows to shorten the amount of services TS-2D on 9-10 units, that on labour intensiveness time prior to permanent repair of TS-2 corresponds diereses to services in a volume TS-3. The expense of fuel is abbreviated almost in 3 times as compared to sending of diesel engine in a basic depot, motor capacity c of diesel engine is partly saved.

Introduction of the movable setting of technical service TS-2 diagnostics of mobile diesel engines enables to economize time of exchange of diesel engines, fuel products, disburden the areas of appeal of diesel engines on an exchange, to decrease the amount of harmful matters which are thrown out in an atmosphere with exhaust gases of diesel engines, to improve quality of repair and production TS-2 by diagnostics of knots and aggregates of diesel engine and introduction of new technologies on implementation of technical service TS-2D, to shorten the amount of diesel engines which are exploited. A diesel engine and stall on STS, which will be for mobile diesel engines it is not high-usage, is exempt, it is possible to utilize for other aims.

At application it is necessary to execute consonant with equipment, applying a movable outfitter on the base of motor-car undercarriage that allows not utilizing railway areas for the move of diesel engines which work on the remote stations to the basic depot.

Keywords: diesel engine, technical service, diagnostics, station, bus, workshop, adaptation, instrument, repair parts.

Вступ. Дослідження спрямовані на вирішення важливої науково-практичної проблеми зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів і підвищення екологічної безпеки, збереження моторесурсу та збільшення часу корисної роботи маневрових тепловозів, які працюють на віддалених від основного депо залізничних станціях.

Згідно із системою планово-попереджувальних ремонтів та технічних обслуговувань тягового рухомого складу (ТРС) [1] технічні обслуговування ТО-2 і ТО-3 виконуються в період між поточними ремонтами через певний проміжок часу. Переїзд маневрових тепловозів до основного депо для виконання ТО-2 та

позапланового ремонту викликає додаткові витрати палива, збільшує кількість тепловозів, що експлуатуються, ускладнює роботу станцій та займає дільниці залізниці, призводить до зносу рейок, деталей екіпажної частини та дизелів тепловозів.

Усе це вказує на необхідність розроблення нових способів та технологій технічного обслуговування маневрових тепловозів, які працюють на віддалених лінійних станціях, з широким застосуванням діагностичних операцій та пересувних ремонтних майстерень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні ремонтні витрати протягом життєвого циклу тепловозів складаються з витрат на поточні ремонти

(ПР) та технічні обслуговування (ТО), усунення відмов та утримання ремонтної бази й займають 14 % узагальненої сумарної вартості життєвого циклу [2].

Пересувні ремонтні майстерні, які застосовуються в агропромисловому комплексі, житлово-комунальному господарстві при ремонті залізничних колій та колій міського транспорту та ін., мають вузькоспеціалізоване призначення й за своїм оснащенням не придатні для виконання ТО-2 тепловозів. Сучасні універсальні технічні майстерні типу МТО, МРМ, СРЗ-А (кунги), які застосовуються при монтажних-демонтажних роботах, ремонті спецтехніки у польових умовах викликають великі витрати на утримання та ремонт самої майстерні, велику витрату палива (біля 40 л/100 км). Також відсутнє діагностичне обладнання із застосуванням комп'ютерних технологій.

Визначення мети та задачі дослідження. Актуальність проблеми полягає у зменшенні часу непродуктивних простоїв тепловозів, які мають відмови, та виконання технічних обслуговувань кваліфікованим ремонтним персоналом, а не тільки локомотивною бригадою (при роботі однією особою – тільки машиністом), що виключає нерентабельні переїзди тепловозів, які працюють на віддалених станціях, для усунення відмов у основному депо, підвищення якості технічних обслуговувань.

Мета дослідження – сформулювати вимоги та запропонувати нові технології й конструкцію пересувної майстерні для виконання технічних обслуговувань ТО-2 маневрових тепловозів, що працюють на віддалених станціях, яка не має недоліків серійних пересувних майстерень.

Основна частина дослідження. Визначена кількість маневрових локомотивів залежно від розмірів маневрової роботи на кожній станції, які обслуговує дане депо, як правило, коректується з урахуванням безперервних технологій, де маневровий тепловоз забезпечує основний

процес, хоча час його роботи може бути незначним. Добову програму ТО-2 маневрових тепловозів [3] можливо визначити за формулою

$$N_{TO-2}^{доб} = \frac{N_{\epsilon}}{t_{TO-2}} - N_{рем}, \quad (1)$$

де N_{ϵ} – експлуатаційний парк тепловозів;
 t_{TO-2} – періодичність виконання ТО-2;
 $N_{рем}$ – кількість ремонтів та обслуговувань вищого порядку за добу.

Система технічного діагностування тепловоза як складного об'єкта має інформаційне, технічне і математичне забезпечення. Технічне забезпечення являє собою сукупність засобів діагностування, що складаються із пристроїв одержання й опрацювання діагностичної інформації (діагностичні прилади, датчики, сигналізатори тощо). Майже всі складові технології діагностування вже розроблені в попередні роки, але треба їх адаптувати для виконання ТО-2 [4].

Середній час відновлювального ремонту складається з трьох основних складових:

$$T_B = T'_B + T''_B + T'''_B, \quad (2)$$

де T'_B – середній час, що витрачається на аналіз причин відмов і пошук елементів, що відмовили;

T''_B – середній час, що витрачається на ліквідацію наслідків відмови і відновлення працездатності;

T'''_B – середній час на регулювання після відновлення.

Застосування діагностики дає змогу скоротити всі три складові T_B , особливо T'_B . Відношення середнього часу відновлення T_B до напрацювання на відмову T можна подати коефіцієнтом використання δ ;

$$\delta = \frac{T_{\epsilon}}{T},$$

тоді коефіцієнт готовності

$$K_r = \frac{1}{1 + \delta} \quad (3)$$

і коефіцієнт простою

$$K_{\pi} = 1 - K_r = \frac{\delta}{1 + \delta}, \quad (4)$$

де $\frac{1}{\delta}$ – показник працездатності.

Виготовлення пересувної майстерні для діагностування та виконання ТО-2 тепловозів ЧМЕЗ пропонується на базі автобуса ПАЗ-4234 із дизельним двигуном потужністю 100 кВт (136 к.с.), швидкістю пересування 95 км/год з витратою палива 25 л/100 км та нормою екологічної безпеки EURO-4 (рис. 1).

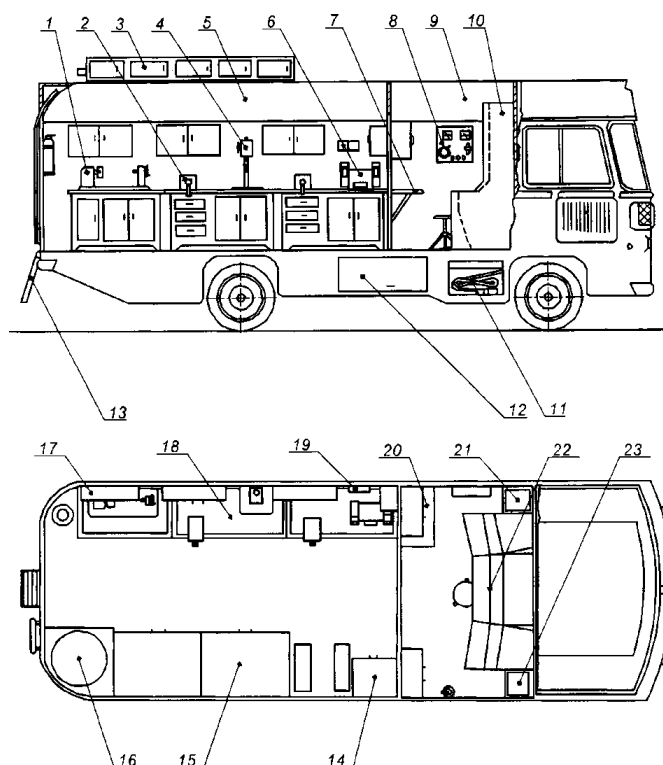


Рис. 1. Пересувна майстерня для виконання ТО-2:

1 – токарний верстат; 2 – лещата настільні; 3 – стелажі для зберігання мастила; 4 – свердлильний верстат; 5 – відсік виконання ТО-2; 6 – точильний верстат; 7 – відкидний стіл; 8 – щит управління; 9 – відсік діагностики; 10 – пульт діагностики; 11 – розетка зовнішньої мережі; 12 – кабелі підключення до тепловоза; 13 – відкидна площадка та сходинок; 14 – шафа для одягу; 15 – шафа для ЗПІ; 16 – ємність з дистильованою водою; 17 – шафа з інструментом та приладами; 18 – верстак слюсарний; 19 – аптечка; 20 – шафи для діагностичних приладів; 21 – випрямляч; 22 – прилади для діагностування; 23 – трансформатор

Автобус переобладнано на два відсіки. Перший відсік (9, 10) – пункт діагностування; другий відсік (5) – засоби для проведення ТО-2. У другому відсіку (5) встановлено щит, на якому розміщені ам-

перметр, вольтметр, реостат для підвищення або зниження напруги і рубильник для вимкнення всієї системи. У відсіку діагностики 9 розміщено пульт діагностики 10, на якому розміщені прилади та

устаткування для діагностування головного генератора, системи збудження, реле переходів, заземлення, буксування та їх регулювання без зняття з тепловоза. Додатково розміщені секундомір, барометр, термометр, дифманометр, тахометр годинного типу. Також міститься ряд переносних приладів для діагностування дизеля, перевірок та регулювань термореле охолодної води та оливи, електронний ендоскоп для діагностування стану якірних підшипників електричних машин та клапанів дизеля.

Для діагностування електричних ланцюгів є спеціалізований набір приладів для знаходження корпусних замикань і нагріву деталей апаратів, вимірювання тиску охолодного повітря тягових двигунів, стандартне обладнання для перевірки стану акумуляторної батареї, перевірки роботи АЛСН переносним шлейфом та інше.

У відсіку 5 пересувної установки розміщено устаткування та інструмент для виконання ТО-2. Необхідні запчастини розміщено в шафах, передбачено бачок 16 з дистильованою водою для акумуляторних батарей (ємністю 50 дм³). На спеціально обладнаних стелажах розміщені каністри з осьовою та компресорною оливою (ємністю 20 дм³), мастила, гальмівні колодки. Запасні частини набираються залежно від замовлення або на підставі обробки статичної інформації щодо найчастіше

змінюваних деталей дизеля і його допоміжних систем, автогальмівного та електричного устаткування та електричних машин, екіпажної частини.

До складу бригади з виконання ТО-2 входить чотири особи; п'ятий член бригади, який виконуватиме ті ж роботи, – водій автобуса. Усі робітники бригади повинні мати не нижче за четвертий слюсарний розряд і великий досвід роботи. Керує роботами майстер (бригадир), який одночасно є оператором на пульті управління діагностичним центром. Робоче місце оснащується діагностичними картами та інструментами, таблицею граничних станів оцінюваних елементів тепловоза, затвердженою інструкцією з безпечних прийомів роботи і пожежної безпеки.

Періодичність ТО-2 маневрових тепловозів, які виконує пересувна майстерня з діагностування, можливо змінити з урахуванням прикріпленого засобу роботи локомотивних бригад [5]. Застосування пересувних майстерень з діагностування тепловозів, які укомплектовані кваліфікованими слюсарями та мають потрібне для ремонту обладнання й запасні частини, дає змогу зменшити кількість ТО-2 й запропонувати нову схему періодичності обслуговувань ТО-2Д тепловозів, які працюють на віддалених від депо станціях (рис. 2).

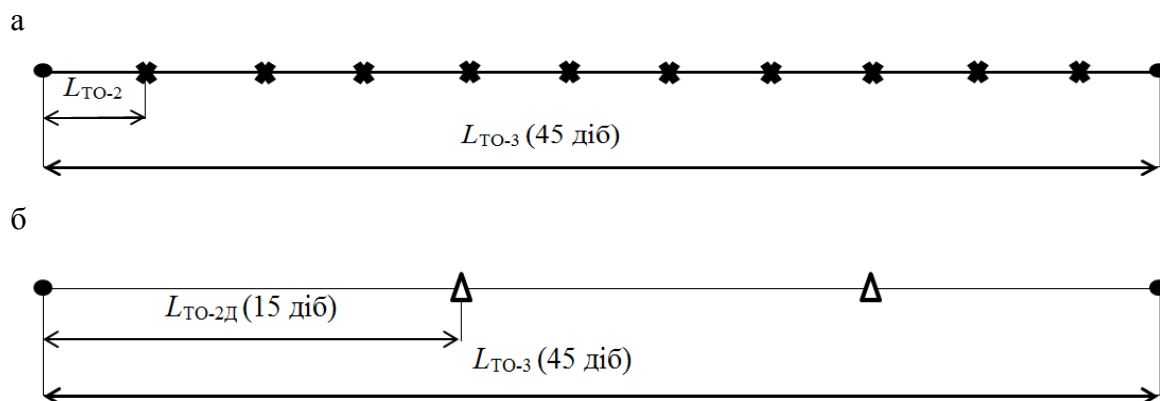


Рис. 2. Схема періодичності обслуговувань ТО-2 та ТО-2Д:
а – діюча схема періодичності ТО-2; б – пропонувана схема періодичності ТО-2Д

Нова схема періодичності обслуговувань ТО-2Д дає змогу скоротити кількість обслуговувань ТО-2 на 9–10 одиниць, що за трудомісткістю дорівнює витратам ТО-3 у період роботи тепловоза до поточного ремонту № 1 (ПР-1; 8,5 міс.). До поточного ремонту № 3 (ПР-3; 30 місяців) кількість ТО-2 скорочується на 30–35 обслуговувань, що за трудомісткістю відповідає трьом обслуговуванням в обсязі ТО-3. Це повністю компенсує додаткові витрати часу на діагностування (простій на ТО-2Д збільшується приблизно на 50 % порівняно з ТО-2). Економічний ефект розраховується з огляду на місцеві умови (кількість №, відстань до віддалених станцій та ін.).

Висновки. Упровадження пересувної установки (майстерні) ТО-2 з діагностуванням маневрових тепловозів дає можливість заощадити час розміну тепловозів, паливно-мастильні матеріали, розвантажити ділянки повернення тепловозів на розмін, підвищити екологічну

безпеку, поліпшити якість ремонту і виробництва ТО-2 шляхом діагностування вузлів і агрегатів тепловоза і впровадження нових технологій з виконання ТО-2Д, скоротити кількість тепловозів, що експлуатуються.

Значно скорочується витрата палива при переїзді тепловоза, наприклад, ЧМЕ-3 витрачає 80 кг/100 км, а пересувна майстерня – 25 л/100 км, зберігається моторесурс тепловоза.

Звільнений тепловоз та стійло на ПТО, яке буде для ТО-2 маневрових тепловозів не завантажено, можна використовувати з іншою метою. У перспективі ТО-2Д необхідно виконувати сумісно з екіпіруванням, застосовуючи пересувний екіпірувальник на базі автомобільного шасі, що дає змогу не використовувати залізничні дільниці для переїзду тепловозів, які працюють на віддалених станціях, до основного депо.

Список використаних джерел

1. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування та тягового моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів) [Текст] : наказ УЗ №429–Цод від 15.10.2015р. – К. : Укрзалізниця, 2015. – 27 с.
2. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст] : монографія / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. – Луганск : Изд. Коулидж, 2011. – 174 с.
3. Айзинбуд, С. Я. Локомотивное хозяйство [Текст] : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / С. Я. Айзинбуд, П. И. Кельперис, В. А. Гутковский. – М. : Транспорт, 1986. – 263 с.
4. Диагностика и регулировка тепловозов [Текст] : монографія / А. З. Хомич, С. Г. Жалкин, А. Э. Симсон, Э. Д. Тартаковский. – М. : Транспорт, 1977. – 222 с.
5. Нотик, З. Х. Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ: пособие машинисту [Текст] / З. Х. Нотик. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1996. – 445 с.
6. Настанова по нормуванню витрат дизельного палива на роботу машин і механізмів та локомотивів на годину роботи [Текст] : ЦТ-0138 наказ №533–ЦЗ. – К. : Укрзалізниця, 2007. – 73 с.

Жалкін Сергій Григорович, канд. техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99.

Брехаря Андрій Костянтинівич, магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99.

Жалкин Сергей Григорьевич, канд. техн. наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057)730-19-99.

Брехаря А.К., магистрант кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057)730-19-99.

Zhalkin S. Hr. PhD (Tech.), Professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99.

Brekharia A., master, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: (057)730-19-99.

Статтю прийнято 21.11.2018 р.

УДК 612.821

КОМПЛЕКС МЕТОДИК ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ

Д-р техн. наук В. Г. Пузир, магістрант К. С. Москаленко

КОМПЛЕКС МЕТОДИК ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д-р техн. наук В. Г. Пузырь, магистрант Е. С. Москаленко

COMPLEX TECHNIQUES OF ASSESSMENT RELIABILITY OF THE HIGH-SPEED MOVEMENT LOCOMOTIVE CREWS WORK

Dr. Sc. (Tech.) V. G. Puzyr, master K. S. Moskalenko

В статті запропоновано методичний комплекс для визначення надійності роботи оператора локомотива високошвидкісних магістралей. Ми пропонуємо використовувати психофізіологічне обстеження локомотивних бригад, що складається з сенсомоторної реакції, реакції оператора на рухомий об'єкт, оцінювання швидкості переключення уваги, обсягу оперативної пам'яті, емоційної стійкості, стійкості до стресу, здатності приймати рішення і діяти в екстремальних умовах, стійкості до монотонії.

Ключові слова: методика, високошвидкісні магістралі, оцінка надійності, психофізіологічні реакції, локомотивна бригада.

В статье предложен методический комплекс для определения надежности работы оператора локомотива высокоскоростных магистралей. Мы предлагаем использовать психофизиологическое обследование локомотивных бригад, которое включает в себя оценку сенсомоторной реакции, реакции оператора на движущийся объект, скорости переключения внимания, объема оперативной памяти, эмоциональной устойчивости, устойчивости к стрессу, способности принимать решения и действовать в экстремальных условиях, устойчивости к монотонии.

Ключевые слова: методика, высокоскоростные магистрали, оценка надежности, психофизиологические реакции, локомотивная бригада.

The development of railway transport leads to the constant complication of the system of interaction between man and machine. There is a constant risk of traffic accidents due to an increase in loads on a human, so there is a need to increase the requirements for its mental and

physical capabilities in the process of work. In the system of measures to improve the quality and efficiency of transport on the railway, reducing industrial injuries, rational use of labor resources, ensuring the safety of trains, an important role belongs to the psycho-physiological support of the labor activity of employees of railway enterprises in general and rolling stock operators in particular. The article proposed a set of methods for determining the reliability of the operator of the locomotive of high-speed highways. Analysis of the intensity and severity of activity, the impact of harmful factors of the working environment showed that the professions of locomotive drivers of ordinary movement and high-speed movement are inherent in common features that allow to evaluate the psycho-physiological state of these workers for the same professionally important qualities. It should be noted that when assessing the reliability of work, the following engineering and psychological characteristics are used: speed, accuracy, reliability, attentiveness, operator activity intensity. Based on the experience of psychophysiological examinations of drivers and machinist assistants, which are held in the locomotive depot "Ukrzaliznytsia" we propose to use the methodical complex of examination of locomotive crews. The complex of techniques includes an assessment of simple and complex sensorimotor reactions, the operator's response to a moving object, the speed of switching attention, the amount of operational visual and auditory memory, emotional stability, anxiety, stress resistance, ability to make decisions and act in extreme conditions, resistance to monotony and fatigue.

Keywords: *technique, high speed lines, reliability assessment, mental and physiological reactions, locomotive crew.*

Вступ. На сьогодні Україна має високорозвинену мережу залізниць, загальна експлуатаційна протяжність яких сягає понад 22 тис. км; 65 % становлять одноколіїні ділянки; 32,5 % складають дво- і триколіїні ділянки. Електрифіковано 42,3 % протяжності залізниць; 60,7 % обладнано пристроями автоматичного регулювання руху поїздів; 62 % мають безстикovu колію; системами електричної централізації обладнано 72,9 % всіх наявних в експлуатації стрілок. Велика спроможність залізниць, стабільність їх роботи та порівняна дешевизна залізничних перевезень сприяють тому, що залізничний транспорт України був і залишається основним перевізником пасажирів у міжміському (далекому) та приміському сполученнях. Практика застосування прискореного пасажирського руху на теренах України зі швидкостями руху до 160 км/год дозволила «зблизити» денними швидкісними комфортабельними поїздами зі столицею України обласні центри, розташовані на відстані 400–750 км. Найближчий рубіж – досягли швидкості руху 140–160 км/год, наступний крок –

впровадження високошвидкісного руху – 200 км/год і більше. В умовах подальшої інтенсифікації залізничного транспорту надійності людського чинника надається дедалі більшого значення. Зародження напрямку з вивчення, оцінки та забезпечення надійності діяльності людини-оператора багато в чому пов'язано зі зростанням технічного прогресу в суспільстві і супровідними йому несприятливими наслідками у вигляді помилкових дій і відмов техніки, аварій, професійного травматизму. Аналіз аварійних ситуацій на залізничному транспорті виявив, що саме з вини людини відбувається близько 90 % усіх порушень безпеки руху, тому професійному добору на Укрзалізниці залізничні приділяють належну увагу. Для цього була розроблена програма упровадження системи медико-психологічного супроводження працівників локомотивних бригад Укрзалізниці. Професія машиніста, помічника машиніста локомотивів і моторвагонного рухомого складу висуває підвищені вимоги до деяких психофізіологічних властивостей і якостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження у галузі проблеми підвищення надійності роботи операторів можливе при визначенні психофізіологічних характеристик людини, особливостей динаміки функціонального стану, що формуються у процесі діяльності. Цій темі присвячено роботи вчених А. Н. Губинського, Б. Ф. Ломова, В. Г. Козубенка [5, 8]. Б. Ф. Ломов [2] запропонував надійність оператора визначати як відношення правильно вирішених завдань до загального їх числа. А. Н. Губинський [4] вважає, що ефективність оператора можна оцінити за його надійністю і тимчасовими характеристиками, розглядає їх як рівень операцій контролю і управління, що залежить від ймовірності збереження ім працездатного стану в процесі діяльності. Одним з найбільш розроблених методів оцінки надійності системи «людина-машина» є узагальнений структурний аналіз, запропонований А. Н. Губинським [6]. Серед публікацій найбільш близькими нам за родом професійної діяльності є роботи В. Г. Козубенка [8]. У його роботах розглянуті методи забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті шляхом підвищення якості керуючої діяльності локомотивних бригад. Роботи М. С. Корольчука, В. М. Крайнюка, М. А. Котика, А. М. Ємельянова, Л. С. Нерсеяна [1, 3, 7] та інших дозволили окреслити основні підходи до оцінки надійності операторів залізничної техніки, вдосконалення методів їх професійного відбору та контролю психофізіологічного стану.

Визначення мети та задачі дослідження. Запропонувати психофізіологічні методики професійного відбору локомотивних бригад високошвидкісного руху, спираючись на досвід психофізіологічних обстежень, які проводяться в кабінетах психологів ПАТ «Укрзалізниця», та беручи до уваги специфічні критерії та вимоги високошвидкісного руху.

Основна частина дослідження. Однією з важливих характеристик будь-

якої системи є надійність, яка оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи протягом заданого часу. При цьому ефективність і надійність системи «людина-машина» часто залежать не тільки від кожного компонента системи, але і в значній мірі від взаємодії цих елементів.

Наведено відомості про психофізіологічні можливості організму людини і помилкові дії машиністів в залежності від різних факторів.

З щорічних аналізів проїздів заборонних сигналів, аварій і катастроф в залізничній галузі випливає, що більше 90 % цих надзвичайних подій відбувалося і відбувається з вини машиністів, тобто з вини «людського фактора». «Людський фактор» завжди виступав в ролі головної продуктивної сили. Він є вирішальним фактором в будь-якому процесі. Саме від нього залежить використання всіх матеріальних цінностей. Найдосконаліші транспортні засоби (локомотиви, літаки, автомобілі і т. п.) в дійсності не діятимуть або будуть працювати неефективно, якщо не буде задіяний «людський фактор».

Основними оціночними параметрами ефективності функціонування людино-машинних систем є їх надійність і працездатність. Теоретичні положення надійності і працездатності операторів транспортних засобів вивчені недостатньо. Слід зауважити, що надійність систем за участю людини має свої специфічні особливості. Формалізувати роботу оператора надзвичайно складно (якщо не сказати – неможливо). Проте, існують наближені ймовірнісні моделі (методики) визначення надійності як оператора, так і системи в цілому.

З 2006-2007 рр. у локомотивних депо введені в штат психологи, які проводять психофізіологічне обстеження працівників локомотивних бригад. У високошвидкісному русі готовність до екстреної дії, пильність, швидкість сенсомоторної реакції, високий рівень стійкої уваги та швидкості її переключення, емоційна

стійкість повинні бути на рівень вище, ніж у машиністів звичайних українських поїздів, які їздять з маршрутною швидкістю 57 км/год. За даними залізничної адміністрації, така швидкість цілком порівнянна з поїздами прискореного руху на іноземних залізницях. Так, російський потяг «Сапсан» (виробництво Siemens) долає 650 км від Москви до Санкт-Петербурга за 4 год 15 хв, рухаючись з маршрутною швидкістю 153 км/год, а на окремих ділянках розганяючись до 250 км/год. Від Москви до Нижнього Новгорода (442 км) «Сапсан» рухається з маршрутною швидкістю 113 км/год. Маршрутна швидкість поїзда «Алегро» на шляху від Санкт-Петербурга в Гельсінкі (407 км) становить 113 км/год. Швидкісний потяг «Пендоліно» на шляху від Гельсінкі до Турку у Фінляндії розвиває маршрутну швидкість 81 км/год, а максимальна швидкість складає 220 км/год. «Пендоліно», який курсує з Праги до Острави (Чехія), розвиває маршрутну швидкість 115 км/год при максимальній – 230 км/год. В Україні, поїзди Hyundai здатні розганятися до 180 км/год. Всього на національному швидкісному коридорі Львів-Київ-Харків-Донецьк на початковому етапі поїзди Hyundai 912,5 км шляхів долатимуть зі швидкістю до 160 км/год, 398,1 км – до 140 км/год, 438,1 км – до 120 км/год.

Загальними для всіх видів руху психофізіологічними якостями, які забезпечують професійну придатність працівників локомотивних бригад та бригад спеціального рухомого складу, є: готовність до екстреної дії, пильність, швидкість сенсомоторної реакції, високий рівень стійкої уваги та швидкості її переключення, емоційна стійкість.

З огляду на вищезазначене пропонується комплекс методик оцінки надійності роботи локомотивних бригад високошвидкісного руху, спираючись на досвід психофізіологічних обстежень, які проводяться в кабінетах психологів ПАТ «Укрзалізниця».

Методики та критерії їх оцінок

1. Сенсомоторна реакція:

1.1. Проста сенсомоторна реакція: при оцінюванні простої сенсомоторної реакції обстежуваному на екрані монітора в автоматичному режимі подають світлові сигнали у вигляді кола зеленого кольору. Сигнали з'являються випадковим чином із різним часовим інтервалом, щоб не відбулося засвоєння ритму. Обстежуваному необхідно якнайшвидше натиснути на клавішу із появою стимулу. Перед початком обстеження психолог установлює в меню методики досить велику кількість сигналів (до 100). Це дозволяє деякою мірою пом'якшувати вплив різних сторонніх факторів під час виконання методики і точніше визначити час реакції. Після завершення обстеження системою автоматично обчислюють такі показники: середньоарифметичний час реакції $T_{пр}$, кількість пропусків сигналів $K_{пр}$. Нормативний показник простої сенсомоторної реакції дорівнює $T_{пр} \leq 300$ мс.

1.2. Складна сенсомоторна реакція: при проведенні оцінювання складної сенсомоторної реакції на екрані монітора з'являються випадковим чином кола різних кольорів. Обстежуваному необхідно з появою сигналу червоного кольору якнайшвидше натиснути на клавішу. Натискання на клавішу при появі сигналів інших кольорів вважається помилкою. Після завершення обстеження автоматично обчислюють такі показники: середньоарифметичний час реакції $T_{СКЛ}$, кількість пропусків сигналів $K_{СКЛ}$, кількість помилок $O_{СКЛ}$. Нормативний показник складної сенсомоторної реакції дорівнює $T_{СКЛ} \leq 375$ мс.

2. Реакція оператора на об'єкт, який рухається (РРО). Під час виконання методики РРО обстежуваному необхідно зупинити прямокутник, що рухається на екрані монітора, при суміщенні його правої (передньої) сторони з нерухомою вертикальною лінією, яка розташована на траєкторії руху прямокутника.

Розташування нерухомої вертикальної лінії змінюється випадковим чином кожної наступної реалізації даної методики. У процесі обстеження можливі: точне суміщення рухомого об'єкта (прямокутника) із нерухомим (вертикальна лінія) – точне попадання; передчасна зупинка рухомого об'єкта – реакція з випередженням; вихід прямокутника за межі нерухомого об'єкта – реакція із запізнюванням. Оцінюють кількість точних попадань, кількість і час реакцій з випередженням та реакцій із запізнюванням. Після завершення обстеження автоматично обчислюють кількість точних попадань $K_{ТП}$. Показник точних попадань розраховують за формулою

$$P_{ТП} = \frac{K_{ТП} \cdot 100}{50}, \quad (1)$$

де 50 – кількість пред'явлень рухомого об'єкта;

$K_{ЗАП}$ – кількість реакцій із запізнюванням;

$K_{ВИП}$ – кількість реакцій з випередженням;

$H_{ЗР}$ – показник зрівноваженості нервових процесів,

$$H_{ЗР} = K_{ЗАП} - K_{ВИП}. \quad (2)$$

Якщо $H_{ЗР} < 0$, переважають процеси збудження; якщо $H_{ЗР} > 0$, переважають процеси гальмування; якщо $H_{ЗР} = 0$, то відмічається зрівноваженість нервових процесів. Нормативний показник точних попадань становить $P_{ТП} \geq 12$.

3. Оцінювання швидкості переключення уваги: для визначення показників переключення уваги використовують методику «відшукування чисел із переключенням». Методику виконують таким чином: обстежуваному дають таблиці Шульте-Платонова і пропонують завдання – пошук «чорних» чисел у порядку їх зростання. У другому завданні обстежуваний повинен знаходити

на таблиці тільки «червоні» числа у порядку зменшення. У третьому – здійснюють змішаний пошук, коли необхідно знаходити по черзі чорні й червоні числа: перші у порядку зростання, другі у порядку зменшення. Після завершення обстеження автоматично обчислюють: час виконання першого завдання T_1 ; час виконання другого завдання T_2 ; час виконання третього завдання T_3 . Показник швидкості переключення уваги визначають за формулою

$$P_{ПЕР} = T_3 - (T_1 + T_2). \quad (3)$$

Нормативний показник швидкості переключення уваги становить $P_{ПЕР} \leq 185$ с. Нормативний показник часу виконання третього завдання становить $T_3 \leq 310$ с.

4. Оцінювання обсягу оперативної пам'яті (зорова й слухова пам'ять).

4.1. Зорова пам'ять: при виконанні методики оцінювання короткочасної зорової пам'яті обстежуваному показують на екрані монітора 10 двозначних чисел протягом 20 с, потім пропонують відтворити ті ж самі числа. Результат тесту – кількість правильно відтворених чисел, яку вводить психолог у вікно меню. Порядок відтворення чисел не має значення.

4.2. Слухова пам'ять: при виконанні методики оцінювання короткочасної слухової пам'яті обстежуваному називають 10 двозначних чисел протягом 20 с. Потім пропонують відтворити ті ж самі числа. Результат тесту – кількість правильно відтворених чисел, яку вводить психолог у вікно меню. Порядок відтворення чисел не має значення. Обсяг зорової та слухової пам'яті оцінюють за кількістю правильно відтворених чисел. Після завершення обстеження автоматично обчислюється показник зорової пам'яті $P_З$, показник слухової пам'яті $P_С$. Нормативний показник зорової пам'яті становить $P_З \geq 4$. Нормативний показник слухової пам'яті становить $P_С \geq 3$.

5. Емоційна стійкість та відчуття тривоги визначають із використанням результатів виконання методики «Швидкість переключення уваги», яка була описана раніше (із використанням червоно-чорних таблиць Шульте-Платонова). Обстеження проводять відразу після оцінювання швидкості переключення уваги. Виконання даної методики здійснюють із використанням перешкод, коли під час її проведення раптово для обстежуваного вмикають аудіозапис чоловічого голосу, який вимовляє цифри у тій же послідовності, в якій їх повинен знаходити обстежуваний. Після проведення обстеження порівнюють результати діяльності у звичайному режимі та під впливом емоціогенного фактора – загальний час виконання завдання й кількість помилок. Після виконання даного завдання автоматично обчислюють: час виконання третього завдання T_3 , час виконання четвертого завдання T_4 , показник емоційної стійкості

$$P_{EC} = T_4 - T_3. \quad (4)$$

Нормативні показники становлять $T_4 \leq 340$ с, $P_{EC} \leq 90$.

6. Оцінювання стійкості до стресу. При виконанні першої частини тесту обстежуваному надають інструкцію про те, що завдання необхідно виконувати якнайшвидше і найточніше, тому що оцінюється один із показників його професійної придатності. Потім на екрані монітора з'являється перша серія подразників, при цьому завдання виконують в умовах дефіциту часу, тому що при успішній реакції обстежуваного (натисканні на клавішу під час експозиції запропонованого сигналу) час експозиції наступного сигналу зменшується на 10 мс. Після першої серії сигналів обстежуваному дають негативну установку про те, що його показник не відповідає контрольним значенням, і пропонують повторити дослідження, при якому він повинен

неодмінно поліпшити свій результат. При перевищенні контрольних значень часу реакції подають попереджувальний подразник – коло жовтого кольору, який супроводжують звуковим сигналом. Попереджувальні сигнали другої серії не зв'язані з часом реакції випробуваного і псевдовипадковим чином уведені у програму методики. Реєструють час реакції на пропонувані подразники. Після завершення обстеження автоматично обчислюють: середньоарифметичний час реакції у першому завданні T_1 ; середньоарифметичний час реакції у другому завданні T_2 ; показник стійкості до стресу

$$P_{CCT} = T_2 - T_1. \quad (5)$$

Нормативний показник стійкості до стресу становить $P_{CCT} \leq 40$ мс.

7. Оцінювання здатності приймати рішення і діяти в екстремальних умовах. Здатність людини приймати рішення і діяти в екстремальних умовах досліджують за допомогою методики, що оцінює готовність особи до екстрених дій. Застосовують одну з модифікацій цієї методики – визначення готовності до екстрених дій в умовах монотонно діючих подразників. Під час її виконання обстежуваний повинен стежити за світловим сигналом на екрані монітора, що послідовно переміщується по колу за годинниковою стрілкою з інтервалом в 1 с. Кожне переміщення супроводжується звуковим клацанням. Сигналом до дії є порушення послідовності спалахів світла, тобто перескок світлового сигналу через один крок. При цьому обстежуваний має відреагувати швидким натисканням на кнопку, в результаті чого світловий сигнал займе пропущене положення. Ці сигнали подаються довільним чином, як із попередженням, так і без попередження. При подачі сигналу з попередженням у центрі кола загорається світловий сигнал, який попереджує обстежуваного про те, що

незабаром буде здійснено перескок. Усього подається 12 сигналів, із них шість екстрених і шість із попередженням. Оцінюють різницю між середнім арифметичним часу реакції на екстрені сигнали (перескоки), і середнім арифметичним часу реакції на сигнали з попередженням. Автоматично вираховують середній арифметичний час реакцій на сигнали без попередження й сигнали з попередженням. Обчислюють готовність до екстрених дій

$$P_{ГЕД} = T_{ПР} - T_{ЕКСТ}, \quad (6)$$

де $T_{ЕКСТ}$ – середньоарифметичний час реакцій на сигнали без попередження;

$T_{ПР}$ – середньоарифметичний час реакцій на сигнали з попередженням.

Нормативний показник готовності до екстрених дій становить $P_{ГЕД} \geq 285$ мс.

8. Стійкість до монотонії. Методика оцінювання стійкості до монотонії поєднана з виконанням попередньої методики готовності до екстрених дій. Порядок виконання методики є таким самим, як і порядок виконання методики оцінювання готовності до екстрених дій. Час проведення методики складає не менше 1 год. Оцінюють різницю між середнім арифметичним часу реакції на перші шість сигналів (екстрені сигнали та сигнали з попередженням) і середнім арифметичним часу реакції на решту шість (екстрені сигнали та сигнали з попередженням). Оцінювання стійкості до монотонії проводять із використанням даних методики оцінювання готовності до екстрених дій. Автоматично обчислюють середній арифметичний час реакцій на перші три сигнали без попередження, на перші три сигнали з попередженням, на останні три сигнали без попередження і три сигнали з попередженням

$$P_{СМ} = (T_{ПР1} + T_{ЕКСТ1}) - (T_{ПР2} + T_{ЕКСТ2}), \quad (7)$$

де $T_{ПР1}$ – середнє арифметичне часу реакцій на перші три сигнали з попередженням;

$T_{ЕКСТ1}$ – середнє арифметичне часу реакцій на перші три сигнали без попередження;

$T_{ПР2}$ – середнє арифметичне часу реакцій на останні три сигнали з попередженням;

$T_{ЕКСТ2}$ – середнє арифметичне часу реакцій на останні три сигнали без попередження.

Нормативний показник стійкості до монотонії $P_{СМ} \geq 245$ мс.

9. Оцінювання втоми. Для оцінювання індивідуальних особливостей розвитку втоми у обстежуваних проводять порівняння результатів виконання попередніх методик: простої і складної сенсомоторної реакції, стійкості уваги. Порівнюють результати виконання перерахованих вище методик на початку обстеження і при повторному їх проходженні після виконання всіх методик.

Після завершення обстеження автоматично обчислюють показник втоми за методиками, в яких враховують різницю між результатами виконання методик на початку обстеження (індекс 1) і при повному їхньому проходженні (індекс 2):

за простою сенсомоторною реакцією

$$P_{ВПР} = T_{ПР1} - T_{ПР2}, \quad (8)$$

за складною сенсомоторною реакцією

$$P_{ВСКЛ} = T_{СКЛ1} - T_{СКЛ2}, \quad (9)$$

за стійкістю уваги

$$P_{ВСТУ} = |P_{СТУ1}| - |P_{СТУ2}|. \quad (10)$$

Нормативні показники втоми становлять:

- за простою сенсомоторною реакцією $P_{ВПР} \geq 0$;

- за складною сенсомоторною реакцією $P_{ВСКЛ} \geq 0$;

- за реакцією на об'єкт, що рухається $P_{ВРО} \geq 0$;

- за стійкістю уваги $P_{ВСТУ} \geq 0$.

Висновки. Аналіз напруженості та важкості праці, дії шкідливих чинників

робочого середовища показав, що професіям машиністів локомотивів звичайного руху та високошвидкісного руху притаманні загальні риси, які дозволяють оцінювати психофізіологічний статус цих працівників за однаковими професійно важливими якостями. Деякі психофізіологічні якості, зокрема стійкість до монотонії, відображають специфіку роботи машиністів локомотивів звичайного руху та високошвидкіс-

ного руху. Але беручи до уваги, в першу чергу, велику різницю швидкостей – потрібно враховувати специфічні критерії високошвидкісного руху. Тому для здійснення професійного добору працівників в залізничній галузі в статті до існуючого комплексу методик психофізіологічного обстеження додані специфічні критерії, розроблені спеціально для локомотивних бригад високошвидкісного руху.

Список використаних джерел

1. Корольчук, М. С. Теорія і практика професійного психологічного відбору [Текст] : навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / М. С. Корольчук, В. М. Крайнюк. — К. : Ніка-Центр, 2010 — 520 с.
2. Ломов, Б. Ф. Основы инженерной психологии [Текст] : учебник / Б. Ф. Ломов. – М. : Высшая школа, 1986. – 448 с.
3. Котик, М. А. Природа ошибок человека-оператора [Текст] / М. А. Котик, А. М. Емельянов. – М. : Транспорт, 1993. — 252 с.
4. Губинский, А. И. Понятие отказа в применении к человеку-оператору [Текст] / А. И. Губинский, Г. В. Суходольский // Инженерная психология в приборостроении. — М. : ЦНИИТЭИ приборостроения, СА и СУ, 1967. – С. 124-170.
5. Теория надежности в применении к оператору [Текст] / А. И. Губинский, Б. Ф. Ломов, Р. М. Мансуров, Г. В. Суходольский // Инженерная психология в приборостроении. — М. : ЦНИИТЭИ приборостроения, СА и СУ, 1967. – С. 116-124.
6. Губинский, А. И. Принципы количественной оценки надежности системы «человек – техника» [Текст] / А. И. Губинский, А. М. Половко, Ю. Г. Фокин // Надежность комплексных систем «человек-техника»: матер. II Всесоюз. симпоз. по надежности. Ч. 1. – Л. : ЛДНТП, 1969. — С. 15-17.
7. Нерсисян, Л. С. Психологические аспекты повышения надежности управления движущимися объектами [Текст] / Л. С. Нерсисян. — М. : Промдэк, 1992. — 287 с.
8. Козубенко, В. Г. Продиктовано временем [Текст] / В. Г. Козубенко // Практическая психодиагностика. Методики и тесты. – Самара : Издательский дом «БАХРАХ», 1998. – 670 с.

Пузир Володимир Григорович, д-р техн. наук, завідувач кафедрою експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38(057)-730-19-98. E-mail: errs@kart.edu.ua.

Москаленко Катерина Сергіївна, магістрант механіко-енергетичного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 (067)-120-23-68. E-mail: p.tch2dogovorik@dp.uz.gov.ua.

Пузырь Владимир Григорьевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: +38 (057)-730-19-98. E-mail: errs@kart.edu.ua.

Москаленко Екатерина Сергеевна, магистрант механико-энергетического факультета Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: +38 (067)-120-23-68. E-mail: p.tch2dogovorik@dp.uz.gov.ua.

Volodymyr Puzyr, D. Sc. (Tech.), Head of Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (057)-730-19-98. E-mail: errs @ kart.edu.ua.

Ekaterina Moskalenko, master, Department of Mechanics and Energy, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (067)-120- 23-68. E-mail: p.tch2dogovorik@dp.uz.gov.ua.

Статтю прийнято 23.11.2018 р.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 656.223

ПІДВИЩЕННЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ РОБОТИ СЕРВІС-ЦЕНТРІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Д-р техн. наук Д. В. Ломотко, магістрант А. Г. Олексенко

ПОВЫШЕНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ СЕРВИС-ЦЕНТРА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Д-р техн. наук Д. В. Ломотко, магістрант А. Г. Олексенко

INCREASE OF PROFITABILITY OF CENTER-SERVICE ON RAILWAY TRANSPORT

D. Sc. (Tech.) D. V. Lomotko, master A. G. Oleksenko

В статті розглядається питання про покращення роботи сервісного центру ст. Лозова регіональної філії Південна залізниця ПАТ «Укрзалізниця». Здійснено аналіз пасажиропотоків ст. Лозова за 2017 рік та виявлено перспективні послуги сервіс-центру для різних видів пасажирів. Запропоновано шляхи збільшення кількості послуг, пов'язаних з удосконаленням задоволення потреб населення шляхом створення єдиного сервісного-центру для більш швидкого та якісного виконання послуг. Показано можливість підвищення ефективності роботи сервісного-центру.

Ключові слова: *сервісний центр, якість, пасажир, залізничний транспорт.*

В статье рассматривается вопрос об улучшении работы сервисного центра ст. Лозовая. Осуществлен анализ пассажиропотоков ст. Лозовая регионального филиала Южная железная дорога ПАО «Укрзалізниця» за 2017 год и выявлены перспективные услуги сервис-центра для различных видов пассажиров. Предложены пути увеличения количества услуг, связанных с совершенствованием удовлетворения потребностей населения за счет создания единого сервисного центра для более быстрого и качественного выполнения услуг. Показана возможность повышения эффективности работы сервисного центра.

Ключевые слова: *сервисный центр, качество, пассажир, железнодорожный транспорт.*

The article considers the issue of improving the service center of Lozova station. Analysis of the passenger traffic of Lozova station for 2017 and the current service center for various types of passengers. Increase the number of services related to improving the satisfaction of the needs of the population. The types of passenger transportation of Lozova station are considered. Creating a single service center for fast and high-quality service. Increase the efficiency of the service center. I present new services of the service center of the Lozova station. I suggest combining different types of transport. The article deals with the improvement of the efficiency of passenger transportation, the development and creation of new services, proposals for the change of the technology of the station. The article proposes a reconstruction of services to introduce higher speeds of passenger service, introduction of a system of complex improvement of conditions and quality of passenger

service. The list of services of the services of the service center for organization of passenger transportation is given, identification of promising services.

The service center should successfully complete with various state and non-state structures in resolving issues of transport services of the population. The service center should take an active part in improving the performance of transport services, in improving their quality. It is advisable service center to direct its activities to the implementation of new services that are not provided by the station structures. An important part of the service center is a marketing research.

The railway should develop good services, evaluate them attractively and make them available to their target passengers.

Keywords: service center, quality, passenger, railway transport.

Вступ. В сучасному житті розвиток ринкових відносин в державі призводить до значних змін у всіх сферах життєдіяльності суспільства. У пасажирів виникають свої вимоги до переліку і якості вимог, за надання яких вони готові залізницям платити. Основним завданням залізничного транспорту є найбільш повне та якісне задоволення потреб населення. В останні роки на залізницях України почала створюватись мережа сервіс-центрів (СЦ) з обслуговування пасажирів, завдання яких полягає в тому, що вони задовольняють попит пасажирів з усього замовленого ним переліку послуг у момент його звернення до СЦ, незалежно від того, які структури залізничного транспорту будуть брати участь у реалізації послуг. Особливої актуальності набуває проблема підвищення якості обслуговування сервісних центрів. Високий рівень обслуговування населення покращує фінансовий стан пасажирських перевезень. Рівень обслуговування є ключовим фактором, який впливає на рішення мандрівників при виборі кращого транспорту [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі низки питань з підвищення якості обслуговування пасажирів встановлено, що найбільш повне і якісне задоволення потреб пасажирів у сервісних послугах можна досягти завдяки чіткій оперативній взаємодії різних сервіс-центрів [2].

Для успішного розвитку сервісного обслуговування сервіс-центри мають стати ефективними структурами, які будуть координувати та об'єднувати зусилля

різних видів транспорту [3], підприємств і приватних компаній для надання пасажирів комплексу транспортних послуг. Проблема підвищення якості обслуговування пасажирів потребує постійної уваги, з кожним днем бажання пасажирів змінюються, а з ними і змінюються критерії вибору виду транспорту. Згідно зі звітом про глобальну конкурентоспроможність [4], за критерієм оцінки залізничної інфраструктури наша країна посідає 25-те місце у світі. Але хронічна нестача грошей на модернізацію з кожним роком робить вітчизняні залізничні перевезення все менш конкурентоспроможними. Залізниці необхідно подвоїти свої зусилля, щоб своєчасно і швидко працювати з новими поїздами й надійно працювати в інтересах пасажирів і платників податків [5]. Результати підвищення якості транспортних послуг, розвиток системи сервісного обслуговування пасажирів висвітлені у працях таких вітчизняних науковців і практиків, як Бутько Т. В., Прохорченко А. В., Шандер О. Е., Пархоменко Л. О. та ін. [5-7]. Майбутнє залізничної інфраструктури – за розвитком високошвидкісних магістралей в Україні. Як показав аналіз, одним із результатів покращення транспортних послуг є удосконалення процесу організації залізничних швидкісних пасажирських перевезень в умовах пересадок при використанні нового методу в розробленні плану формування пасажирських поїздів на основі методу рою часток [7]. Проте низка питань щодо покращення ефективності СЦ

ще залишається не вирішеною і потребує подальших досліджень.

Визначення мети та завдання дослідження. Основна мета дослідження на базі роботи СЦ ст. Лозова регіональної філії Південна залізниця ПАТ «Укрзалізниця» – визначення шляхів підвищення ефективності роботи СЦ. Основним завданням дослідження є аналіз основних вихідних даних щодо технології роботи та показників ефективності роботи СЦ досліджуваної станції, введення нетрадиційних послуг, які можуть задовольнити потреби населення та підвищити

ефективність роботи сервіс-центрів на залізничному транспорті України.

Основна частина дослідження. Пасажиропотік досліджуваної станції складається з приміського і далекого сполучення. Приміське сполучення складається зі звичайних та пільгових сполучень. За даними пасажиропотоку за 2017 р., місяцями максимального обслуговування пасажирів є серпень для приміських-звичайних сполучень 26150 пас.; вересень для приміських-пільгових – 31452 пас.; липень для далекого сполучення – 17564 пас. (рис. 1, 2).

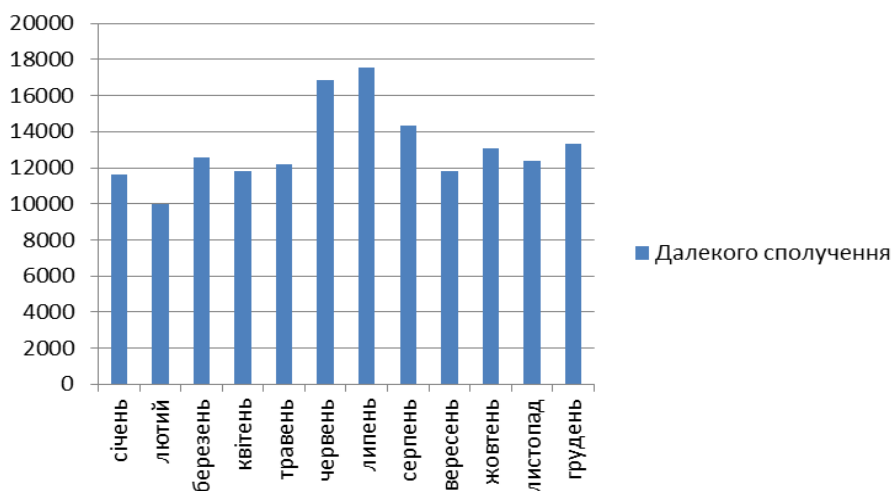


Рис. 1. Діаграма пасажиропотоку далекого сполучення ст. Лозова за 2017 р. (пас/міс)

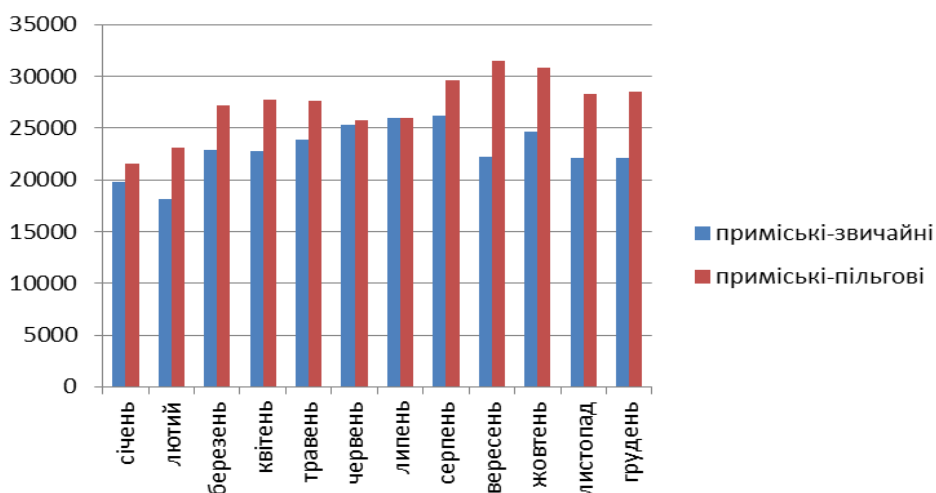


Рис. 2. Діаграма пасажиропотоку приміського: звичайного та пільгового сполучення ст. Лозова за 2017 р. (пас/міс)

З діаграми пасажиропотоку приміського сполучення (рис. 2) бачимо, що відношення приміських-пільгових сполучень перевищує приміські-звичайні. При подальшому плануванні роботи СЦ потрібно звернути увагу на спектр послуг, які надаються для приміських-пільгових сполучень. Вокзал обслуговує потік пасажирів приміського сполучення у напрямках Харкова, Дніпра, Краматорська, Краснограда.

Місяцями мінімального обслуговування пасажирів є лютий для приміських-

звичайних сполучень – 18149 пас.; січень для приміських-пільгових – 21520 пас.; лютий для далекого сполучення – 10015 пас. При плануванні подорожі одним критерієм впливу на вибір часу є погодні умови. Зі статистики пасажиропотоку 2017 р. видно, що в зимовий період для всіх категорій пасажиропотік зменшується.

При дослідженні пасажиропотоку доцільно провести статистичний аналіз, результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Статистичний аналіз пасажиропотоку ст. Лозова за 2017 р.

Статистичний аналіз	Результат		
	Далеке сполучення	Приміські звичайні	Приміські пільгові
1. Математичне очікування, пас/р.	13133,0	22998,08	27295,75
2. Коефіцієнт нерівномірності, пас.	1,34	1,14	1,15
3. Стандартне відхилення	2172,5	2409,7	2903,7
4. Коефіцієнт варіації, %	16,54	10,48	10,64

На далекому сполученні максимальне число пасажирів у липні (рис. 1). В літній період на ст. Лозова користуються попитом такі сполучення, як Костянтинівка-Одеса, Харків-Херсон, Харків-Генічеськ, Харків-Новоолексіївка, тому кількість пасажирів далекого сполучення зростає.

За критерієм згоди χ^2 Пірсона встановлено, що середньомісячна кількість пасажирів далекого сполучення підкоряється статистичному логнормальному розподілу із функцією щільності розподілу

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - 9,4711}{0,15082}\right)^2\right)}{x \cdot 0,15082 \cdot \sqrt{2\pi}}$$

Функцію щільності імовірності розподілу кількості пасажирів далекого сполучення станції наведено на рис. 3, пас/міс.

Для прогнозування часових рядів середньомісячної кількості пасажирів використано алгоритм машинного навчання з урахуванням ретроспективних даних та метод експоненціального потрійного

згладжування (ETS) Хольта-Вінтерса. На відміну від простого і подвійного експоненціального згладжування, прогнозування за допомогою моделі потрійного експоненціального згладжування Хольта-Вінтерса враховує фактори тренду та сезонності. Сезонна компонента кількості пасажирів має

адитивну природу, оскільки із заздалегідь відомим періодом у вихідному ряду виявляються досить постійні періодичні

відхилення в абсолютному вираженні від математичного очікування.

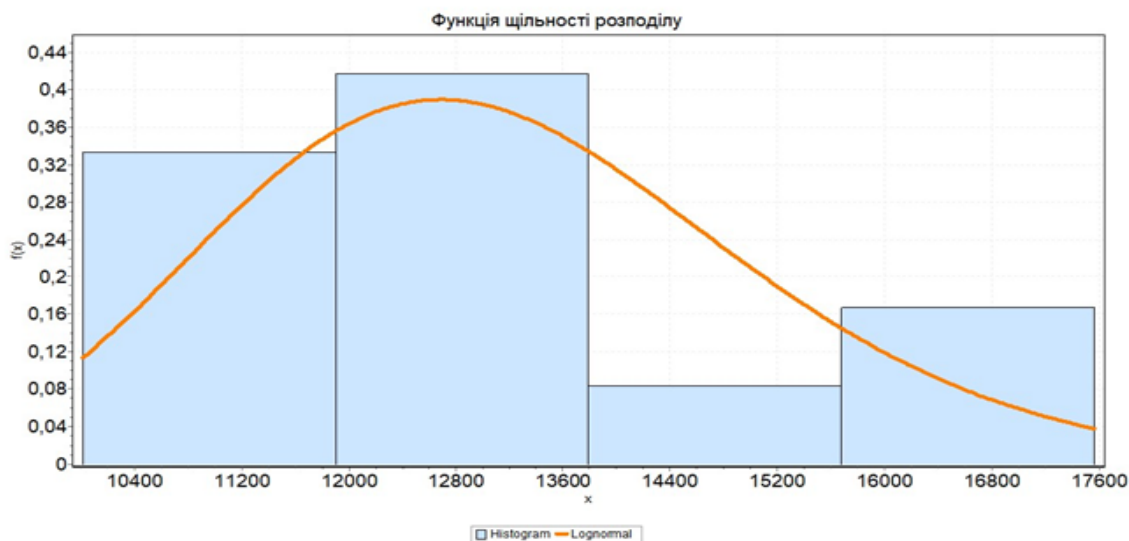


Рис. 3. Функція щільності імовірності кількості пасажирів далекого сполучення, пас/міс

Особливістю дослідження пасажиропотоку станції є те, що за допомогою коефіцієнтів згладжування розподіляється вага впливу поточного значення та згладженого попереднього значення. Прийнято при обчисленні згладженого значення: якщо відповідний коефіцієнт ближче до 1,

то більше враховуються величини поточного і найближчих попередніх значень. Довірчий інтервал для прогнозної величини кількості пасажирів обчислено для точності, що дорівнює 95 %, а коефіцієнт сезонності дорівнює 12. Результати прогнозування наведено на рис. 4.

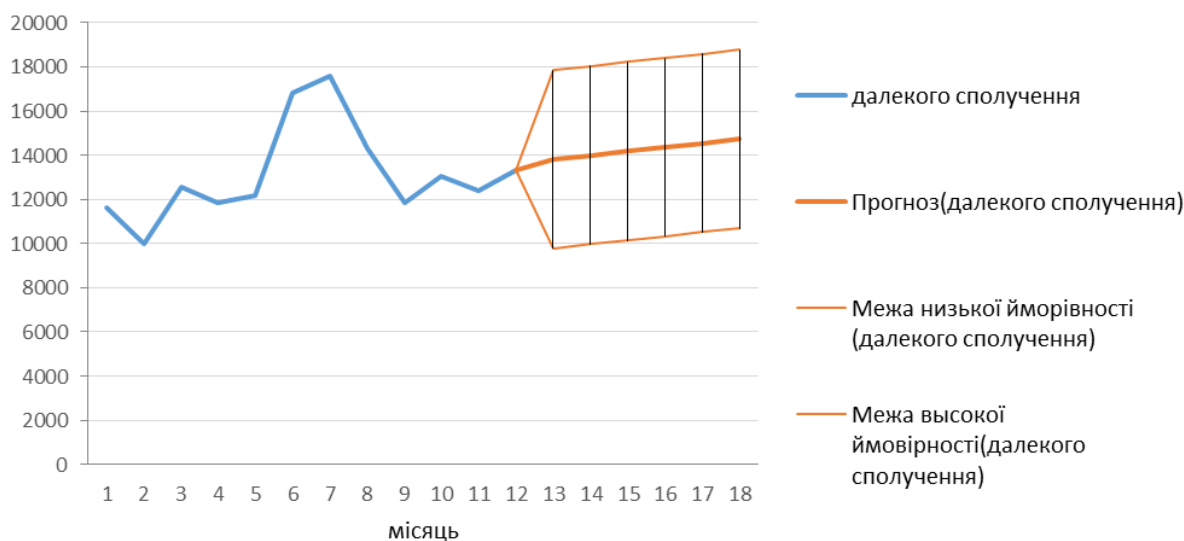


Рис. 4. Прогнозування кількості пасажирів далекого сполучення, пас/міс

З розрахунків прогнозування бачимо стійку тенденцію до збільшення пасажирів далекого сполучення.

Пропонується з урахуванням прогнозних обсягів пасажиропотоку та його особливості колювання у часі удосконалити

асортимент послуг СЦ вокзалу з метою підвищення його прибутковості.

Основними послугами, що надаються сервіс-центром досліджуваної станції за сполученнями, є наступні (табл. 2).

Таблиця 2

Основні послуги СЦ ст. Лозова

Далекого сполучення	Приміського сполучення
<ul style="list-style-type: none"> - оформлення проїзних документів у внутрішньодержавному та міждержавному сполученнях; - повернення невикористаних проїзних документів; - переоформлення проїзних документів; - друк проїзних і перевізних документів, оформлених засобами Інтернету; - оформлення перевізних документів на перевезення надлишку ручної поклажі; - довідкове бюро; - камери зберігання; - платні зали (зал очікування підвищеного комфорту, зал сервісних послуг, конференц-зал, зал очікування для пасажирів з дітьми); - додаткові послуги сервіс-центру; - платний туалет; - торговельна діяльність в місяці максимального пасажиропотоку при збільшенні торговельних місць, можливе зростання прибутковості вокзалу 	<ul style="list-style-type: none"> - оформлення проїзних документів у внутрішньодержавному сполученні; - додаткові послуги сервіс-центру (користування душем, користування феном, користування праскою, підзарядка мобільних телефонів); - платний туалет; - торговельна діяльність

З метою підвищення ефективності та збільшення прибутковості СЦ запропоновано існуючу технологію роботи удосконалити шляхом застосування SWOT-аналізу. SWOT-аналіз (табл. 3) є універсальним методом, що використовується у процесі стратегічного планування будь-якого підприємства в цілому, а також і такої її складової як сервісний центр вокзалу. Його сутність полягає у поділі факторів і явищ, що впливають на функціонування та розвиток СЦ, на чотири категорії: сильні та слабкі сторони, можливості та загрози. Цей аналіз не містить усієї інформації для прийняття раціональних рішень, але дає змогу оцінити наявну ситуацію [8].

На даний момент СЦ ст. Лозова виконує мінімальну кількість з можливих послуг сервісного обслуговування. Для підвищення ефективності роботи СЦ треба успішно конкурувати з різними державними й недержавними структурами у розв'язанні питань транспортного обслуговування населення. Сервіс-центр повинен брати постійно активну участь в удосконаленні виконання транспортних послуг, в підвищенні їх якості. Доцільно СЦ спрямовувати свою діяльність на реалізацію нових (нетрадиційних) послуг, які не надаються вокзальними структурами.

Матриця SWOT-аналізу СЦ ст. Лозова

	Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
Внутрішнє середовище	<ul style="list-style-type: none"> - надання послуг пасажиром; зручне розташування; - різні види сервісних послуг; - мінімальна тривалість виконання замовлень послуги 	<ul style="list-style-type: none"> - обмежена діяльність СЦ; - мінімальна кількість послуг; - відсутність співпраці з іншими видами транспорту (підприємствами); - низький рівень рентабельності
	Можливості (O)	Загрози (T)
Зовнішнє середовище	<ul style="list-style-type: none"> - підвищення якості обслуговування; - розвиток і створення нових послуг; - залучення державних і приватних підприємств для співпраці; - пропозиції щодо зміни технології роботи СЦ 	<ul style="list-style-type: none"> - недостатній та нерівномірний пасажиропотік; - зростання вартості енергоносіїв; - недостатнє фінансування; - відсутність рекламної кампанії СЦ

Введення нової послуги «бронювання (при особистому зверненні, телефоном, через Інтернет) місць і оформлення проїзних залізничних документів і на інші види транспорту» пропонується у населених пунктах, не оснащених залізничними станціями. Пасажир змушений робити пересадку на інший вид транспорту. Час прибуття поїзда і відправлення, наприклад автобусу, часто не збігаються. Співпраця СЦ досліджуваної станції з різними державними й недержавними структурами перевезення пасажирів дає змогу скоординувати розклад руху інших видів транспорту, підвищити рентабельність СЦ, збільшити кількість пасажирів на інших видах транспорту. Пасажиропотік досліджуваної станції збільшується в літній період, через те що напрямок має туристичний характер, доцільним є відкриття туристичного відділу. В зимовий час туристичний відділ буде мати менший попит. Щоб підвищити попит туристичного відділу, слід цілий рік надавати послуги бронювання місць і оформлення проїзних залізничних документів і на інші види транспорту. З наданням туристичним відділом таких послуг робота СЦ стає більш раціональною.

Послуга «приймання замовлень на виклик таксі»: вокзал ст. Лозова знаходиться далеко від спальних районів міста, тому з 6:00 до 19:00 (зимовий період) і з 6:00 до 21:00 (в літній період) курсують маршрутні таксі. Для пасажирів з великим багажем або ручною поклажею в денний час є альтернатива – виклик таксі, СЦ може допомогти у виконанні цієї послуги. В нічний час ця послуга матиме більший попит.

Послуга «платна площадка для автомобілів»: пасажир, приїхавши з Лозівського району на своєму автотранспорті для пересадки на поїзд, має змогу залишити свою машину на площадці з охороною.

Послугу «площадка для відстою автомобілів» можна виконувати за принципом єдиного квитка. Тобто можливий єдиний квиток для проїзду пасажиром та кількості днів відстою автомобіля на площадці. Заздалегідь пасажир при замовленні квитка на проїзд в СЦ буде надаватися послуга відстою для автомобіля пасажиром, на період його відсутності, за єдиним квитком.

Висновки. У роботі на базі ст. Лозова регіональної філії Південна залізниця ПАТ «Укрзалізниця» встановлено, що СЦ в

даний час надає стандартні послуги, але має хороший потенціал для розширення діяльності у ринкових відносинах. Основним шляхом підвищення ефективності роботи СЦ є здатність координувати та об'єднувати зусилля різних видів транспорту, підприємств і приватних компаній в наданні пасажиром комплексу

транспортних послуг. Шляхом розширення номенклатури сервісного обслуговування пасажирів можливе зміцнення фінансового стану підрозділів регіональної філії. Для підвищення якості сервісного обслуговування СЦ мають використовувати сильні сторони роботи, що було встановлено при застосуванні SWOT-аналізу.

Список використаних джерел

1. Yixiang Yue, Shifeng Wang, Leishan Zhou, Lu Tong, M. Rapik Saat, Optimizing train stopping patterns and schedules for high-speed passenger rail corridors, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 63. – February 2016. – P. 126-146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.12.007>.
2. Шерепа, К. М. Сервіс-центри з обслуговування пасажирів на залізничному транспорті [Електронний ресурс] / К. М. Шерепа. – Режим доступу : <file:///C:/Users/1/Downloads/289-1113-1-PB.pdf>.
3. Helbing, D. Social force model for pedestrian dynamics [Text] / D. Helbing // Physical review E. – May 1995. – Vol. 51. – № 5. – P. 4282-4286.
4. Railway Gazette International [Text] / Taylor, C. - UK, 2009. – № 10. – P. 63, 65-66, 68-70.
5. Бутько, Т. В. Моделювання розподілу пасажиропотоків по поїздах на основі колективного інтелекту [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, О. О. Журба // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 2/4(44). – С. 44-47.
6. 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.
7. Шандер, О. Е. Удосконалення процесу організації швидкісних пасажирських перевезень в умовах пересадок [Текст] / О. Е. Шандер, А. М. Леміш // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 173. – С. 177-183.
8. Шляхта, О. М. SWOT-аналіз як інструмент стратегічного менеджменту підприємства [Текст] / О. М. Шляхта // Економічний простір. – 2012. – №68. – С. 301-309.

Ломотко Денис Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua.

Олексенко Анастасія Геннадіївна, магістрант кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: Oleksenko.2196@gmail.com.

Ломотко Денис Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua.

Олексенко Анастасія Геннадіївна, магістрант кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: Oleksenko.2196@gmail.com.

Lomotko Denis, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Transport and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua.

Oleksenko Anastasia, master, Department of Transport and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: Oleksenko.2196@gmail.com.

Статтю прийнято 05.10.2018 р.

УДК 656.224.027

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ШВИДКІСНОГО РУХУ НА НАПРЯМКУ МАРІУПОЛЬ-ЗАПОРІЖЖЯ-МАРІУПОЛЬ

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, магістрант Є. М. Клок

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА НАПРАВЛЕНИИ МАРИУПОЛЬ-ЗАПОРОЖЬЕ-МАРИУПОЛЬ

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, магістрант Е. М. Клок

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF ORGANIZING HIGH-SPEED TRAFFIC IN THE DIRECTION OF MARIUPOL-ZAPORIZHZHIA-MARIUPOL

D. Sc. (Tech.) T. V. Butko, master Ye. M. Klok

У роботі проведено аналіз сучасного стану перевезень на напрямку Маріуполь-Запоріжжя-Маріуполь, виділено основні завдання для майбутньої організації швидкісного руху та доведено ефективність застосування сучасних технологій організації руху при взаємодії інформаційних систем, інфраструктури та швидкісного рухомого складу з урахуванням існуючого досвіду підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту України та світу, а також технології синхронізації графіка руху пасажирських поїздів.

Ключові слова: організація швидкісного руху, швидкісна інфраструктура, швидкісний рухомий склад.

В работе проведен анализ современного состояния перевозок на направлении Мариуполь-Запорожье-Мариуполь, выделены основные задачи для будущей организации скоростного движения и доказана эффективность применения современных технологий организации движения при взаимодействии информационных систем, инфраструктуры и скоростного подвижного состава с учетом существующего опыта повышения эффективности функционирования железнодорожного транспорта Украины и мира, а также технологий синхронизации графика пассажирских поездов.

Ключевые слова: организация скоростного движения, скоростная инфраструктура, скоростной подвижной состав.

The article analyzes current state of traffic in the direction of Mariupol-Zaporizhzhia-Mariupol is carried out, the main tasks for the future organization of high-speed traffic are identified and the efficiency of applying modern technologies of traffic organization in the interaction of information systems, infrastructure and high-speed rolling stock is proved. The uninterrupted interest in high-speed transportation in Ukraine shows the steady demand of passengers for this type of transportation, as well as the necessity of searching for methods of introduction of high-speed traffic on the entire network of Ukrainian railways. The paper analyzes the current state of transportation in the direction of Mariupol-Zaporizhzhia-Mariupol, highlights the main tasks for the future organization of high-speed traffic and proves the effectiveness of using modern traffic management technologies in the interaction of information systems, infrastructure and high-speed rolling stock, taking into account existing experience in improving the efficiency of rail Ukraine and the world. In this paper, an approach is proposed regarding the implementation of

high-speed traffic on the Mariupol-Zaporizhzhia-Mariupol area. This method allows us to shorten the train running time. The prospect of this study is to reduce the time of trains running on the Mariupol-Zaporizhzhia-Mariupol section and to promote the development of rail transport services, as well as the balance of time and cost. The operational ratio of income and value is greater for high-speed systems, and therefore, if there is a potential demand for transportation, revenues will outpace costs. Based on the analysis of the existing infrastructure between Mariupol and Zaporizhzhya and taking into account the lack of electrification on the Komish-Zoria-Volnovaha site it is impossible to use high-speed passenger electric trains, an optimal type of rolling stock has been chosen, This diesel train fully meets the needs for increasing the speed of the route on the route, and also suitable for use within the existing passenger traffic and population of trains from Mariupol to Zaporizhzhie. Based on the demand analysis for passenger traffic, an optimal trajectory route was developed.

Keywords: Organization of high-speed traffic, high-speed infrastructure, high-speed rolling stock.

Вступ. У всіх розвинених країнах світу швидкісний пасажирський рух залізниць відіграє провідну роль у житті суспільства та є однією з базових галузей економіки. Сучасний стан пасажирського руху України задовольняє лише основні потреби населення та економіки в перевезеннях за обсягом, але не за якістю. Необхідним є збільшення ефективності та конкурентоспроможності пасажирського руху залізниць з впровадженням перевезення пасажирів на відстані до 500 км зі швидкістю 120-160 км/год з наданням комфортних умов та сервісу.

Доцільність швидкісних перевезень обумовлюється у значній мірі затracеним часом. Оптимальна тривалість подорожі людини не повинна перевищувати 7 год, оскільки збільшення тривалості збільшує навантаження на людину.

Для України швидкісне пасажирське сполучення дозволяє з'єднати обласні та промислові центри, відстань між якими складає в середньому трохи більше 300 км, та дає можливість дістатися з одного пункту в інший за 4-5 год, тобто можна зробити висновок, що така залізнична подорож буде дешевше та комфортніше, ніж автомобільна [1].

Відстань між містами Маріуполь та Запоріжжя складає 361 км, яку пасажирські поїзди долають за 7,5 год, а середня швидкість на напрямку становить

48 км/год, тому для комфорту пасажирів необхідне скорочення часу на шляху прямування поїзда впровадженням швидкісного регіонального поїзда.

У «Транспортній стратегії України на період до 2020 року» зазначений напрямок розвитку транспортної інфраструктури шляхом підвищення швидкості руху пасажирських поїздів до 160 км/год, а також зменшення часу перебування пасажирів у дорозі, тому дана робота є актуальною [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у розроблення теоретичних засад з впровадження швидкісного руху зробили такі науковці: Бутько Т. В., Бауліна Г. С., Долгополов П. В., Калашнікова Т. Ю., Ковальов А. О., Константинов Д. В., Логвінова Н. О., Малахова О. А., Матусевич О. О., Пархоменко Л. О., Прохорченко А. В., Рибальченко Л. І., Clewlow R., Givoni M., Krasemann J., Palacin R., Vickerman R.

Значна кількість наукових робіт, наприклад [1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 18], аналізують перспективи розвитку високошвидкісних залізниць України на основі світового досвіду. У роботах [16, 17] проаналізовано наукові підходи щодо розрахунку та оптимізації параметрів високошвидкісних магістралей. У той же час у дослідженні [8] розглянуто пропускну

спроможність залізничного напрямку, а у роботах [5, 11] аналізується динаміка пасажиропотоків.

Аналіз цих наукових досліджень доводить, що вони проводилися без врахування усього комплексу факторів та були спрямовані на вивчення окремих питань. У даній роботі запропонований комплексний підхід щодо впровадження швидкісного руху на напрямку Маріуполь-Запоріжжя-Маріуполь.

Визначення мети та задачі дослідження. Дана робота має на меті аналіз сучасного стану пасажиропотоку та інфраструктури напрямку Маріуполь-

Запоріжжя-Маріуполь в умовах впровадження швидкісного руху. Основною задачею є пропозиція щодо впровадження швидкісного руху, яка зможе забезпечити максимально комфортне прямування пасажирів.

Основна частина дослідження. Для вибору концепції розвитку швидкісного руху пасажирських поїздів на напрямку Маріуполь-Запоріжжя-Маріуполь необхідним є проведення досліджень ринку пасажирських перевезень та аналізу ефективності курсування пасажирських поїздів у межах існуючої моделі експлуатації залізничної мережі (рис. 1).

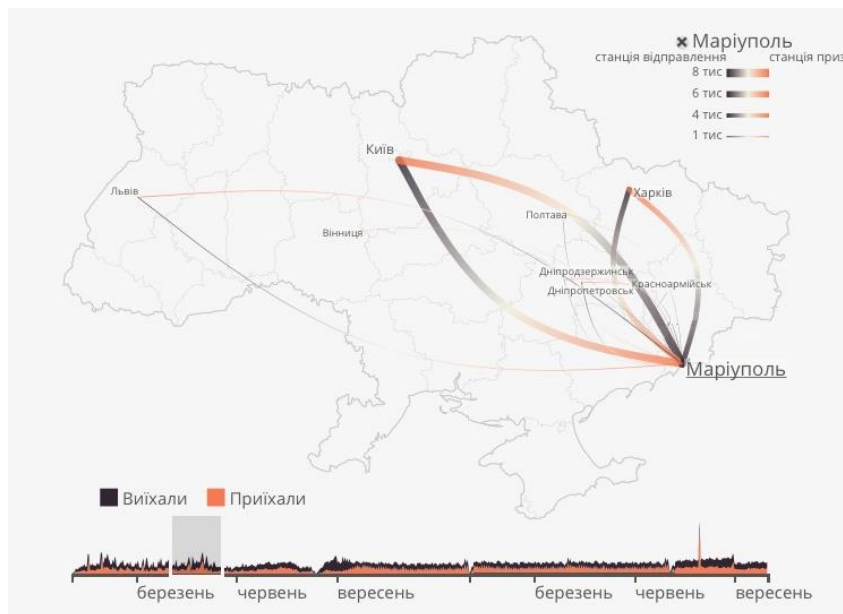


Рис. 1. Інтерактивна карта пасажиропотоку станції Маріуполь

Проведений аналіз кількості відправлених пасажирів на залізничному транспорті свідчить про сталу тенденцію збільшення інтенсивності пасажиропотоку (рис. 2), а також характеризується нерівномірністю по днях тижня, місяцях року, що обумовлено ефектом вихідного дня та сезонними коливаннями (рис. 3).

На фоні низької маршрутної швидкості загострюється конкуренція між залізничним і автомобільним транспортом. Досвід залізниць світу показує, що найбільш значне підвищення

конкурентоспроможності залізничного транспорту можливе при впровадженні швидкісного руху пасажирських поїздів. Комерційний успіх швидкісних мереж світу ґрунтується на зменшенні тривалості поїздки до 5 год у дорозі.

Для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів необхідний комплекс заходів: від розробки потрібної документації, прийняття державних програм до підготовки залізничної інфраструктури, закупівлі та випробування нової техніки та навчання персоналу.

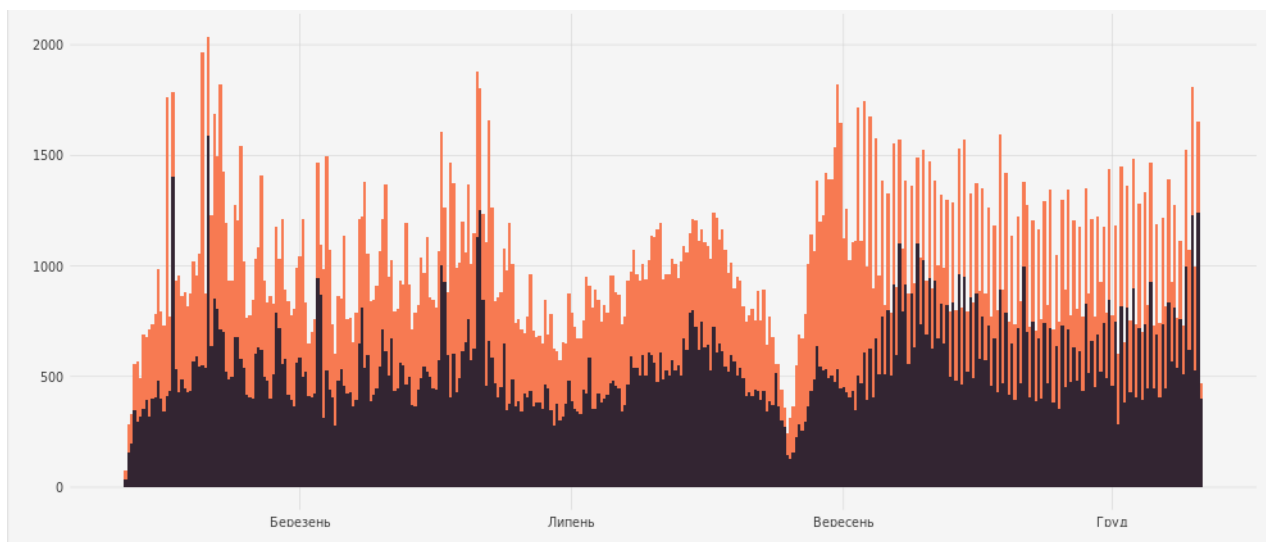


Рис. 2. Динаміка пасажиропотоку станції Маріуполь

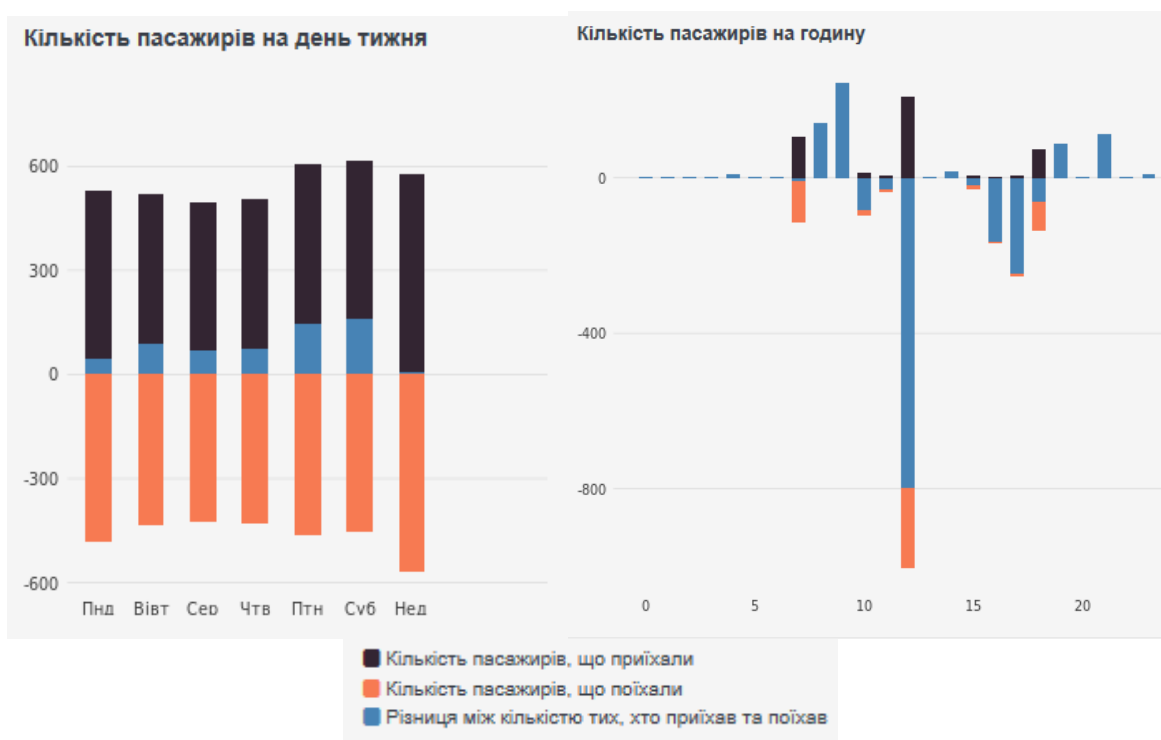


Рис. 3. Динаміка пасажиропотоку по днях тижня та годинах доби

Аналіз існуючої інфраструктури між Маріуполем і Запоріжжям показав, що в умовах відсутності електрифікації на ділянці Комиш-Зоря-Волноваха є неможливим використання електропотягів HRCS2 виробництва «Hyundai Rotem», тому для вирішення проблеми було обрано дизель-поїзд РА 620М (рис. 4) – рейковий автобус

виробництва фірми Pesa Bydgoszcz SA (Польща). Силова установка складається із дизельного двигуна MAN D2876 LUE 623, гідروпередачі Voith Tr211re4 і системи охолодження фірми Voith Turbo. Потужність силової установки – 385 кВт. Конструкційна швидкість – 120 км/год. Кількість місць для сидіння: 95.



Рис. 4. Дизель-поїзд PA 620M виробництва фірми Pesa Bydgoszcz SA (Польща)

Даний дизель-поїзд повністю задовольняє потреби у збільшенні маршрутної швидкості на шляху прямування, а також доцільний для використання у межах існуючого пасажиропотоку та населеності потягів з Маріуполя до Запоріжжя (табл. 1).

Враховуючи конструктивну швидкість поїзда та ПТЕ залізниць України, а також профіль залізниці, необхідно обрати найбільш доцільний маршрут прослідування (табл. 2).

Таблиця 1

Населеність поїздів напрямку, що прямують з Маріуполя

Початкова станція	Кінцева станція	Населеність, пас
Київ	Маріуполь	1040
Маріуполь	Харків	744
Харків	Маріуполь	731
Маріуполь	Львів	122
Львів	Маріуполь	110
Запоріжжя	Маріуполь	94
Маріуполь	Запоріжжя	86

Таблиця 2

Порівняльна характеристика існуючих і альтернативних маршрутів

Існуючий маршрут	Довжина	Альтернативний маршрут	Довжина
1	2	3	4
Маріуполь	12 км	Маріуполь	12 км
Сартана	11 км	Сартана	11 км
Асланово	7 км	Асланово	7 км
Кальчик	22 км	Кальчик	22 км
Карань	22 км	Карань	22 км
Волноваха	12 км	Волноваха	12 км
Хлібодарівка	18 км	Хлібодарівка	18 км
Зачатівська	11 км	Зачатівська	11 км

Продовження табл. 2

1	2	3	4
Розівка	30 км	Розівка	30 км
Комиш-Зоря	10 км	Комиш-Зоря	28 км
Щебеневий	11 км	Магедове	14 км
Більманка	20 км	Гусарка	9 км
Великий Токмак 2	12 км	Пологи	10 км
Низяни	12 км	Челюскін	7 км
Стульневе	22 км	Новокарлівка	10 км
Великий Токмак	9 км	Мала Токмачка	11 км
Молочанськ	17 км	Оріхівська	15 км
Світлодолинська	17 км	Обще	13 км
Федорівка	9 км	Фісаки	16 км
Плодородне	11 км	Кирпотине	9 км
Пришиб	11 км	Лежине	5 км
Бурчацьк	10 км	Ростуща	5 км
Таврійськ	17 км	Передатна	4 км
Плавні	10 км	Запоріжжя	
Канкринівка	9 км		
Кушугум	9 км		
Запоріжжя			
Усього	361 км		301 км

Порівнявши два маршрути, доцільно обрати альтернативний маршрут, тому що довжина маршруту скорочується з 361 до 301 км, а також меншою є кількість станцій, які прослідує поїзд.

Також необхідно зазначити, що якщо скоординувати залізничний швидкісний потяг з Маріуполя до Запоріжжя з існуючим потягом ІнтерСіті з Запоріжжя до Києва, можливо зменшити час прямування з Маріуполя до Києва з 17 год 46 хв до 12 год.

Висновки. В даній роботі запропоновано підхід щодо впровадження швидкіс-

ного руху на ділянці Маріуполь-Запоріжжя-Маріуполь. Цей метод дозволяє скоротити тривалість часу прямування поїзда. Перспективою даного дослідження є скорочення часу прямування поїзда на ділянці Маріуполь-Запоріжжя-Маріуполь та сприяння розвитку залізничних транспортних послуг, а також баланс витрат на час та вартість. Експлуатаційне співвідношення доходу і вартості є більшим для швидкісних систем, а отже, якщо існує потенційний попит на перевезення, то доходи будуть випереджати витрати.

Список використаних джерел

1. Матусевич, О. О. Доцільність швидкісних залізничних пасажирських перевезень і рішення проблем прискорення [Текст] / О. О. Матусевич. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2012. – 238 с.
2. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: Розпорядження КМУ від 20 жовтня 2010р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p> (Дата звернення: 31.03.2018).

3. Бауліна, Г. С. Визначення ефективності використання швидкісних перевезень на мережі залізниць [Текст] / Г. С. Бауліна, Г. Є. Богомазова, А. В. Скуб'як // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 5-11.
4. 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.
5. Долгополов, П. В. Удосконалення організації поїздопотоків на залізничному полігоні в умовах швидкісного руху [Текст] / П. В. Долгополов, Д. В. Трегубчак // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С. 25-30.
6. 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.
7. 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.
8. Константінов, Д. В. Моделювання процесу оперативного регулювання швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень [Текст] / Д. В. Константінов, К. В. Крамченко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. Сер. Нові рішення в сучасних технологіях. – 2013. – № 56. – С. 128-136.
9. Логвінова, Н. О. Дослідження пропускнуєї спроможності залізничного напрямку в умовах прискореного руху пасажирських поїздів [Текст] / Н. О. Логвінова // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. праць. Темат. вип. Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 22 (1131). – С. 63-68.
10. Малахова, О. А. Розвиток швидкісного пасажирського руху в Україні на основі всесвітнього досвіду [Текст] / О. А. Малахова, О. М. Анікеєва // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 75-79.
11. Пархоменко, Л. О. Аналіз динаміки пасажиропотоків по Україні в умовах швидкісних перевезень [Текст] / Л. О. Пархоменко, В. Ю. Серпокрилов, Д. М. Коваленко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 173. – С. 143-148.
12. Прохорченко, А. В. Аналіз наукових досліджень щодо проектування транспортних мереж високошвидкісного та звичайного руху [Текст] / А. В. Прохорченко, Д. О. Кравченко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 70-74.
13. Рибальченко, Л. І. Обґрунтування вибору оптимального варіанта організації швидкісного руху [Текст] / Л. І. Рибальченко, О. В. Нерівня // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 173. – С. 205-209.
14. 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, Vol. 33, May 2014. – P. 136-143.
15. 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.
16. 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.

17. 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. – Vol. 9. Special Edition. – P. 123-129.

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

Бутко Тетяна Васильівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: butko@kart.edu.ua.

Клок Єгор Михайлович, магістрант, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: klokyegor1995@gmail.com.

Бутко Татьяна Васильевна, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: butko@kart.edu.ua.

Клок Егор Михайлович, магистрант, кафедра управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: klokyegor1995@gmail.com.

Butko Tetiana Vasylyivna, D. Sc. (Tech.), Professor, Head of Department, Department of Management of Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: butko@kart.edu.ua.

Klok Yegor Mykhailovich, master, Department of Management of Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: klokyegor1995@gmail.com.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.

УДК 621.315.65

РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВУ ЗАСУВКИ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ НА DIN-РЕЙКУ

Кандидати техн. наук В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій, інж. Д. А. Гордієнко (ПрАТ «ЕЛАКС»), магістранти Д. В. Соловійов, В. Р. Цибульник

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВА ЗАДВИЖКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИБОРА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ НА DIN-РЕЙКУ

Кандидаты техн. наук В. П. Нерубацкий, А. А. Плахтий, инж. Д. А. Гордиенко (ЧАО «ЭЛАКС»), магистранты Д. В. Соловьев, В. Р. Цибульник

DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTIVE LATCHES INDUSTRIAL DEVICE FOR A MOUNTINGS ON THE DIN-RACK

PhD (Tech.) V. P. Nerubatskyi, PhD (Tech.) O. A. Plakhtiy, engineer D. A. Hordiienko, masters D. V. Soloviov, V. R. Tsybulnyk

У статті проведено аналіз недоліків існуючих конструкцій елементів кріплення з DIN-рейкою у промислових приладах. З урахуванням встановлених вимог до коефіцієнта запасу міцності і стійкості до перекосу подано поліпшену конструкцію кріплення приладу на DIN-рейку. Шляхом твердотілого 3D-моделювання за допомогою програмного забезпечення SolidWorks та застосування методу скінченних елементів проведено оцінку міцності базових і поліпшених кріплень приладів.

***Ключові слова:** DIN-рейка, засувка, прилад, кріплення, конструкція, міцність, стійкість.*

В статье проведен анализ недостатков существующих конструкций подвижек приборов для крепления с DIN-рейкой. С учётом установленных требований по коэффициенту запаса прочности и устойчивости к перекошу представлена улучшенная конструкция крепления прибора на DIN-рейку. Путём твердотельного 3D-моделирования с помощью программного обеспечения SolidWorks и применения метода конечных элементов проведена оценка прочности базовых и улучшенных креплений приборов.

Ключевые слова: DIN-рейка, подвижка, прибор, крепление, конструкция, прочность, устойчивость.

An important part of an industrial appliance is its constructive mount on the DIN rail, which allows not only to significantly save space in the shields and cabinets, but also save time and effort spent on the installation of devices. This is especially true when it comes to the equipment of a large industrial cabinet, which takes a lot of time to install the devices, if they are fastened with screws (for comparison: it takes just a few seconds to secure the device to the DIN rail). DIN rail is called a special metal profile, which is used for the installation of devices in the electrical industry. This profile is used for fixing various modular equipment (automatic switches, protective devices, contactors, electric meters, relays of various purpose, terminals, electrical sockets, etc.) when placed in electrical shields of different types. Wide introduction of DIN rails simultaneously with the minimization of all elements that are traditionally used in electrical engineering, has allowed a fundamentally new approach to the installation of equipment. With such a unified approach in the panel cases of a typical size it is possible to place quite complicated devices and devices that use modern microelectronics built into their work. However, due to the improper design of the latch mount on the DIN rail, which causes large backlash between the side faces of the valve and the housing, there is a problem of moving the device housing along the DIN rail. The article deals with the drawbacks in the existing designs of latch devices for mounting with DIN rail, on the basis of which new constructive solutions of latches for mounting the device housing on a DIN rail, taking into account the established requirements for the coefficient of strength and shear strength. The strength of DIN-rail mountings with the help of SolidWorks software is evaluated.

Keywords: DIN rail, latch, device, mount, construction, strength, stability.

Вступ. На сьогодні більшість розробників промислових електронних приладів стикаються з багатьма проблемами, серед яких одними з ключових є:

- скорочення термінів розробки;
- зменшення виробничих витрат;
- безперервне удосконалення модельного ряду виробів.

При цьому корпус промислових приладів повинен відповідати таким основним вимогам:

- мати достатню жорсткість для витримування ударних і інерційних навантажень;
- модульна конструкція, що забезпечує зручність складання виробу;
- ергономічність, зручність і безпека експлуатації;

- забезпечення заданого рівня пило- та вологозахисту (рівень IP).

Тому при вирішенні задач проектування корпусу промислового приладу, який повинен забезпечувати не тільки різноманітні функціональні можливості, але і модульність конструкції корпусу, а також жорсткість його конструкції, монтаж на DIN-рейку є найбільш прийнятним рішенням.

Важливою частиною промислового приладу є його конструктив кріплення на DIN-рейку, що дозволяє не тільки істотно заощадити місце в щитах і шафах, але також заощадити час і зусилля, витрачені на монтаж приладів. Це є особливо актуальним, якщо мова йде про обладнання великої промислової шафи, де витрачається

багато часу на монтаж приладів в разі їх кріплення за допомогою гвинтів (для порівняння: достатньо декількох секунд, щоб закріпити прилад на DIN-рейку).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виготовлення DIN-рейок організовано у повній відповідності до вимог міжнародного стандарту МЕК 60715-2003. Виготовляються вони зі спеціальної вуглецевої сталі, яка надалі піддається оцинкуванню і хромуванню, що забезпечує високий антикорозійний захист і міцність. Незалежно від виробника DIN-рейки випускаються зі стандартними встановлювальними розмірами, які відрізняються тільки довжиною (що знаходиться в діапазоні від 75 мм до метра) і наявністю або відсутністю на рейці перфорації.

Загальноприйняте позначення DIN-рейок також нормується відповідними стандартами. Наприклад, TH35 – це сучасна типова металева рейка шириною 35 мм, що має спеціальний профіль. Цей стандарт був розроблений Німецьким інститутом стандартизації (DIN) і прийнятий дещо пізніше Міжнародною електротехнічною комісією (IEC).

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження конструкцій засувки в корпусах приладів

для кріплення з DIN-рейкою. Завдання дослідження полягають у створенні нової конструкції засувки для кріплення корпусу приладу на DIN-рейку з урахуванням встановлених вимог щодо коефіцієнта запасу міцності та стійкості до перекосу.

Основна частина дослідження. DIN-рейкою прийнято називати спеціальний металевий профіль, що застосовується для монтажу приладів в електротехнічній промисловості (рис. 1). Цей профіль використовується для закріплення різноманітного модульного обладнання (автоматичних вимикачів, пристроїв захисного вимикання, контакторів, електролічильників, реле різного призначення, клем, електричних розеток і т. п.) при розміщенні в електричних щитах різного типу [1-4]. Широке впровадження DIN-рейок одночасно з проведенням мінімізації всіх елементів, які традиційно використовуються в електротехнічних конструкціях, дозволило здійснити принципово новий підхід до монтажу апаратури. При такому уніфікованому підході в щитових корпусах типового розміру вдається розмістити досить складні прилади та пристрої, що використовують при своїй роботі сучасну вбудовану електроніку.



Рис. 1. Кріплення корпусу автоматичного вимикача до DIN-рейки

Установлення приладів на DIN-рейку здійснюється зачіпленням паза пристрою за один край, нижня частина при цьому з невеликим зусиллям затискається на рейці до клацання. Для зняття приладу потрібно

за допомогою плоскої викрутки відвести засувку донизу та зняти її з паза. Деякі прилади фіксуються у відкритому положенні засувки [7].

Як правило, неправильно спроектовані засувки кріплення приладу на DIN-рейку обумовлюють великі люфти між бічними гранями засувки та корпусом, існує проблема переміщення корпусу приладів уздовж DIN-рейки.

При визначенні допустимого навантаження на рейки, в умовах їх нормальної експлуатації [6, 8, 9], найбільш важливим фактором завжди є прогин при крученні. Розглянемо способи кріплення корпусів промислових приладів, що випускаються різними компаніями-виробниками: HESCH, Siemens та ін. [10, 12, 13]. Прилад HESCH IMOD ECO HE 5634 3 UIP оснащений двома симетричними засувками для кріплення на DIN-рейку (рис. 2).



Рис. 2. Прилад HESCH IMOD ECO HE 5634 3 UIP

Практика показала, що кріплення приладу HESCH IMOD до DIN-рейки має

недолік, обумовлений великими люфтами між бічними гранями засувки та корпусом внаслідок великого зазора між «лапками» засувки і корпусом; при спробі установлення засувки на DIN-рейку з'являється велика ймовірність просідання DIN-рейки під «лапки» засувки, що пояснюється помилками при проектуванні механічного кріплення [11].

Прилад Sitor PSU100C виробництва компанії Siemens (рис. 3) завдяки конструктиву, що з'єднує засувку з рухомою частиною корпусу, яка в свою чергу сполучена з ребрами жорсткості, забезпечує його більш надійне кріплення на DIN-рейку, ніж в попередньому варіанті. Дана форма інтегрованої засувки забезпечує більш високий коефіцієнт запасу міцності, ніж у попереднього аналізованого приладу, та достатню гнучкість конструкції.

Недоліком конструктиву приладу Siemens Sitor PSU100C є відгинання засувки вгору при спробі зняття приладу з DIN-рейки, що призводить до швидкого відламування засувки.

Твердотіле 3D-моделювання з використанням методу розбиття на скінченні елементи. Оцінку міцності кріплення приладів на DIN-рейку може бути здійснено за допомогою твердотілого 3D-моделювання у програмі SolidWorks [5], яка виконує розрахунки конструкцій методом скінченних елементів (рис. 4).

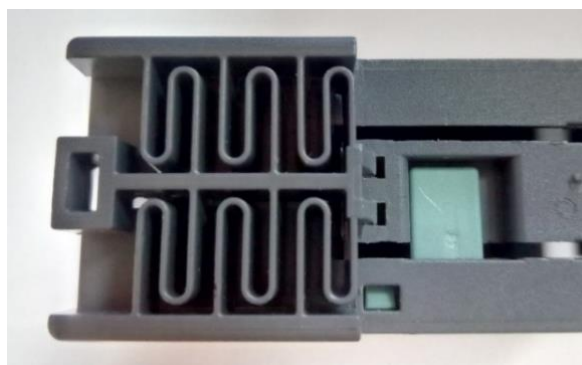


Рис. 3. Конструкція кріплення на DIN-рейку в приладі Siemens Sitor PSU100C

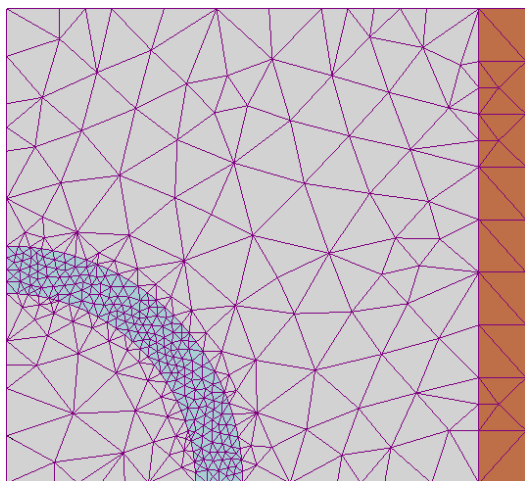


Рис. 4. Розбиття поверхні корпусу приладу на скінченні елементи

Метод скінченних елементів – числовий метод знаходження розв’язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП). Процес розв’язання побудований на розкладі ДРЧП в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв’язуються використанням методів Ейлера та Рунге-Кутти. Наведений метод широко використовується при вирішенні

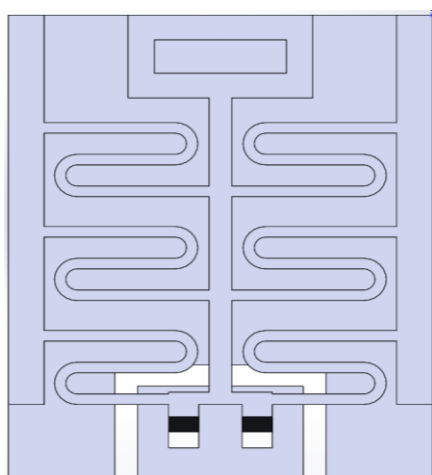
задач механіки деформованого твердого тіла. Досить повно вказаний метод описано у [14, 15].

Перевагою методу скінченних елементів є можливість задання та зміни розміру скінченного елемента (трикутника), що дозволяє оптимізувати точність та час розрахунку. Для важливих частин конструкції для збільшення точності доцільно ставити меншу сітку розрахунку, а для менш важливих частин конструкції для зменшення машинного часу розрахунку доцільно збільшити сітку, як це наведено на рис. 4.

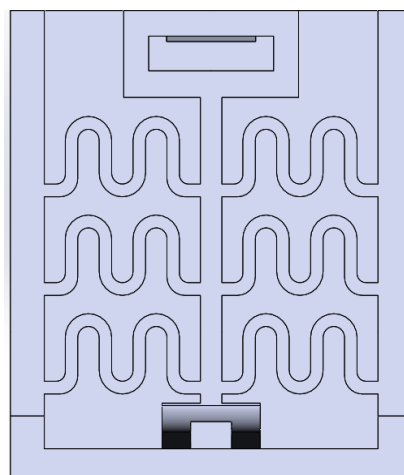
У зв’язку з тим, що існуюча конструкція кріплення приладу на DIN-рейку має недоліки, було поставлено задачу розробки нової конструкції засувки, яка повинна відповідати таким вимогам:

- коефіцієнт запасу міцності (КЗМ) ≥ 1 ;
- наявність стійкості до перекосу.

Відповідно до поставлених вимог було розроблено такі конструкції інтегрованої засувки (рис. 5 та 6), які усувають недоліки описаних вище кріплень приладів.



a



б

Рис. 5. Конструкції засувки приладу Siemens Sitop PSU100C (*a*) та запропонованих інтегрованих засувки (*б*)

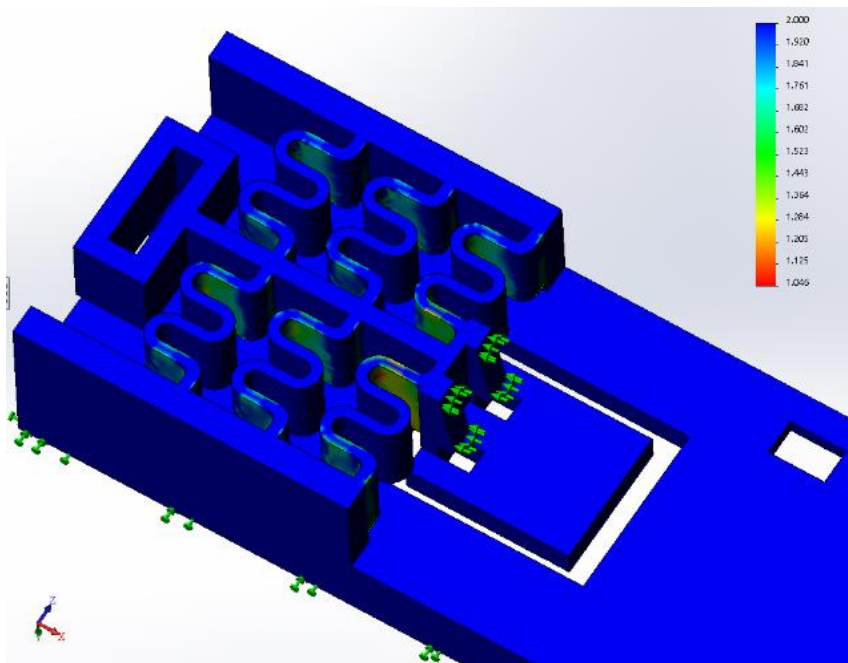


Рис. 6. Твердотіле 3D-модельовання конструкції запропонованої інтегрованої засувки на DIN-рейку

Методом побудови 3D-моделей корпусів було проведено визначення запасу міцності конструкції на основі критеріїв руйнування. Після виконання статистичного дослідження можна розрахувати запас міцності конструкції на основі розробленої моделі. Результат міцності базується на критерії максимального напруження, який визначається таким чином:

$$\frac{\sigma_{vonMises}}{\sigma_{Limit}} < 1; \quad n = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{екв}} > n_{зад} ,$$

де $\sigma_{vonMises}$ – максимальне напруження при випробовуваннях, Н/м²;

σ_{lim} – гранично допустиме напруження, Н/м².

σ_{lim}

У таблиці наведено порівняльні механічні характеристики інтегрованої в корпус засувки приладу Siemens Sitop PSU100C та запропонованої конструкції розробленої інтегрованої засувки.

Таблиця

Порівняльна характеристика коефіцієнтів запасу міцності існуючої та запропонованої конструкції

Варіант конструкції	КЗМ при установленні на DIN-рейку	КЗМ при знятті з DIN-рейки		Зусилля при установленні	Стійкість до «перекосу»
Конструкція засувки Sitop PSU100C	1,03	1,4	0,87	24,7 Н	не стійка, перекіс 2 мм
Запропонована конструкція	1,05	1,05	0,74	19,2 Н	стійка

Висновки. Розроблено нову покращену конструкцію інтегрованої в корпус прилада засувки, яка усуває недоліки кріплення на DIN-рейку описаних приладів. Проведене твердотіле моделювання із застосуванням методу

скінченних елементів підтвердило, що нова конструкція задовольняє поставлені вимоги: коефіцієнт запасу міцності дорівнює 1,05, крім того забезпечується механічна стійкість кріплення до перекосу.

Список використаних джерел

1. Автоматические выключатели – конструкция и принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://elektrik-sam.info/avtomaticheskie-vyglyuchateli-konstrukciya-i-princip-raboty>. (дата обращения: 17.04.2018).
2. Гуревич, В. И. Устройства электропитания релейной защиты: проблемы и решения [Текст] / В. И. Гуревич. – М. : Инфра-Инженерия, 2013. – 288 с.
3. Коммутационные аппараты – контакторы и контакторные сборки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://w5.siemens.com/web/ua/ru/iadt/ia/ce/switching/contactors/Documents/lv1_03_2010_3rt_lzs_web_rus.pdf. (дата обращения: 21.04.2018).
4. Луценко, И. Определение показателя эффективности и изучение его основной функции в качестве критерия оптимизации [Текст] / И. Луценко // Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий. – 2016. – № 6 (2(84)). – С. 24-32.
5. Расширенное моделирование деталей [Текст]: SolidWorks 2010 / Dassault Systems Solid Works Corporation, 2009. – 341 с.
6. Almeida, J.P. Influence of Lap Splices on the Deformation Capacity of RC Walls: Database Assembly, Recent Experimental Data, and Findings for Model Development [Text] / J.P. Almeida, O. Prodan, D. Tarquini, K. Beyer // Journal of Structural Engineering (United States). – 2017. – Vol. 143, No. 12. – 17 p.
7. DIN rail Terminal Blocks with Screw Clamp Connection: Suppiemenfary Catalog tu Full Line Catalog [Text] / WAGO eBooks. – 2016. – Vol. 1. – 28 p.
8. Kavade M.V. Parameter Optimization of Injection Molding of Polypropylene by using Taguchi Methodology [Text] / M.V. Kavade // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. – 2012. – Vol. 4, Issue 4. – P. 49-58.
9. Low-Voltage Power Distribution and Electrical Installation Technology [Text]: Catalog LV 10 / Siemens AG Energy Management. Low Voltage & Products Postfach 10 09 53 93009 Regensburg Germany, 2017. – 1716 p.
10. Marking: Fulle line catalog [Text] / WAGO eBooks, Edition. – 2017/2018. – Vol. 6. – 80 p.
11. Nevljudov, I.Sh. Tehnologicheskoe obespechenie tochnosti razmerov pri formoobrazovanii plastmassovyh izdelij [Text] / I.Sh. Nevljudov, S.V. Sotnik // Jelektronnaja komponentnaja baza. Sostojanie i perspektivy razvitija. – 2009. – P. 183-186.
12. Steel DIN Rail Overview. URL: <https://cdn.automationdirect.com/static/specs/dinrails.pdf>. (Last accessed: 02.05.2018).
13. VM1. Vakuum-Leistungsschalter mit Magnetantrieb: каталог ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH / ABB Sace T.M.S. S.p.A. 2002. 77 p.
14. Зенкевич, О. С. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. С. Зенкевич. – М. : МИР, 1975. – 543 с.

15. Молчанов, И. Н. Основы метода конечных элементов [Текст] / И. Н. Молчанов, Л. Д. Николенко. – К. : Наук. думка, 1989. – 272 с.

Нерубацький Володимир Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-76.
E-mail: NVP9@i.ua.

Плахтій Олександр Андрійович, канд. техн. наук, старш. викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-76.
E-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Гордієнко Денис Анатолійович, інженер ПрАТ «ЕЛАКС» (м. Харків). Тел.: (099) 612-02-12.
E-mail: D.Hordiienko@i.ua.

Соловійов Даниїл Віталійович, магістрант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095) 444-76-61.
E-mail: dannikk@gmail.com.

Цибульник Владислав Романович, магістрант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 945-95-75.
E-mail: vladtsybulnyk@gmail.com.

Нерубацький Владимир Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-76. E-mail: NVP9@i.ua.

Плахтий Александр Андреевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-76. E-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Гордиенко Денис Анатольевич, инженер ЧАО «ЭЛАКС» (г. Харьков). Тел.: (099) 612-02-12.
E-mail: D.Hordiienko@i.ua.

Соловьёв Даниил Витальевич, магистрант кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (095) 444-76-61.
E-mail: dannikk@gmail.com.

Цыбульник Владислав Романович, магистрант кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (066) 945-95-75.
E-mail: vladtsybulnyk@gmail.com.

Nerubatskyi Volodymyr Pavlovych, PhD (Tech.), associate professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-76.
E-mail: NVP9@i.ua.

Plakhtiy Alexandr Andreevich, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-76.
E-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Hordiienko Denys Anatolievych, engineer of Private JSC «ELAKS» (Kharkiv). Tel.: (099) 612-02-12.
E-mail: D.Hordiienko@i.ua.

Soloviov Daniil Vitaliyovych, master, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (095) 444-76-61.
E-mail: dannikk@gmail.com.

Tsybulnyk Vladislav Romanovych, master, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 945-95-75.
E-mail: vladtsybulnyk@gmail.com.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.

УДК 625.03

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ В ЗОНІ РЕЙКОВИХ СТИКІВ

Д-р техн. наук О. М. Даренський, канд. техн. наук Н. В. Бугаєць,
магістранти І. О. Покотецький, В. М. Коваль

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЗОНЕ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ

Д-р техн. наук А. Н. Даренский, канд. техн. наук Н. В. Бугаец,
магистранты И. О. Покотецкий, В. Н. Коваль

MATHEMATICAL MODEL OF INTERACTION OF WAY AND MOBILE COMPOSITION IN AREA OF RAIL JOINTS

D. Sc. (Tech.) A. N. Darenskiy, PhD (Tech.) N.V. Bugaec, masters I.O. Pokotecky, V.N. Koval

Розроблена математична модель, яка характеризує роботу рейок під дією вертикального навантаження від рухомого складу в прямих і кривих ділянках колії, а також на ділянках, що знаходяться в зоні рейкових стиків, які характеризуються високими динамічними впливами. Розроблена математична модель дає можливість визначити приведену до точки контакту колеса і рейки жорсткість рейкової нитки, що в свою чергу дає можливість визначити вертикальні динамічні сили взаємодії колії і рухомого складу з урахуванням змін параметрів згинальної жорсткості рейкової нитки в зоні рейкового стику.

Ключові слова: математична модель, рейковий стик, рейка, вертикальне навантаження, жорсткість.

Разработана математическая модель, характеризующая работу рельсов под действием вертикальной нагрузки от подвижного состава на прямых и кривых участках пути, а также на участках, находящихся в зоне рельсовых стыков, характеризующихся высокими динамическими воздействиями. Разработанная математическая модель дает возможность определить приведенную к точке контакта колеса и рельса жесткость рельсовой нити, что дает возможность определить вертикальные динамические силы взаимодействия пути и подвижного состава с учетом изменений параметров изгибной жесткости рельсовой нити в зоне рельсового стыка.

Ключевые слова: математическая модель, рельсовый стик, рельс, вертикальная нагрузка, жесткость.

A mathematical model characterizing work of rails under action of the vertical loading from mobile composition on the areas of way direct and crooked is developed, and also on the areas of the found in an area rail joints characterized by high dynamic influences. These questions are especially actual for the terms of ways of the no common use (high axial loading, features of the special mobile composition, curves of small radiuses, feature of the modes of conduct of trains). Executing the design of work of rail filament it is needed to take into account under action of the external loading, level of dynamic action of crews on a way in the area of rail joints. The use of number methods of research of co-operation of way and mobile composition enables exactly to determine basic calculation data, by comparison to experimental works, but it is possible to use

number methods only when a mathematical model represents the real work of construction of way, taking into account dynamic processes which take place in the area of joints. In the article the general calculation chart of subsystem was considered "crew", in a basis to which the spatial calculation chart of four-axle train crew which moves on the way is stopped up. As a calculation model a beam which is found separate discrete resiliently was accepted - dissipative supports with nonlinear descriptions. The developed mathematical model enables to define resulted to the point of contact of wheel and rail inflexibility of rail filament, that enables to define vertical dynamic forces of co-operation of way and mobile composition taking into account the changes of parameters of bending inflexibility of rail filament in the area of rail joint. It is necessary to underline that influence of these parameters on forces of co-operation of way and mobile composition changes in the process of motion continuously. Inflexibilities of rails in the area of rail joint and out of joint affect motion of these processes as inflexibilities of rail supports so. Multiple calculations which were executed for the most widespread types of the carriages of enterprises metallurgical and mining specialized and special allowed to set that at the rates of movement, which will be realized on the ways of industrial transport, vertical shock forces can measure up 27-28 kN at in good condition rail joints. At presence of disrepairs in joints («steps») the shock loading are multiplied in 1,7-3,2 times, measuring up 65-70 kN. Data which are got calculations are confirmed by the results of experimental works.

Keywords: *mathematical model, rail joint, rail, vertical loading, inflexibility.*

Вступ. Питання взаємодії колії і рухомого складу в зоні рейкових стиків, як для прямих, так і для кривих ділянок колії, є достатньо актуальними при виконанні досліджень впливу рухомого складу на колію [1–6]. Особливо це важливо для умов колій незагального користування (особливості спеціального рухомого складу, особливості режимів ведення потягів, криві малого радіуса).

Виконуючи моделювання роботи рейкової нитки під дією зовнішнього навантаження, потрібно враховувати рівень динамічної дії екіпажів на колію в зоні рейкових стиків. Використання чисельних методів дослідження взаємодії колії і рухомого складу дає можливість точно визначати вихідні розрахункові дані, у порівнянні з експериментальними роботами, але чисельні методи можливо використовувати тільки, коли математична модель відображає реальну роботу конструкції колії, враховуючи динамічні процеси, які відбуваються в зоні стиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Здебільшого в останніх дослідженнях, в яких розглядалися питання взаємодії колії і рухомого складу,

розраховувалися вертикальні або горизонтальні поперечні сили, що діють на колію при русі екіпажів в прямих та кривих ділянках колії, були прийняті моделі, що описують плоскі коливання [7–8], вони розроблені із припущення, що рухи системи в різних площинах слабо зв'язані між собою. Але такі методи не підходять для специфічних умов колій незагального користування, необхідно врахувати суттєві нелінійності залежності, в тому числі нелінійності розривного типу, тільки нелінійна модель адекватно описує взаємодію елементів в динамічній системі «екіпаж-колія». Дослідження взаємодії колії і спеціального рухомого складу, оцінку динаміки екіпажа з нелінійними просторовими силовими і кінематичними зв'язками слід проводити на нелінійній просторовій моделі, оскільки для нелінійних систем принцип суперпозиції неможливо застосувати [9–11].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даної статті є моделювання математичної моделі роботи рейок в зоні рейкових стиків під дією вертикального навантаження від рухомого складу. Це актуальне завдання, що дасть

зможу визначати наведену до точки контакту колеса і рейки жорсткість рейкової нитки. Це у свою чергу дасть можливість визначити вертикальні динамічні сили взаємодії колії та рухомого складу з урахуванням змін параметрів згинальної жорсткості рейкової нитки в зоні стику.

Основна частина дослідження. У роботі [10] розглянута загальна розрахункова схема підсистеми «екіпаж» (рис. 1), в основу якої закладена просторова

розрахункова схема чотиривісного екіпажа, що рухається по колії. Як розрахункова модель колії прийнята балка, що спирається на багато пружно-дисипативних опор – шпал з нелінійними характеристиками. Це дає змогу встановлювати вплив на динамічні сили нерівнопружності підрейкової основи, термінів служби колії, вертикальних і горизонтальних геометричних нерівностей рейкової колії.

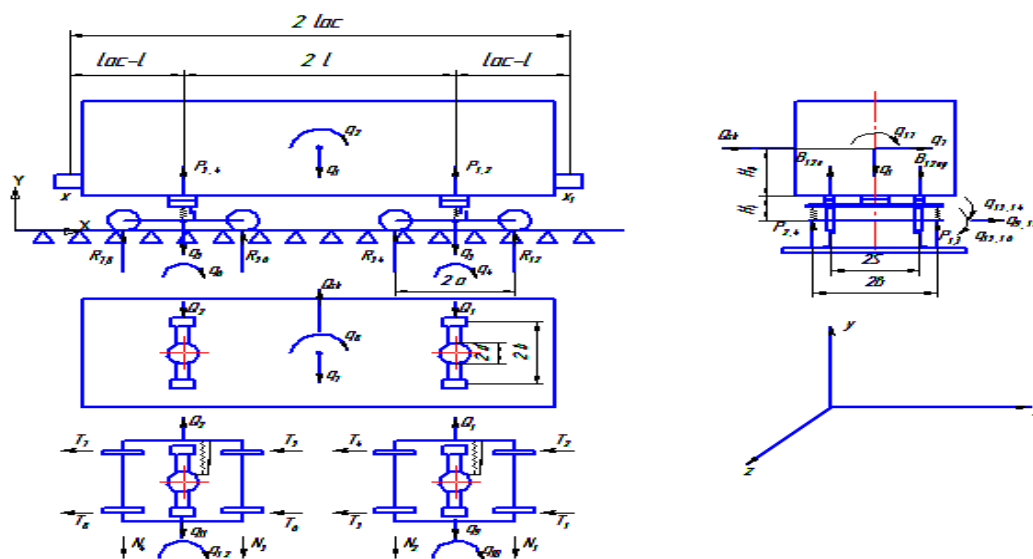


Рис. 1. Загальна розрахункова схема динамічної підсистеми «екіпаж»

При проходженні колесом рейкового стику без вертикальної сходинки (рис. 2) максимальну силу удару можна визначити за формулою [12–14]

$$R_{y\partial 1-8} = \mu v_{y\partial} \sqrt{\frac{C_k \cdot C_n \cdot m_{кол} \cdot m_p}{(C_k + C_n) \cdot (m_{кол} + m_n)}}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт, який враховує місце розташування сили удару відносно нейтральної осі рейки;

$v_{y\partial}$ – вертикальна швидкість удару колеса;

C_k – контактна жорсткість між колесом та рейкою;

C_n – жорсткість колії при співударі;

$m_{кол}, m_p$ – еквівалентні маси колеса та колії, які беруть участь в співударі.

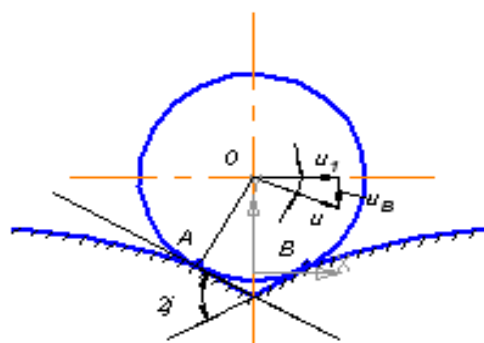


Рис. 2. Кінематична схема проходження стику колесом

Параметри $m_{кол}$ та m_p визначаються за формулами

$$m_{кол} = 0,5 \cdot n \cdot m_{к-1}, \quad (2)$$

$$m_p = 0,5 \cdot l_p \cdot m_{поз}, \quad (3)$$

де $m_{к-1}$ – маса одного колеса екіпажа, кг;
 n – частка участі маси колеса до кінця наростання сили в співударі;

l_p – довжина рейки, що бере участь в коливанні до кінця співудару (1 ÷ 1,6 м при залізобетонних і 1,5 ÷ 2,2 м при дерев'яних шпалах);

$m_{поз}$ – погонна маса рейки, кг/м.

Контактна жорсткість між колією та рейкою [15] приймається рівною $C_k = 10^8$ н/м. Жорсткість колії при співударі C_n повинна враховувати спільну роботу рейки та підрейкової основи. Професор Е. І. Даниленко [15] пропонує визначити цей параметр за формулою

$$C_n = (64 \cdot E \cdot I)^{1/3} \cdot (U_y)^{3/4}, \quad (4)$$

де E – модуль пружності рейкової сталі ($2,1 \cdot 10^5$ МПа);

I – момент інерції рейки при роботі на вертикальний вигин;

U_y – модуль пружності підрейкової основи.

Значення коефіцієнта μ у формулі (1) слід приймати рівним $\mu = 1$ при визначенні сили удару $R_{y\delta}$, який приведено до нейтральної осі рейки.

Вертикальна швидкість удару колеса в рейку (рис. 3) визначається за формулою

$$v_{y\delta} = v \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

де v – горизонтальна швидкість руху екіпажа;

φ – кут нахилу пружної лінії до початкового положення.

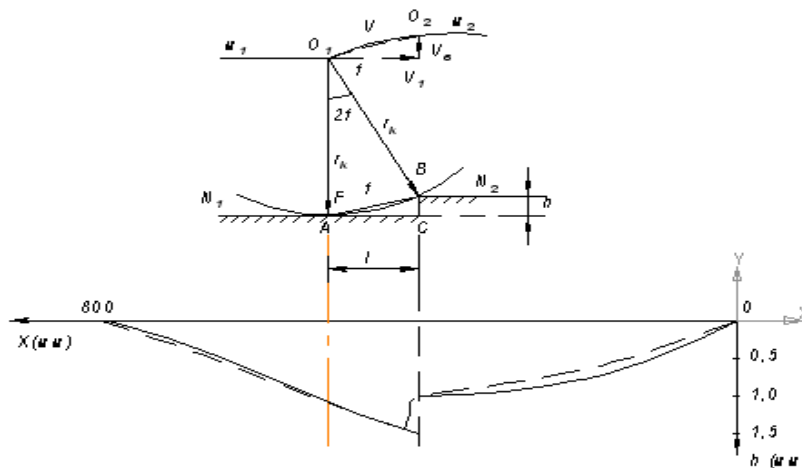


Рис. 3. Рух колеса через вертикальну сходинку в стикі

Параметр φ за даними досліджень професора Е. І. Даниленка [15] для

стикової нерівності може бути знайдено за виразом:

$$\varphi = \frac{\bar{P}_{дин}}{4k} \cdot \frac{2}{(1 + \gamma_{cm} \cdot k) \cdot (1 + \frac{\delta}{2k^3}) + 1} \cdot \frac{\gamma_{cm}}{EI}, \quad (6)$$

де $\bar{P}_{дин}$ – середньодинамічне значення вертикальної сили, яка діє на рейку;

k – коефіцієнт відносної жорсткості основи та рейки;

δ – коефіцієнт впливу зближення стикових шпал на жорсткість рейкового стику;

γ – кутова жорсткість стану.

Решта позначень колишня.

Значення коефіцієнта δ визначається рівнянням

$$\delta = \frac{l_m - l_{уст}}{2} \cdot \frac{U}{EI}, \quad (7)$$

де l_m – відстань між осями шпал;

$l_{уст}$ – відстань між осями шпал у стику.

Жорсткість стику $\gamma_{ст}$ можна визначити за формулою, яка запропонована професором Е. І. Даниленком [15], залежно від характеристик вертикальної жорсткості рейок, основи і характеристики елементів стику

$$\gamma_{ст} = \frac{4EI \cdot k^2}{\frac{\bar{P}_{дин}}{Z_{max}} - 4EI \cdot k^3 - 4EI \cdot \delta} - \frac{1}{k}. \quad (8)$$

При наявності сходинки у стику максимальна ударна сила взаємодії визначається виразом (1). У цьому випадку вертикальну швидкість удару треба розраховувати за формулою (5), де φ – кут удару, може бути знайдений за допомогою рівняння (рис. 3)

$$\varphi = \arcsin \sqrt{\frac{h}{2r_k}}, \quad (9)$$

де h – величина сходинки;

r_k – радіус колеса.

Враховуючи вищенаведене, розглянемо вертикальні сили взаємодії підсистем «екіпаж» і «колія» з урахуванням прийнятих допущень про пружно-дисипативні властивості колії і дію вертикальних динамічних сил в зоні стиків:

$$R_i = C_\epsilon(y_p) + \beta_\epsilon(\dot{y}_p) \cdot \text{sign } \dot{y}_p, \quad (10)$$

де C_ϵ – приведена вертикальна жорсткість рейкової нитки в точці контакту колії і рейки, Н/м;

y_p – вертикальний вигин рейки під колесом, м;

β_ϵ – параметр розсіювання енергії конструкцією колії у вертикальній площині $\left(\frac{H \cdot c^2}{M}\right)$.

Загальний підхід до розрахунку нерозрізних балок за допомогою рівнянь трьох моментів [15] поширюється і на випадок розрахунку балок на пружних опорах. Тут замість рівнянь трьох опорних моментів розглядаються рівняння п'яти опорних моментів. Під жорсткістю опори C_{yi} будемо розуміти навантаження, яке потрібно для одиничного осідання цієї опори, Н/м.

Для балки, що має постійну жорсткість EI , з умови нерозривності пружної лінії, рівняння п'яти опорних моментів буде мати вигляд

$$M_{n-2}\theta_{n,n-2} + M_{n-1}\theta_{n,n-1} + M_n\theta_{n1,n} + M_{n+1}\theta_{n,n+1} + M_{n+2} \cdot \theta_{n,n+2} + \Delta_{n,p} = 0. \quad (11)$$

В окремому випадку рівнопрогонової балки ℓ_u і постійної жорсткості опор C_y рівняння п'яти моментів набуває вигляду

$$M_{n-2} \cdot \alpha + M_{n-1}(1 - 4\alpha) + M_n(4 + 6\alpha) + M_{n+1} \cdot (1 - 4\alpha) + M_{n+2} \cdot \alpha = \frac{6(B_n^\phi + A_{n+1}^\phi)}{\ell} - \alpha \ell (R_{n-1}^0 - 2R_n^0 + R_{n+1}^0) \quad (12)$$

де $R_{n-1}^0, R_n^0, R_{n+1}^0$ – реакції опор $n-1, n, n+1$ в припущенні шарнірів над опорами, які викликані зовнішнім навантаженням;

A_{n+1}^ϕ, uB_n^ϕ – фіктивні реакції опори n в n -му і $n+1$ прогонах [14].

Розглянемо роботу рейкової нитки під дією пружної становлячої R_{yn} вертикальної сили взаємодії підсистем «екіпаж» і «колія». Це сила, яка рухається уздовж колії із швидкістю V .

Розрахунки колії і численні експериментальні роботи [5, 12, 14, 17] показали, що осідання опор, які знаходяться далі 2,5 м від точки дії вертикальної сили, складають величини 3-го порядку малості в порівнянні з осіданнями опор, які знаходяться ближче ніж 0,5 м від цієї точки. Тому рейкову нитку розглядаємо як дев'ятипрогонову балку на десяти пружних опорах (рис. 5) [10].

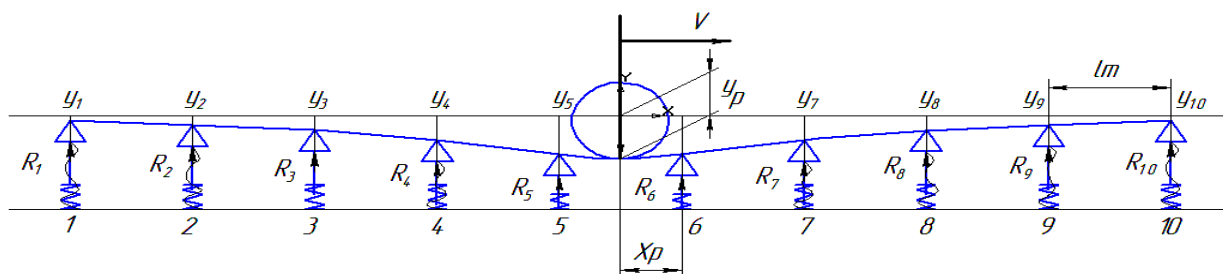


Рис. 4. Розрахункова схема рейкової нитки на пружних опорах під дією рухомої сили: y_i – прогинання рейки на опорах; y_p – прогинання рейки під колесом

Відстані X_p від опори 5 до точки прикладання сили R_{yn} змінні і визначаються для прийнятої розрахункової схеми співвідношенням

$$X_p = \ell_u \left(1 - \left\{ \frac{X_n}{\ell_u} \right\} \right), \quad (13)$$

де ℓ_u – відстані між опорами, м;

$\left\{ \frac{X_n}{\ell_u} \right\}$ – дробова частина

співвідношення $\frac{X_n}{\ell_u}$;

X_n – поточна абсциса колісної пари, м.

Змінна величина приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки в точці контакту колеса і рейки, яку треба знайти, з урахуванням прийнятих позначень, буде визначатися так:

$$C_\theta = \frac{R_{yn}}{y_p}, \text{ Н/м}, \quad (14)$$

де y_p – вигин рейки під колесом.

Запишемо рівняння п'яти моментів (12) для кожної з десяти опор:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{для } 1^{\text{ї}} \text{ опори : } M_1(4 + 6\alpha) + M_2(1 - 4\alpha) + M_3\alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 2^{\text{ї}} \text{ опори : } M_1(1 - 4\alpha) + M_2(4 + 6\alpha) + M_3(1 - 4\alpha) + M_y\alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 3^{\text{ї}} \text{ опори : } M_1\alpha + M_2(1 - 4\alpha) + M_3(4 + 6\alpha) + M_4(1 - 4\alpha) + M_5 \cdot \alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 4^{\text{ї}} \text{ опори : } 0 + M_2\alpha + M_3(1 - 4\alpha) + M_4(4 + 6\alpha) + M_5(1 - 4\alpha) + M_6\alpha + 0 \dots = \\
 &\quad = -a(\ell_u - x_p) \\
 &\text{для } 5^{\text{ї}} \text{ опори : } \dots 0 + M_3\alpha + M_4(1 - 4\alpha) + M_5(4 + 6\alpha) + M_6(1 - 4\alpha) + M_7\alpha + 0 \dots = \\
 &\quad = -\frac{R_{yni}}{\ell_u^2} x_p (\ell_u - x_p) \cdot x_p (2\ell_u - x_{pi}) + R_{yni} [\alpha(2\ell_u - 3x_p)] \\
 &\text{дл } 6^{\text{ї}} \text{ опори : } 0 + M_4\alpha + M_5(1 - 4\alpha) + M_6(4 + 6\alpha) + M_7(1 - 4\alpha) + M_8\alpha + 0 = \\
 &\quad = -\frac{R_{yni}}{\ell_u^2} (\ell_u - x_{pi}) \cdot x_{pi} (\ell_u + x_p) + R_{yni} [\alpha(3x_p - \ell_u)] \\
 &\text{для } 7^{\text{ї}} \text{ опори : } \dots 0 + M_5\alpha + M_6(1 - 4\alpha) + M_7(4 + 6\alpha) + M_8(1 - 4\alpha) + M_9\alpha + 0 \dots = -\alpha x_p \\
 &\text{для } 8^{\text{ї}} \text{ опори : } \dots 0 + M_6\alpha + M_7(1 - 4\alpha) + M_8(4 + 6\alpha) + M_9(1 - 4\alpha) + M_0\alpha = 0 \\
 &\text{для } 9^{\text{ї}} \text{ опори : } \dots 0 + M_7\alpha + M_8(1 - 4\alpha) + M_9(4 + 6\alpha) + M_{10}(1 - 4\alpha) = 0 \\
 &\text{для } 10^{\text{ї}} \text{ опори : } \dots 0 + M_8\alpha + M_9(1 - 4\alpha) + M_{10}(4 + 6\alpha) = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

У матричній формі цю систему можна записати у вигляді [15]

$$A \cdot M = -H, \quad (16)$$

де A – матриця жорсткостей рейкової нитки;

M – матриця - стовпець невідомих опорних моментів;

H – матриця - стовпець зовнішнього навантаження.

$$A = \begin{pmatrix}
 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \alpha & 1 + 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha & \alpha \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha & 1 - 4\alpha \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1 - 4\alpha & 4 + 6\alpha
 \end{pmatrix} \quad (17)$$

За формулою Крамера елементи M_i матриці 16 можна визначити

$$M_i = \frac{\Delta_j}{\Delta}. \quad (18)$$

Матриця жорсткостей рейкової нитки (16), складена для розрахункової схеми (рис. 4), отримана з умови постійної жорсткості рейки у всіх прогонах.

Однак, в зоні рейкового стику жорсткість рейкової нитки буде іншою. На цей параметр впливатимуть значення сумарної жорсткості стикових накладок, рівень натягу стикових болтів, наявність стикового зазора.

Для врахування такої особливості улаштування колії в зоні стику розглянемо

роботу рейкової нитки при наявності рейкового стику під дією вертикальної сили. Оскільки зміна згинальної жорсткості рейки впливає на приведену до точки контакту вертикальну жорсткість залежно від відстані від точки контакту до стику, необхідно розглянути декілька розрахункових схем.

У першому випадку вертикальна сила знаходиться в п'ятому прогоні від стику. Розрахункова схема в цьому випадку буде мати вигляд, як на рис. 5.



Рис. 5. Розрахункова схема першого варіанта навантаження

Запишемо рівняння п'яти моментів для кожної з десяти опор для стику:

$$\begin{aligned}
 &\text{для } 1^{\text{i}} \text{ опори: } M_1(4 + 6\alpha) + M_2(1 - 4\alpha) + M_3\alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 2^{\text{i}} \text{ опори: } M_1(1 - 4\alpha) + M_2(4 + 6\alpha) + M_3(1 - 4\alpha) + M_y\alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 3^{\text{i}} \text{ опори: } M_1\alpha + M_2(1 - 4\alpha) + M_3(4 + 6\alpha) + M_4(1 - 4\alpha) + M_5 \cdot \alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 4^{\text{i}} \text{ опори: } 0 + M_2\alpha + M_3(1 - 4\alpha) + M_4(4 + 6\alpha) + M_5(1 - 4\alpha) + M_6\alpha + 0 \dots = 0 \\
 &\quad \dots 0 + M_3\alpha + M_4(1 - 4\alpha) + M_5(4 + 6\alpha) + M_6(1 - 4\alpha) + M_7\alpha + 0 \dots = \\
 &\text{для } 5^{\text{i}} \text{ опори: } = -\frac{R_{yni}}{\ell_{uu}^2} x_p (\ell_{uu} - x_p) \cdot x_p (2\ell_{uu} - x_{pi}) + R_{yni} [2\alpha x_{pi} - \alpha(\ell_{uu} - x_{pi})] \\
 &\quad 0 + M_4\alpha + M_5(1 - 4\alpha) + M_6(4 + 6\alpha) + M_7(1 - 4\alpha) + M_8\alpha + 0 \dots = \\
 &\text{для } 6^{\text{i}} \text{ опори: } = -\frac{R_{yni}}{\ell_{uu}^2} (\ell_{uu} - x_{pi}) \cdot x_{pi} (2\ell_{uu} - x_{pi}) + R_{yni} [2\alpha(\ell_{uu} - x_{pi}) - \alpha x_{pi}] \\
 &\text{для } 7^{\text{i}} \text{ опори: } \dots 0 + M_5\alpha + M_6(1 - 4\alpha) + M_7(4 + 6\alpha) + M_8(1 - 4\alpha) + M_9\alpha_{st} + 0 \dots = 0 \\
 &\text{для } 8^{\text{i}} \text{ опори: } \dots 0 + M_6\alpha + M_7(1 - 4\alpha) + M_8(4 + 6\alpha) + M_9(1 - 4\alpha_{st}) + M_0\alpha_{st} = 0 \\
 &\text{для } 9^{\text{i}} \text{ опори: } \dots 0 + M_7\alpha + M_8(1 - 4\alpha) + M_9(4 + 6\alpha_{st}) + M_{10}(1 - 4\alpha_{st}) = 0 \\
 &\text{для } 10^{\text{i}} \text{ опори: } \dots 0 + M_8\alpha + M_9(1 - 4\alpha_{st}) + M_{10}(4 + 6\alpha_{st}) = 0
 \end{aligned} \tag{19}$$

В цьому випадку матриця жорсткостей матиме вигляд:

$$A_3 = \begin{pmatrix} 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1-4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha & 1+4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 1-4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha & 1-4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha & 1-4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1-4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha & \alpha_{st} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1-4\alpha & 4+6\alpha & 1-4\alpha_{st} & \alpha_{st} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1-4\alpha & 4+6\alpha_{st} & 1-4\alpha_{st} & \alpha_{st} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 1-4\alpha_{st} & 4+6\alpha_{st} \end{pmatrix} \quad (20)$$

Тут всі позначення колишні.

В цих формулах α_{st} – коефіцієнт відносної жорсткості рейки і рейкової опори в зоні стикового прогону

$$\alpha_{st} = \frac{6EI_{st}}{\ell_{st} \cdot C_y}, \quad (21)$$

де E – модуль пружності рейкової сталі;

C_y – вертикальна жорсткість рейкової опори;

ℓ_{st} – відстані між опорами в стиковому прогоні;

I_{st} – момент інерції рейкової нитки у стиковому прогоні.

Далі, по мірі віддалення від стикового прогону, матриці будуть симетрично змінюватися у зворотний бік.

Складаючи визначники матриці жорсткості і визначники матриці зовнішнього завантаження, одиничні опорні моменти можна розрахувати за формулою Крамера (18).

Знаючи одиничні опорні моменти, розраховуються пружні одиничні прогини опор, одиничні прогини в точці дії навантаження (22) і шукані приведені вертикальні жорсткості рейкової нитки (формула 13). Ці значення використовуються в розрахунках вертикальних динамічних сил взаємодії за описаною вище методикою.

$$y_{одp} = y_5 \frac{x_p}{\ell_u} + y_6 \frac{(\ell_u - x_p)}{\ell_u} + \frac{(\ell_u - x_p)^2 x_p^2}{3EI \ell_u}. \quad (22)$$

В цій формулі:

y_i – пружні просідання рейкових опор;

ℓ_u – відстані між опорами;

x_p – відстань від найближчої опори до точки прикладання сили;

$R_{од yп}$ – відстань від найближчої опори до точки прикладання сили.

Для виконання досліджень чисельними методами динамічних вертикальних сил взаємодії рухомого складу і колії в зоні рейкових стиків за методикою, яка викла-

дена вище, окрім характеристик рейок, які є загальновідомими, характеристик жорсткості та дисипації рейкових опор, необхідно знати жорсткість рейкової нитки в зоні стикового прогону. Ця величина є змінною, повинна залежати від моменту інерції рейок та двох стикових накладок відносно горизонтальної осі. На неї можуть впливати рівень натягування гайок стикових болтів, стиковий зазор та відстань між стиковими опорами – шпалами.

Висновки. Наведена вище методика розрахунку динамічних сил, які виникають при проходженні коліс рейкових стиків, була реалізована в програмній системі Mathcad.

Вона дозволяє визначити приведену до точки контакту колеса і рейки жорсткість рейкової нитки, що дозволяє визначати вертикальні динамічні сили взаємодії колії і рухомого складу з

урахуванням змін параметрів згинальної жорсткості рейкової нитки в зоні стику.

Слід підкреслити, що вплив цих параметрів на сили взаємодії колії і рухомого складу безперервно змінюється в процесі руху. На перебіг цих процесів впливають як жорсткості рейкових опор, так і жорсткості рейок в зоні рейкового стику і поза стиком.

Список використаних джерел

1. Eller, B. Railway construction [Text] / Sz. Fisher, B. Eller, Z. Kada, A. Németh // Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2015. – 334 p.
2. Otero, J A mathematical model to study railway track dynamics for the prediction of vibration levels generated by rail vehicles [Text] / J Otero, M.A. Martinez, de los Santos, S.Cardona // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F:Journal of Rail and Rapid Transit. – 2011. – P. 62–71.
3. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1986. – 589 с.
4. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колёс [Текст] / М. Ф. Вериго. – М. : Транспорт, 1997. – 207 с.
5. Коган, А. Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А. Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. – М. : Транспорт, 1969. – 206 с.
6. Коган, А. Я. Поперечные горизонтальные силы, действующие на путь в прямых участках [Текст] / А. Я. Коган // Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1979. – № 619. – С. 78-88.
7. Лазарян, В. А. Влияние параметров пути и тележки на силы взаимодействия [Текст] / В. А. Лазарян // Труды ДИИТа. – Днепропетровск : ДИИТ, 1968. – № 68. – С. 22-28.
8. Белых, К. Д. О нагрузках от колес при расчете железнодорожного пути [Текст] / К. Д. Белых, М. К. Уманов, Г. Н. Малышко // Металлургическая промышленность. – 1976. – № 5. – С. 78-79.
9. Darenskiy, A. N. Mathematical model of the rail track presented as a bar on elastic and dissipative supports under the influence of moving loads [Text] / A. Darenskiy, V. Vitolberg, D. Fast, A. Klymenko, Yar. Leibuk // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – 116 p.
10. Даренський, О. М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст]: монографія / О. М. Даренський. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.
11. Даренський, О. М. Визначення приведеної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] / О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць, В. Г. Вітольберг // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 151–162.
12. Даніленко, Е. І. Залізнична колія [Текст]: підруч. для вищ. навч. закл. / Е. І. Даніленко. – К. : Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
13. Wang, P. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout [Electronic resource] / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8, №1. – P. 1-14. – Available at: <http://ade.sagepub.com/content/8/1/1687814015623696.full.pdf+html>. – Title from the screen. – Accessed: 14.03.2016.
14. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

15. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість: ЦП-0117 [Текст] / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К. : Транспорт України, 2006. – 168 с.
16. Чихладзе, Е. Д. Будівельна механіка [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Е. Д. Чихладзе. – Харків : УкрДАЗТ, 2002. – 305 с.
17. Першин, С. П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С. П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – М. : Транспорт, 1996. – № 8. – С. 8-10.
-

Бугаєць Наталія Володимирівна канд. техн. наук, доцент кафедри колій та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.
Покотецький Ігор Орестович, магістрант кафедри колій та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту.
Коваль Володимир Миколайович, магістрант кафедри колій та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту.

Бугаец Наталья Владимировна канд. техн. наук, доцент кафедры путей и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057)730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.
Покотецкий Игорь Орестович, магистрант кафедры путей и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.
Коваль Владимир Николаевич, магистрант кафедры путей и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Bugaec N. V., PhD (Tech.), Associate professor, Department of Track and Track Facilities, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.
Pokotecky Igor Orestovich, master, Ukrainian State University of Railway Transport.
Koval Volodimir Nikolaevich, master, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.

УДК 621.314

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ НАПРУГИ З РІЗНИМИ ТИПАМИ МОДУЛЯЦІЇ

Кандидати техн. наук В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій, аспіранти В. Є. Кавун (УкрДУЗТ), А. В. Машура (НТУ «ХП»), інж. Д. А. Гордієнко (ПрАТ «ЕЛАКС»), магістрант В. Р. Цибульник

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ МОДУЛЯЦИИ

Кандидаты техн. наук В. П. Нерубацкий, А. А. Плахтий, аспиранты В. Е. Кавун (УкрГУЖТ), А. В. Машура (НТУ «ХПИ»), инж. Д. А. Гордиенко (ЧАО «ЭЛАКС»), магистрант В. Р. Цыбульник

ANALYSIS OF INDICES OF ENERGY EFFICIENCY OF AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTERS WITH VARIOUS MODULATION TYPES

PhD (Tech.) V. P. Nerubatskyi, O. A. Plakhtiy, postgraduate students V. E. Kavun, A. V. Mashura, engineer D. A. Hordiienko, master V. R. Tsybulnyk

У статті наведено аналіз енергетичних характеристик та показників електромагнітної сумісності автономних інверторів напруги з різними типами модуляції. Розглянуто режими однократної модуляції зі 120-, 150- і 180-градусним керуванням, одностороння та двостороння ШІМ, а також перемодуляція в ШІМ. Подано порівняльний

аналіз реалізованих показників пульсації вхідного струму, синусоїдальності вихідного струму, значень статичних та динамічних втрат в силових ключах. Дані отримано шляхом імітаційного моделювання, а також розрахунку в спеціалізованій програмі MelcoSim від компанії Mitsubishi. Визначено, що режим перемодуляції дозволяє отримати найкращі показники якості вихідного струму інвертора.

Ключові слова: алгоритм, гармоніки, енергоефективність, інвертор напруги, керування, моделювання, модуляція, перетворювач.

В статье представлен сравнительный анализ энергетических показателей и показателей электромагнитной совместимости автономных инверторов напряжения с различными типами модуляции. Рассмотрены режимы однократной модуляции с 120-, 150- и 180-градусным управлением, односторонняя и двусторонняя ШИМ, а также режим перемодуляции в ШИМ. Приведен сравнительный анализ реализуемых показателей пульсации входного тока, синусоидальности выходного тока, величин статических и динамических потерь. Данные получены путём имитационного моделирования, а также расчёта в специализированной программе MelcoSim от компании Mitsubishi. Установлено, что режим перемодуляции позволяет получить наилучшие показатели качества выходного тока инвертора.

Ключевые слова: алгоритм, гармоніки, енергоефективність, інвертор напруги, управління, моделювання, модуляція, преобразователь.

In the article an analysis of energy characteristics and indices of electromagnetic compatibility of autonomous inverters of voltage with different types of modulation is given. Modes of single modulation with 120-, 150- and 180-degree control, one-way and two-way pulse-width modulation, as well as re-modulation mode are considered. The comparative analysis of the implemented parameters of the incoming current pulsation, sinusoidality of the output current, and the values of static and dynamic losses in power switches is presented. The data is obtained through simulation simulation, as well as calculation in the specialized program of MelcoSim from the company Mitsubishi. The obtained analytical expressions allow to determine the values of the amplitudes of higher harmonics in the forms of the output voltage and the output current of the autonomous voltage inverter under different algorithms of single modulation. It is established that the classical diagrams of the output voltage of the autonomous inverter voltage at 120- and 180-degree control are valid only for the resistive load and in the case of an RL load will have a distorted form. The dependencies of the output current THD, the THD of the output voltage, as well as the amplitude of the first harmonic of the output voltage on the value of the modulation coefficient are established. With the growth of the re-modulation coefficient, the amplitude of the output voltage increases, but with this there is an increase in the content of higher harmonics with frequencies lower than the frequency of pulse-width modulation. From the considered modulation algorithms in the autonomous voltage inverter, the smallest losses in the keys and the highest output power causes the mode of 180-degree control, and the best quality of the output voltage and current causes the mode of 150-degree control.

Keywords: algorithm, harmonics, energy efficiency, voltage inverter, control, simulation, modulation, converter.

Вступ. Автономний інвертор напруги (АІН) (рис. 1) є одним з найбільш поширених видів силових перетворювачів, які використовуються в різних галузях промисловості, що пов'язано з широким

впровадженням асинхронних двигунів (АД).

Найважливішим показником роботи АІН є енергоефективність, яка визначається такими показниками [3, 4, 6]:

- коефіцієнт корисної дії (ККД), що залежить від статичних і динамічних втрат в ключах, а також додаткових втрат, пов'язаних з опором провідників і живленням кіл керування;

- коефіцієнт пульсації і спектр вищих гармонік вхідного струму, від яких залежать додаткові втрати від вищих гармонік в лініях електропостачання;

- синусоїдальність вихідної напруги і

вихідного струму, від яких залежать додаткові втрати від вищих гармонік в навантаженні, яким найчастіше є асинхронний електродвигун.

Вищенаведені показники енергоефективності АІН залежать не тільки від обраної елементної бази IGBT- або MOSFET-транзисторів, але і від обраного алгоритму модуляції.

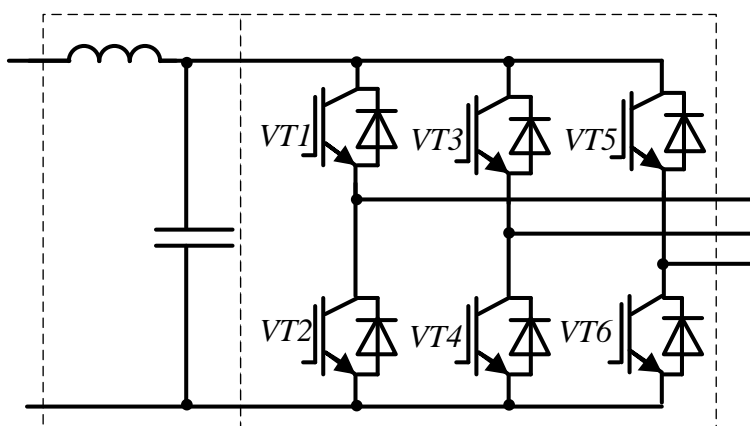


Рис. 1. Автономний інвертор напруги з вхідним LC фільтром

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі аналогові алгоритми модуляції стратегічно можна класифікувати на алгоритми, що використовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ), і алгоритми, що реалізують одноразову модуляцію. У свою чергу в широтно-імпульсній модуляції як опорні сигнали, так і сигнали завдання можуть бути різними. Існують односторонні і двосторонні опорні пилкоподібні сигнали в ШІМ [1, 2, 5]. Сигнал задання ШІМ може бути синусоїдальним, трапецеїдальним або реалізований в режимі предмодуляції або перемодуляції [7-11]. При цьому різні алгоритми модуляції обумовлюють досить різні динамічні втрати в ключах, різні показники синусоїдальності вихідної напруги і струму та різний коефіцієнт пульсації вхідного струму.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження

показників енергетичної ефективності АІН при реалізації різних алгоритмів модуляції. Завдання дослідження полягає у формуванні рекомендацій щодо використання різних алгоритмів модуляції в різних режимах роботи.

Основна частина дослідження. Для дослідження енергетичних показників АІН з досліджуваними алгоритмами модуляції в програмі Matlab була розроблена модель АІН, в якому реалізовані різні алгоритми модуляції. Моделювання проводилося з такими параметрами: напруга в ланці постійного струму 3 кВ; індуктивність навантаження 1 мГн, опір навантаження 2 Ом, частота першої гармоніки вихідної напруги 50 Гц. Імітаційну модель автономного інвертора напруги з досліджуваними системами керування наведено рис. 2.

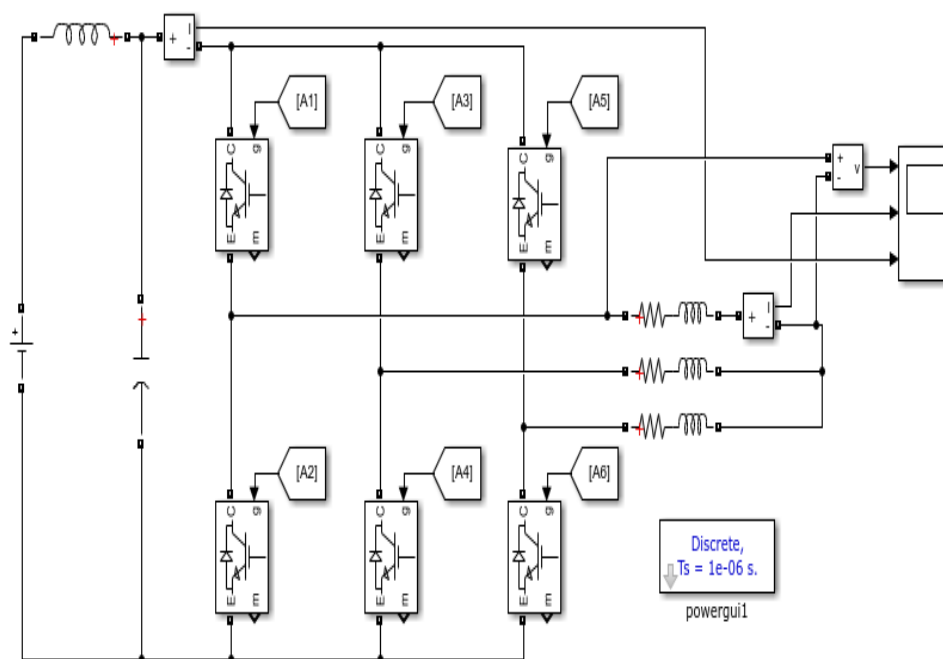


Рис. 2. Імітаційна модель АІН

Режими однократної модуляції є одними з історично перших алгоритмів модуляції в системах керування АІН, а саме 120-, 150- та 180-градусних алгоритмів керування [1, 2]. Перевагою даних алгоритмів керування АІН є низька частота комутації силових ключів, рівна частоті вихідної напруги, що відповідно веде до низьких динамічних втрат у силових ключах та, як результат, реалізації достатньо високого ККД. Проте не варто забувати і про супутні недоліки режимів однократної модуляції: відносно високий вміст вищих низькочастотних гармонічних компонентів у вихідній напрузі та струмі, а також відсутність можливості регулювання амплітуд вихідної напруги та струму. Таким

чином, можна зробити висновок про оптимальність використання режимів однократної модуляції при переході на номінальний режим роботи перетворювача.

У режимі 120-градусного керування АІН в кожний момент часу одночасно у провідному стані розташовані два силові ключі АІН, при цьому кожен силовий ключ знаходиться в провідному стані протягом однієї третини періоду модульованої вихідної напруги. Сигнали керування силовими ключами АІН в режимі 120-градусного керування наведено на рис. 3.

При розкладанні форми вихідної фазної напруги u_ϕ АІН в режимі 120-градусного керування в ряд Фур'є отримуємо таку функцію:

$$u_\phi = U_1 \cdot \sin(\omega t) + \sum_{n=5}^{\infty} U_n \cdot \sin(n \cdot \omega t), \quad (1)$$

де U_1 – амплітуда першої гармоніки вихідної напруги;

n – порядок вищих гармонік в спектрі вихідної напруги.

При цьому амплітуда n -ї гармоніки вихідної фазної напруги в режимі 120-градусного керування може бути визначена згідно з виразом

$$U_n = \frac{U_d}{1,814 \cdot n}. \quad (2)$$

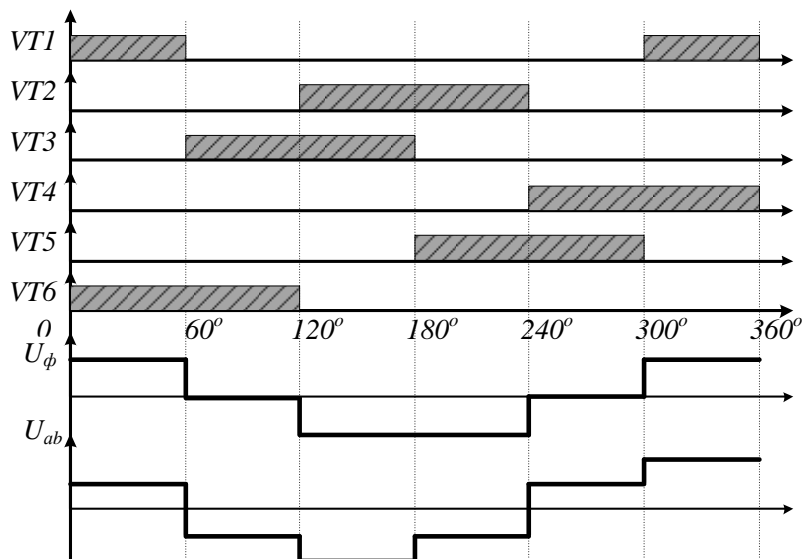


Рис. 3. Сигнали керування ключами АІН і форма вихідної напруги в режимі 120-градусного керування

Навантаженням АІН у більшості випадків є АД. Подавши АД у вигляді еквівалентного RL -навантаження з комплексним опором \overline{Z}_n , можна отримати вираз, що дозволяє визначити амплітуду будь-якої з вищих гармонік:

$$I_n = \frac{U_n}{Z_n}, \quad (3)$$

де I_n – амплітуда n -ї гармоніки вихідного струму;

U_n – амплітуда n -ї гармоніки вихідної фазної напруги.

Результати моделювання АІН при реалізації 120-градусного керування з R і RL -навантаженням наведено на рис. 4.

У режимі 180-градусного керування у провідному стані одночасно знаходяться три ключі інвертора, при цьому кожен з

ключів знаходиться у провідному стані протягом половини інтервалу провідного стану. Сигнали керування силовими ключами АІН в режимі 180-градусного керування і форма вихідної фазної напруги АІН наведені на рис. 5.

Частоти вищих гармонік вихідної напруги АІН в режимі 120- і 180-градусного керування будуть ті ж, а саме кратні $6 \cdot f_1 \pm 1$, де f_1 – частота першої гармоніки вихідної напруги. Однак амплітуди вищих гармонік будуть відрізнятися. Амплітуда n -ї гармоніки вихідної фазної напруги в режимі 180-градусного керування може бути отримана виходячи з виразу

$$U_n = \frac{2 \cdot U_d}{\pi \cdot n}, \quad (4)$$

де U_d – напруга в ланці постійного струму.

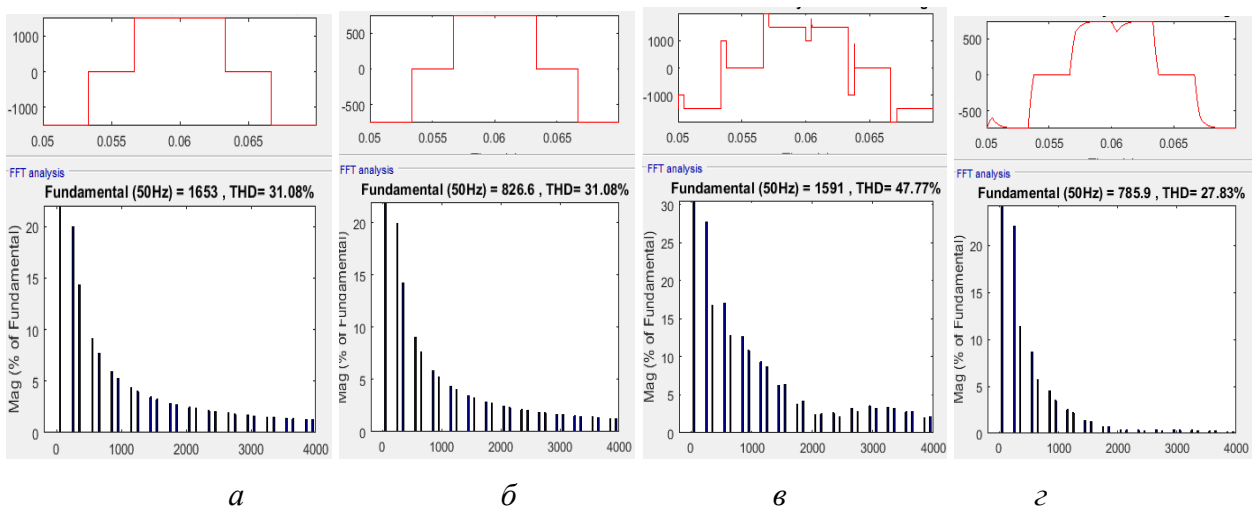


Рис. 4. Результати Фур'є-аналізу за результатами моделювання АІН при реалізації 120-градусного керування:

a – u_{ϕ} АІН при R -навантаженні; *б* – i_{ϕ} АІН при R -навантаженні;
в – u_{ϕ} при RL -навантаженні; *г* – i_{ϕ} при RL -навантаженні

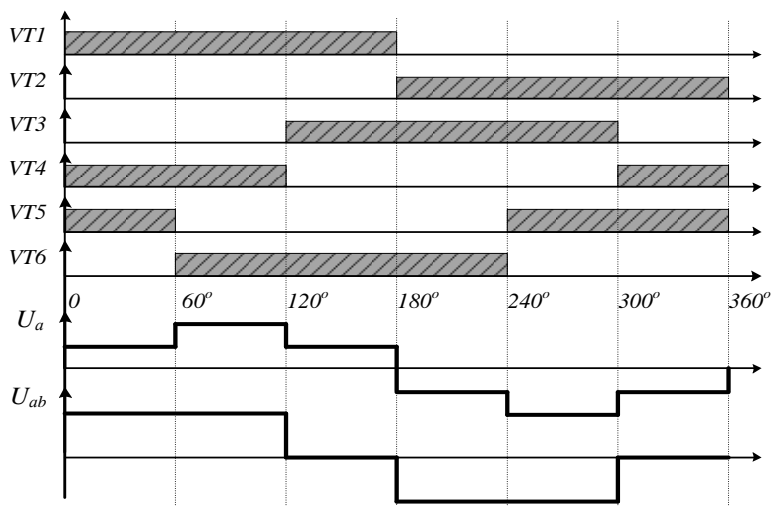


Рис. 5. Сигнали керування ключами АІН і форма вихідної напруги фази A в режимі 180-градусного керування

Таким чином, в режимі 180-градусного керування при тих же параметрах напруги живлення і при тому ж навантаженні амплітуда першої гармоніки вихідної напруги буде значно вище (рис. 6).

У режимі 150-градусного керування ключі знаходяться у провідному стані протягом 150 градусів, тобто 5/12 від періоду вихідної напруги. Сигнали керування силовими ключами АІН в режимі 150-градусного керування наведено на рис. 7.

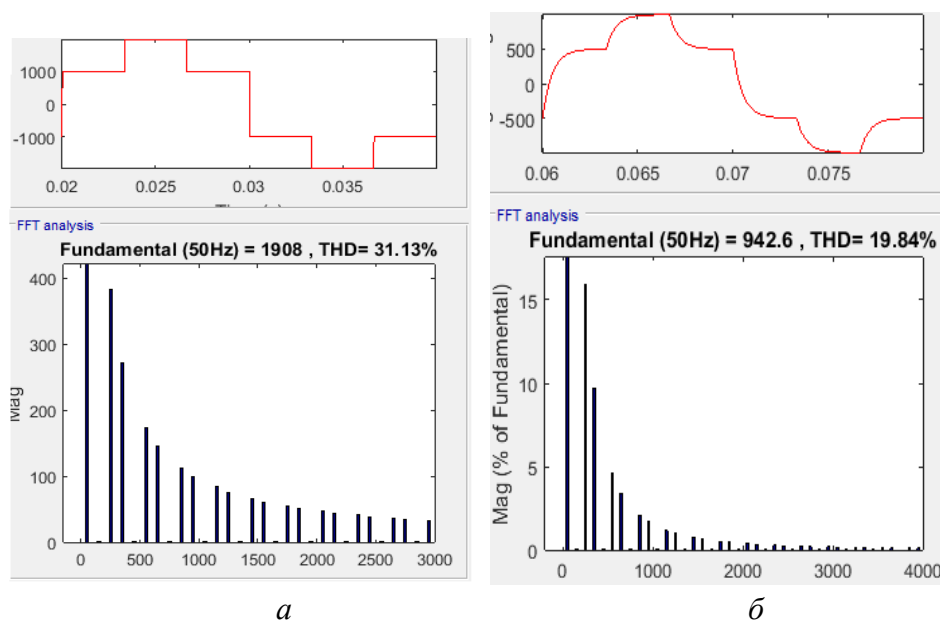


Рис. 6. Результати Фур'є-аналізу за результатами моделювання АІН при реалізації 180-градусного керування: а – u_ϕ АІН; б – i_ϕ АІН

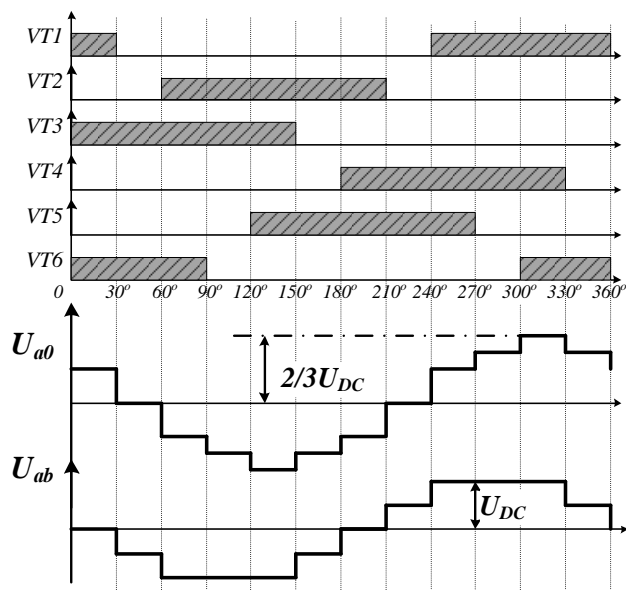


Рис. 7. Сигнали керування ключами АІН і форма вихідної напруги фази А в режимі 150-градусного керування

Відмінною особливістю режиму 150-градусного керування є те, що у вихідній напрузі амплітуди гармонік, непарних частотам $6 \cdot f_1 \pm 1$ (тобто для ряду гармонік

$m = 5, 7, 17, 19$), і амплітуди гармонік, парних частотам $6 \cdot f_1 \pm 1$ (тобто для ряду гармонік $n = 11, 13, 23, 25$), описуються різними виразами:

$$U_{nч} = \frac{0,1645 \cdot U_d}{m}; \quad U_{nч} = \frac{0,614 \cdot U_d}{n}, \quad (5)$$

де U_{nc} – амплітуди вищих гармонік вихідної напруги, непарних частотам $6 \cdot f_1 \pm 1$;

U_{nc} – амплітуди вищих гармонік вихідної напруги, парних частотам $6 \cdot f_1 \pm 1$.

Фур'є-аналіз вихідної напруги і струму за результатами імітаційного моделювання АІН при реалізації 150-градусного керування наведено на рис. 8.

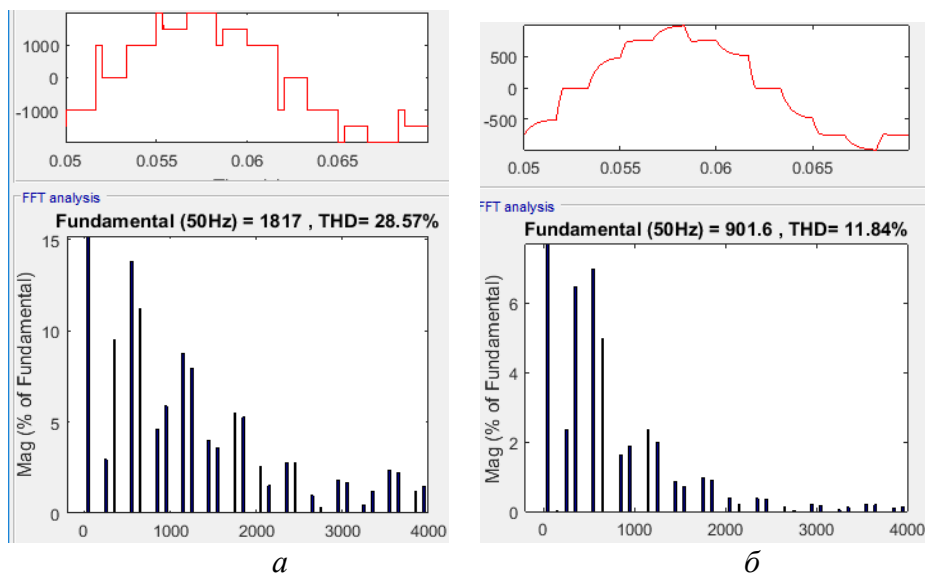


Рис. 8. Результати Фур'є-аналізу за результатами моделювання АІН при реалізації 150-градусного керування: *a* – u_{ϕ} АІН; *б* – i_{ϕ} АІН

Проведене моделювання показало, що класичні епюри вихідної напруги АІН в режимах 120- і 150-градусного керування, наведені в літературі [2, 3, 4], відрізняються від отриманих при моделюванні, що обумовлено тим, що в літературі наведено форми вихідної напруги виключно для резистивного навантаження. При цьому індуктивна складова навантаження спотворює форму вихідної напруги і погіршує показники її синусоїдальності, тим самим впливаючи і на показники синусоїдальності вихідної напруги.

Результати розрахунків статичних і динамічних втрат АІН в режимах однократної модуляції, а також результати моделювання енергетичних показників наведено в табл. 1.

Широтно-імпульсна модуляція в класичному аналоговому виконанні реалізується шляхом порівняння

високочастотного пилкоподібного сигналу і низькочастотного синусоїдального сигналу. Перевагою ШІМ перед однократною модуляцією є можливість регулювання амплітуди першої гармоніки вихідної напруги, і відповідно струму, що є необхідним як при скалярному, так і при векторному керуванні асинхронного електропривода.

Одностороння і двостороння ШІМ з синусоїдальним сигналом задання (рис. 9) є найбільш поширеними аналоговими видами модуляції і засновані вони на порівнянні пилкоподібного сигналу і синуса. Очевидним фактом є відмінність енергетичних показників АІН з односторонньою і двосторонньою ШІМ. Фур'є-аналізи форми вихідної напруги і вихідного струму АІН з односторонньою і двосторонньою ШІМ при частоті 1 кГц наведено на рис. 10.

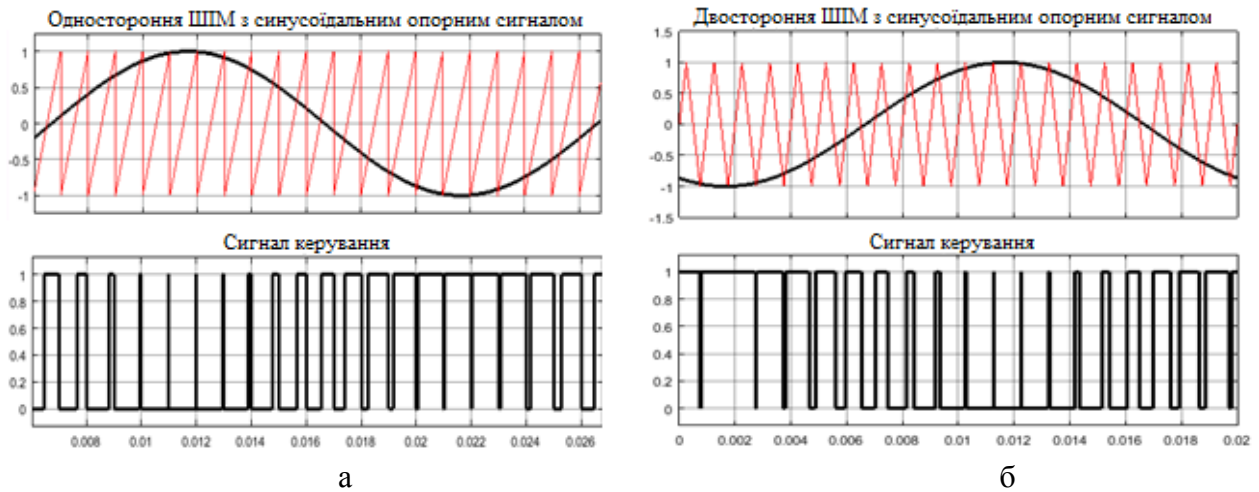


Рис. 9. Широтно-імпульсна модуляція:
a – з одностороннім опорним сигналом; *б* – з двостороннім опорним сигналом

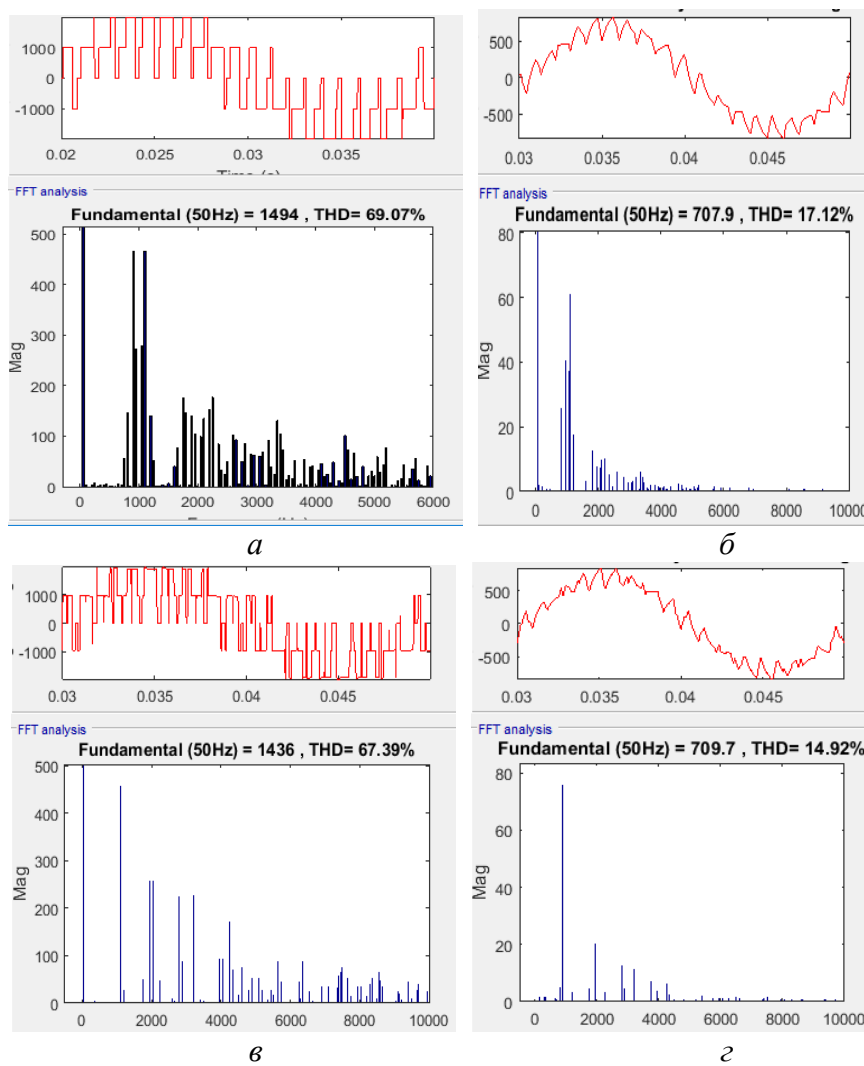


Рис. 10. Результати Фур'є-аналізу за результатами моделювання АІН:
a – $U_{вих}$ АІН при односторонній ШІМ; *б* – $I_{вих}$ при односторонній ШІМ;
в – $U_{вих}$ при двосторонній ШІМ; *г* – $I_{вих}$ при двосторонній ШІМ

Слід зауважити, що двостороння ШІМ забезпечує покращені, в порівнянні з однократною модуляцією і односторонньою ШІМ, коефіцієнт гармонічних спотворень вихідної напруги, рівний 67,39 %, і коефіцієнт гармонічних спотворень (він же total harmonic distortion – THD), рівний 14,92 %.

У режимі ШІМ-перемодуляції амплітуда синусоїдального сигналу задання навмисно задається вище амплітуди несучого пилкоподібного сигналу, тобто коефіцієнт модуляції $k > 1$.

$$k = \frac{A_{\sin}}{A_{\text{пил}}}, \quad (6)$$

де A_{\sin} – амплітуда синусоїдального сигналу задання;

$A_{\text{пил}}$ – амплітуда пилкоподібного несучого сигналу.

Режим ШІМ перемодуляції є більш енергоефективним, ніж класична синусоїдальна ШІМ. Це пов'язано з тим, що амплітуда першої гармоніки вихідної напруги в режимі перемодуляції прагне до значення при 180-градусному керуванні. При цьому поліпшується також і синусоїдальність вихідної напруги. Крім цього в режимі перемодуляції формуються інтервали часу, в які не відбувається комутація силових ключів, що веде до зниження числа перемикань силових ключів, а відповідно і зниження динамічних втрат.

Результати моделювання АІН в режимі перемодуляції при $k = 2$ наведено на рис. 11.

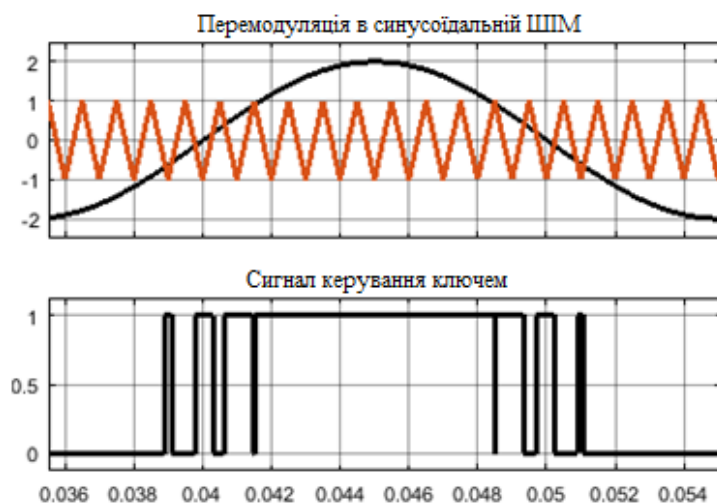


Рис. 11. Синусоїдальна ШІМ в режимі перемодуляції

Фур'є-аналіз вихідної фазної напруги та струму АІН в режимі перемодуляції при $k = 2$ наведено на рис. 12. Зі зростанням значення коефіцієнта модуляції k амплітуди перших гармонік вихідної напруги і вихідного струму будуть експоненціально прагнути до тих же значень при 180-градусному керуванні.

Залежність амплітуди першої гармоніки вихідного струму від значення коефіцієнта модуляції наведено на рис. 13.

Зі зростанням значення коефіцієнта модуляції k значення коефіцієнта гармонічних спотворень вихідної напруги буде експоненціально спадати до значення при режимі однократної модуляції. Залежність коефіцієнта гармонічних спотворень вихідної напруги АІН від коефіцієнта модуляції наведено на рис. 14.

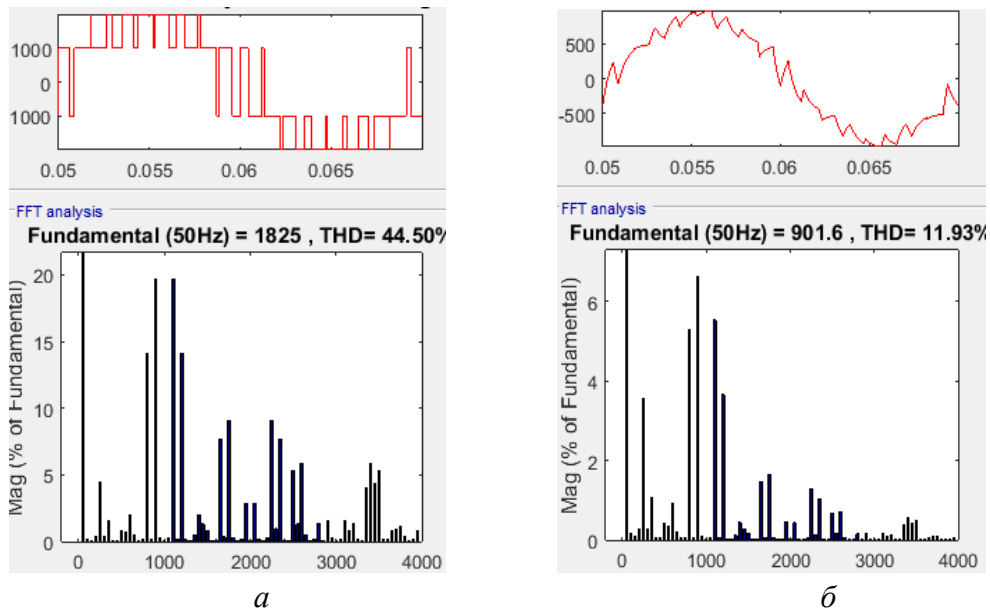


Рис. 12. Фур'є-аналіз АІН в режимі перемодуляції при $k = 2$: $a - U_{вих}$ АІН; $б - I_{вих}$ АІН

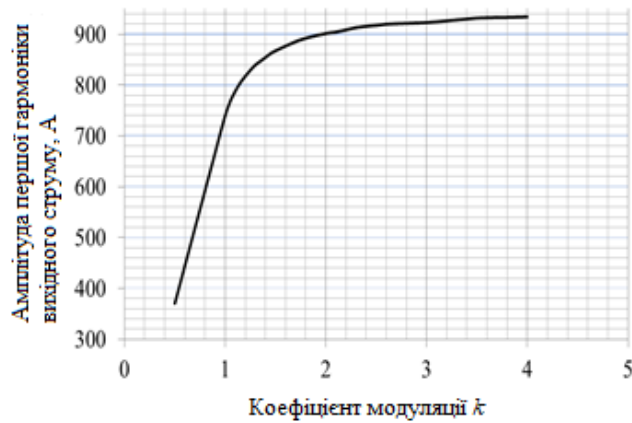


Рис. 13. Залежність амплітуди першої гармоніки вихідного струму від значення коефіцієнта модуляції

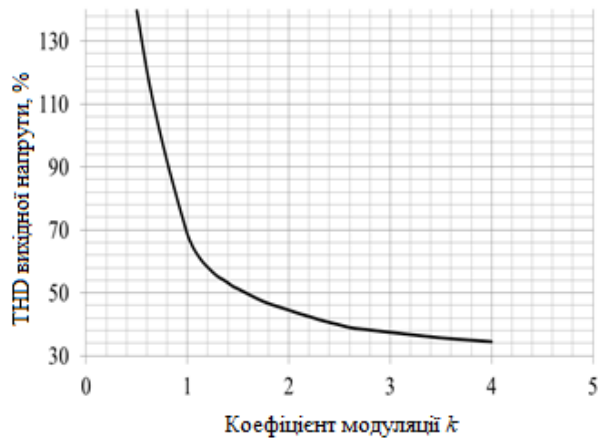


Рис. 14. Залежність ТНД вихідної напруги від коефіцієнта модуляції

Режим перемодуляції викликає зростання низькочастотних гармонічних складових. У свою чергу навантаження є фільтром низьких частот і гармоніки з меншими частотами пригнічує в меншій

мірі. У зв'язку з цим після певного значення k якість вихідної напруги почне погіршуватися. Залежність THD $I_{вих}$ від коефіцієнта модуляції наведено на рис. 15.

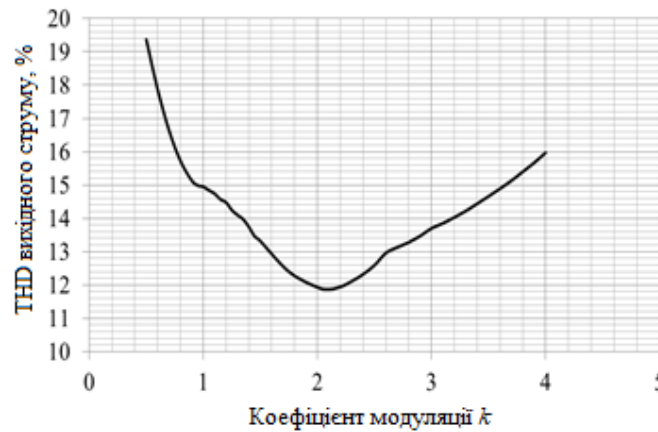


Рис. 15. Залежність THD вихідного струму від коефіцієнта модуляції

Таблиця

Параметри енергоефективності алгоритмів модуляції в дворівневому АІН

Показники	Однократна модуляція			Широтно-імпульсна модуляція		
	120°	180°	150°	1-стор. $k = 1$	2-стор. $k = 1$	2-стор. $k = 2$
Частота опорного сигналу, Гц	50	50	50	1000	1000	1000
Середня на періоді частота комутації, Гц	50	50	50	1000	1000	350
Амплітуда першої гармоніки вихідної напруги, В	1597	1909	1825	1500	1502	1825
Амплітуда першої гармоніки вихідного струму, А	785,9	942,6	901,6	741,4	742,5	901,6
Повна вихідна потужність АІН, кВА	1882,6	2699	2468,13	1668,1	1672,85	2468,1
THD вихідної фазної напруги, %	31,06* 47,64**	31,06	16,8* 28,56**	69,07	67,39	44,5
THD вихідного струму, %	27,71	19,77	11,84	17,12	14,92	11,93
Коефіцієнт пульсацій вхідного струму, %	31,08	17,61	20,59	70,23	68,79	21,47
Статичні втрати одного ключа (IGBT + діод), Вт	766	988	771	700	702	924,44
Динамічні втрати одного ключа (IGBT + діод), Вт	161	184	178	3087	3091	1241
Сумарні втрати в одному ключі АІН ΔP , Вт	927	1172	949	3787	3793	2165,4

Примітки: * для R-навантаження; ** для RL-навантаження.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що використання режиму перемодуляції доцільно до значення коефіцієнта перемодуляції $k < 2,1$, після якого спостерігається погіршення синусоїдальності вихідного струму.

Розрахунок статичних і динамічних втрат для розглянутих алгоритмів модуляції було проведено для IGBT-модулів типу CM1200HG-90R виробництва компанії Mitsubishi Electric з номінальною напругою 3,3 кВ і струмом 1200 А. Розрахунок було виконано у спеціалізованій програмі MelcoSim виробництва тієї ж компанії. Результати розрахунку наведено в таблиці.

Як видно з таблиці, найменші показники втрат в IGBT ключах і найбільшу амплітуду вихідної напруги і струму має алгоритм 180-градусного керування, а найкращі показники якості вихідної напруги і вихідного струму АІН обумовлює режим 150-градусного керування.

Висновки

1. Отримані аналітичні вирази дозволяють визначити значення амплітуд вищих гармонік в формах вихідної напруги і вихідного струму АІН при різних алгоритмах однократної модуляції.

2. Встановлено, що класичні епюри вихідної напруги АІН при 120- і 180-градусному керуванні справедливі виключно для резистивного навантаження і у разі RL-навантаження будуть мати спотворену форму.

3. Встановлено залежності THD Івих, THD Увих, а також амплітуди першої гармоніки вихідної напруги від значення коефіцієнта модуляції.

4. Визначено, що найкращі показники якості вихідного струму дозволяють отримати режими 150-градусного керування та режим перемодуляції.

5. Визначено, що найменші втрати в ключах, найбільший ККД та найбільшу вихідну потужність обумовлює режим 180-градусного керування.

Список використаних джерел

1. Зиновьев, Г. С. Основы силовой электроники [Текст] : учеб. пособие / Г. С. Зиновьев. – 3-е изд. – Новосибирск : Изд. НГТУ, 2004. – 672 с.
2. Михальський, В. М. Засоби підвищення якості електроенергії на вході і виході перетворювачів частот із широтно-імпульсною модуляцією [Текст] / В. М. Михальський. – К. : Інститут електродинаміки НАН України, 2013. – 340 с.
3. Нерубацький, В. П. Регульовальні характеристики активного чотириквadrантного перетворювача в режимах випрямлення і рекуперації [Текст] / Я. В. Щербак, О. А. Плахтій, В. П. Нерубацький // Технічна електродинаміка. – 2017. – № 6. – С. 26–31.
4. Нерубацький, В. П. Анализ энергетических характеристик активного четырехквadrантного выпрямителя с различными типами широтно-импульсной модуляции [Текст] / Я. В. Щербак, А. А. Плахтій, В. П. Нерубацький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – Вип. 27 (1249). – С. 221-225.
5. Borrega, M. Modeling and control of a master-slave PV inverter with n-paralleled inverters and three-phase three-limb inductors [Text] / M. Borrega, L. Marroyo, R. Gonzalez, J. Balda, J. Agorreta // IEEE Trans. Power Electron. Jun. 2013. Vol. 28. No. 6. P. 2842–2855.
6. Kostic, D. J. A new approach to theoretical analysis of harmonic content of PWM waveforms of single- and multiple-frequency modulators [Text] / Kostic D. J., Avramovic Z. Z., Ciric N. T. // IEEE Trans. Power Electron. – Oct. 2013. – Vol. 28. No. 10. – P. 4557–4567.
7. Lazzarin, T. A control strategy for parallel operation of single-phase voltage source inverters: analysis, design and experimental results [Text] / Lazzarin T., Bauer G., Barbi I. // IEEE Trans. Ind. Electron. – Jun. 2013. – Vol. 60. No. 6. – P. 2194–2204.

8. McGrath, B.P. Multicarrier PWM strategies for multilevel inverters [Text] / McGrath B.P., Holmes D.G. // IEEE Trans. Ind. Electron. – Aug. 2002. – Vol. 49. No. 4. – P. 858–867.
 9. Naderi, R. Phase-shifted carrier PWM technique for general cascaded inverters [Text] / Naderi R., Rahmati A. // IEEE Trans. Power Electron. – May, 2008. Vol. 23. No. 3. – P. 1257–1269.
 10. Rashid, M.H. Power electronics handbook: devices, circuits, and applications handbook 3rd [Text] / Naderi R., Rahmati A. // ed. Elsevier Inc, 2011. – 1389 p.
 11. Zheng, Jun. The Transient Current Control for Single Phase PWM Rectifiers [Text] / Zheng Jun, Feng Xiaoyun, Xie Wangyu, Zhang Junling // Power Electronics. – 2009. – Vol. 43. No. 12. – P. 2–4.
-

Нерубацький Володимир Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-76.
E-mail: NVP9@i.ua.

Плахтій Олександр Андрійович, канд. техн. наук, старш. викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-76.
E-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Кавун Віталій Євгенович, аспірант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту, інженер-електронік конструкторського бюро «ВО ОВЕН». Тел.: (050) 981-90-05. E-mail: vitaliykavun2014@gmail.com.

Машура Артем Вячеславович, аспірант кафедри промислової та біомедичної електроніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», інженер-конструктор конструкторського бюро «ВО ОВЕН». Тел.: (099) 343-30-72. E-mail: artemmashura94@gmail.com.

Гордієнко Денис Анатолійович, інженер ПрАТ «ЕЛАКС» (м. Харків). Тел.: (099) 612-02-12.
E-mail: D.Hordiienko@i.ua.

Цибульник Владислав Романович, магістрант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 945-95-75.
Email: vladtsybulnyk@gmail.com.

Нерубацький Владимир Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-76. E-mail: NVP9@i.ua.

Плахтий Александр Андреевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-76. E-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Кавун Виталий Евгеньевич, аспирант кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, инженер-электроник конструкторского бюро «ПО ОВЕН». Тел.: (050) 981-90-05. E-mail: vitaliykavun2014@gmail.com.

Машура Артем Вячеславович, аспирант кафедры промышленной и биомедицинской электроники Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», инженер-конструктор конструкторского бюро «ПО ОВЕН». Тел.: (099) 343-30-72. E-mail: artemmashura94@gmail.com.

Гордиенко Денис Анатольевич, инженер ЗАО «ЭЛАКС» (г. Харьков). Тел.: (099) 612-02-12.
E-mail: D.Hordiienko@i.ua.

Цыбульник Владислав Романович, магистрант кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (066) 945-95-75.
E-mail: vladtsybulnyk@gmail.com.

Nerubatskyi Volodymyr Pavlovych, PhD (Tech.), Associate professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: (057) 730-10-76.
E-mail: NVP9@i.ua.

Plakhtiy Alexandr Andreevich, PhD (Tech.), Sr. lecturer, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: (057) 730-10-76.
E-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Kavun Vitaliy Evgenyevich, postgraduate student, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, the electronic engineer of the design office of the company «VO OVEN». Ph.: (050) 981-90-05. E-mail: vitaliykavun2014@gmail.com.

Mashura Artem Vyacheslavovych, postgraduate student, Department of Industrial and Biomedical Electronics of the National Technical University «KhPI», the design engineer of the design office of the company «VO OWEN».

Ph.: (099) 343-30-72. E-mail: artemmashura94@gmail.com.

Hordiienko Denys Anatolievych, engineer of Private JSC «ELAKS» (Kharkiv). Ph.: (099) 612-02-12.

E-mail: D.Hordiienko@i.ua.

Tsybulnyk Vladislav Romanovych, master, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: (066) 945-95-75.

Email: vladtsybulnyk@gmail.com.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.

УДК 656.021.2

ПЛАНУВАННЯ ВІДПРАВЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ТА КОН'ЮНКТУРИ РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Кандидати техн. наук О. А. Малахова, Г. М. Сіконенко,
магістранти О. В. Скорик, Р. Ю. Соломський

ПЛАНИРОВАНИЕ ОТПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ И КОНЬЮНКТУРЫ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

Кандидаты техн. наук Е. А. Малахова, Г. М. Сиконенко,
магистранты А. В. Скорик, Р. Ю. Соломский

PLANNING OF PASSENGER TRAIN DEPARTURE TAKING INTO ACCOUNT THE CONDITIONS AND STRUCTURE OF THE MARKET OF TRANSPORT SERVICES

PhD (Tech.) O. Malakhova, G. Sikonenko, masters O. Skorik, R. Soloms'kyu

Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сфері пасажирських перевезень можливо за рахунок підвищення швидкості переміщення пасажирів і якості послуг, що надаються. При плануванні відправлення поїздів необхідно враховувати такі чинники, як середні тарифи, густина руху по дільницях, нерівномірність прибуття по періодах доби, економічні показники. Планування відправлення поїздів може варіюватися в залежності від інтенсивності руху по днях тижня і періодах доби. При моделюванні враховуються обмеження з пропускнуої спроможності пасажирських і пасажирських технічних станцій, а також задоволення попиту пасажирів.

Ключові слова: пасажир, швидкісний поїзд, попит, послуга, планування.

Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта в сфере пассажирских перевозок возможно за счет повышения скорости перемещения пассажиров и качества предоставляемых услуг. При планировании отправления поездов необходимо учитывать такие факторы, как средние тарифы, плотность движения по участкам, неравномерность прибытия по периодам суток, экономические показатели. Планирование отправления поездов может варьироваться в зависимости от интенсивности движения по дням недели и периодам суток. При моделировании учитываются ограничения по пропускной способности пассажирских и пассажирских технических станций, а также удовлетворение спроса пассажиров.

Ключевые слова: пассажир, скоростной поезд, спрос, услуга, планирование.

Improving the competitiveness of rail transport in the field of passenger transport is possible by increasing the speed of movement of passenger transport and the quality of services provided. With the growth of mobility of population, high-speed passenger transport should constantly develop; expand the boundaries of the high-speed passenger trains. However, in recent years there has been a decrease of the number of passengers carried by the railroad with the transition to alternative means of transport: air and automobile transport. Aviation transport attracts with flexibility of tariffs and speed of delivery and automobile transport attracts with the intensity of bus departure and the possibility to choose the convenient time of departure and arrival at the final destination. The article considers the issue of planning the departure of passenger trains, taking into account the minimization of parking time and the cost of organizing the traffic. Planning of transportation is fundamental in the organization of transport and the foundation for maximizing the overall profit of the railway company. The complexity of planning is due to the need to build schedules corresponding to the variable demand of passengers. Making accurate forecasts that take into account reliable information about demands of the passengers according to the seasons of the year, months and days of the week is difficult to formalize. While planning the departure of trains, it is necessary to take into account such factors as average tariffs, traffic density on sections, uneven arrival in different periods of the day, economic indicators. Planning of departure of trains may vary depending on the intensity of movement by days of the week and periods of the day. The modeling takes into account restrictions of the capacity of passenger and passenger technical stations, as well as meeting the demands of passengers. The results of calculations showed the uneven departure of trains with pronounced "peak" periods in the morning and evening hours, which may limit the capacity of passenger stations. Simultaneous arrival of trains of the same category (high-speed) results in additional loading of the passenger compartment of technical stations.

Keywords: *passenger, high-speed train, demand, service, planning.*

Вступ. В умовах жорсткої конкуренції на ринку транспортних послуг перевезення пасажирів підвищення швидкості стає невід'ємною частиною перевізного процесу. Аналіз розвитку та стану залізничного транспорту вказує на дану тенденцію у всіх економічно розвинутих країнах світу. Із зростанням мобільності населення швидкісний залізничний транспорт повинен постійно розвиватися, розширюватися мережі курсування швидкісних пасажирських поїздів. Однак в останні роки спостерігається зниження пасажиропотоків, що перевозяться залізничним транспортом, з переходом на альтернативні види транспорту: авіаційний та автомобільний. Авіаційний приваблює гнучкістю тарифів та швидкістю доставки, а автомобільний – інтенсивністю відправлення автобусів, особливо на короткі та середні (до 300 км) відстані, та можливістю вибору зручного часу відправлення та прибуття на кінцевий пункт.

У зв'язку з цим підвищення привабливості залізничного транспорту у сфері пасажирських перевезень можливе лише за рахунок впровадження інноваційних проектів, до яких відносяться швидкісні та високошвидкісні перевезення. Такі проекти для залізниць України є відносно новими, тому і питання, пов'язані з плануванням перевезень швидкісними поїздами, є актуальними. Світовий досвід перевезень швидкісними та високошвидкісними поїздами доводить, що найбільшу економічну ефективність залізничний транспорт має при перевезенні пасажирів на відстанях 300–800 км, при цьому обсяги пасажирських перевезень саме таким видом транспорту повинні бути не меншими за 8–10 млн пасажирів на рік.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розвитку швидкісного та високошвидкісного пасажирського залізничного руху приділялось достатньо

уваги в роботах вчених різних країн світу. Так, у [1] розглянута оптимізаційна модель організації перевезень у швидкісних поїздах, яка, з одного боку, спрямована на задоволення попиту пасажирів в частині часу відправлення поїздів, а з другого, на зменшення витрат палива та електроенергії при організації руху поїздів.

У роботі [2] на основі імітаційного моделювання запропоновано визначати розклад прибуття та відправлення швидкісних поїздів з урахуванням станцій з масовою посадкою/висадкою.

Автори [3–5] зосередили увагу на складанні розкладу руху пасажирських поїздів за умови наявності практичної пропускної спроможності дільниць та станцій. При цьому автори [4] вирішують і актуальну проблему конфліктних ситуацій при розробці графіків руху поїздів. В статті [5] на основі моделі Rail Scheduling and Rolling Stock (RSch-RS) запропоновано при плануванні моментів відправлення враховувати пропускну спроможність інфраструктури та попит пасажирів.

Однак дані роботи не вирішують питань, пов'язаних із організацією планування пропуску швидкісних поїздів по станціях маршруту з урахуванням мінімізації стоянок та витрат на організацію руху.

Визначення мети та завдання дослідження. Таким чином, мета даної роботи полягає у розробці моделі планування відправлення швидкісних поїздів із визначенням маршрутів за умови мінімізації витрат на організацію руху та задоволення попиту пасажирів щодо часу прямування. Дана мета потребує розв'язання таких завдань:

- аналіз досліджень в сфері організації пасажирських перевезень, в тому числі на швидкісних та високошвидкісних магістралях;

- установлення закономірності планування відправлення пасажирських поїздів з урахуванням мінімізації стоянок,

завантаження станцій та задоволення попиту пасажирів.

Основна частина дослідження. Планування перевезень є основоположним моментом у організації перевізного процесу. Тому на даному етапі фактично важливим є надання якісних послуг з перевезення пасажирів. Залізнична компанія повинна спочатку визначити потреби замовника: структуру маршруту, час відправлення та прибуття поїздів по вирішальних станціях маршруту, потім складається графік руху поїздів. Планування, по суті, є фундаментальним компонентом максимізації загального прибутку.

Складність планування обумовлена необхідністю побудови залізничними компаніями графіків руху поїздів, які повинні відповідати мінливому попиту пасажирів на перевезення, обмеженням функції при моделюванні, дозволить оперативно коригувати маршрути та розклад відправлення поїздів. Існує велика складність виконання точних прогнозів, що обумовлено неможливістю достовірного врахування закономірностей формування попиту пасажирів по сезонах року, місяцях і днях тижня в умовах впливу багатьох чинників, які складно піддаються формалізації. Разом з тим, моделі прогнозів попиту пасажирів по кожному пункту призначення повинні враховувати такі аргументи, як середні тарифи, густина руху поїздів, демографічні показники та економічні умови.

Враховуючи ці загальні оцінки попиту, моделі визначення пасажиропотоків використовуються для оцінки експлуатаційної роботи кожного виду транспорту, операторів транспортного ринку з встановленням граничних значень за експлуатаційними показниками в залежності від тарифів на перевезення.

Для забезпечення стійкості моделей та формування графіка руху поїздів вважається, що попит на послуги повинен бути детермінованим і інваріантним з

метою планування коливань пасажиропотоків та меж конкуренції. Ефективний процес планування графіка залежить від точної оцінки загального попиту на перевезення, визначення частки пасажирів, які оберуть залізничний транспорт та конкретну залізничну компанію.

Залізнична мережа складається з дільниць та станцій, тому в графічному вигляді її можна подати у вигляді графа $G(S, L)$, вершини якого відповідають станціям (S – це множина станцій, S_i – станція, на якій здійснюються операції з пасажирами чи технічні операції при обслуговуванні високошвидкісного руху), а дуги відображають комунікації, що з'єднують пари станцій (L – множина дуг (дільниць)). Нехай довжина кожної дуги дорівнює відстані (вартості). Дільниці між станціями – це орієнтовані ребра графа.

Довжина відповідної дільниці – це вага ребра, тобто $l \in L$. Граф повинен бути повним, тобто в ньому є всі можливі ребра.

Напрямок, який потрібно знайти – це орієнтований, простий цикл, мінімальної ваги у графі [6]. Кожна дуга визначена відповідно до станції відправлення та прибуття, а також її вагового коефіцієнта (наприклад відстань у кілометрах). Пасажирські технічні станції повинні враховуватись при побудові графіка як станції обслуговування та відстою пасажирських составів. Час планування може варіюватись за певними часовими періодами. Для планування доцільно обрати тижневий період, оскільки нерівномірність пасажирських перевезень по днях тижня досить впливова.

Цільова функція доходу від організації швидкісних перевезень має вигляд

$$E_{\text{увс}} = \sum_{r=1}^Q \sum_{k=1}^P C_r A_{r,k} - \sum_{k=1}^P \left(e_{\text{поїздагод}}^{m_c} \cdot t_k + e_{\text{поїздагод ПТС}}^{m_c} \cdot t_k^{np ПТС} \right) \rightarrow \max E_{\text{увс}}, \quad (1)$$

де C_r – вартість проїзного документа для відповідної категорії поїзда r , грн;

$A_{r,k}$ – кількість пасажирів, що прямують за маршрутом k у відповідній категорії поїзда r , пас.;

Q – кількість категорій поїздів;

P – кількість маршрутів поїздів;

$e_{\text{поїздагод}}^{m_c}$ – вартість поїздо-години прямування швидкісного поїзда за маршрутом k , грн/поїзд;

t_k – час прямування поїзда за маршрутом k , год;

$e_{\text{поїздагод ПТС}}^{m_c}$ – вартість поїздо-години простою при підготовці на пасажирських технічних станціях або на станціях обороту, грн/поїзд;

$t_k^{np ПТС}$ – час простою поїздів на технічних станціях основного або оборотного депо, год.

Моделювання потрібно проводити при таких обмеженнях:

- за пропускнуою спроможністю пасажирських стацій з урахуванням мінімізації стоянок поїздів

$$\sum_{r=1}^Q \sum_{k=1}^P \frac{A_{r,k}}{m_c} \leq N_{s,t}, \quad \forall s \in S, t \in T, \quad (2)$$

де m_c – місткість состава поїзда відповідної категорії;

$N_{s,t}$ – наявна пропускна спроможність станції s протягом періоду планування t ;

- за розвитком технічних засобів пасажирських технічних станцій

$$n_{\text{нек}}^{c,s} \geq \sum_{t \in T} \left(n_{\text{від}}^{c,s} - n_{\text{нп}}^{c,s} \right), \quad \forall s \in S, c \in C, \quad (3)$$

де $n_{пек}^{c,s}$ – кількість приймально-відправних колій пасажирської технічної станції;

$n_{від}^{c,s}$, $n_{пр}^{c,s}$ – кількість відповідно поїздів, що відправляються та прибувають протягом планового періоду для всіх категорій;

- за задоволенням попиту пасажирів на перевезення

$$A_{r,k} \leq \alpha_{SH} A_m, \quad (4)$$

де α_{SH} – частка пасажирів, що прямують у швидкісних поїздах;

A_m – загальне пропонування місць.

При моделюванні додатково перевіряється умова: чи відповідає сумарна

потужність поїздів на дільниці протягом часового інтервалу для кожної дуги $l \in L$ маршруту $k \in K$ та місткості поїзда $m_c \in M$, задоволенню попиту пасажирів.

Результати обчислень. Дослідження базуються на вивченні курсування поїздів ІНТЕРСІТІ+ в Україні. Основними напрямками курсування таких поїздів є Харків-Київ, Дніпро-Київ та Київ-Львів. Розміри руху по основних напрямках наведено на рис. 1.

У таблиці наведено середнє добове розрахункове завантаження колій та коефіцієнт використання з урахуванням пропуску пасажирських поїздів всіх типів по станції.

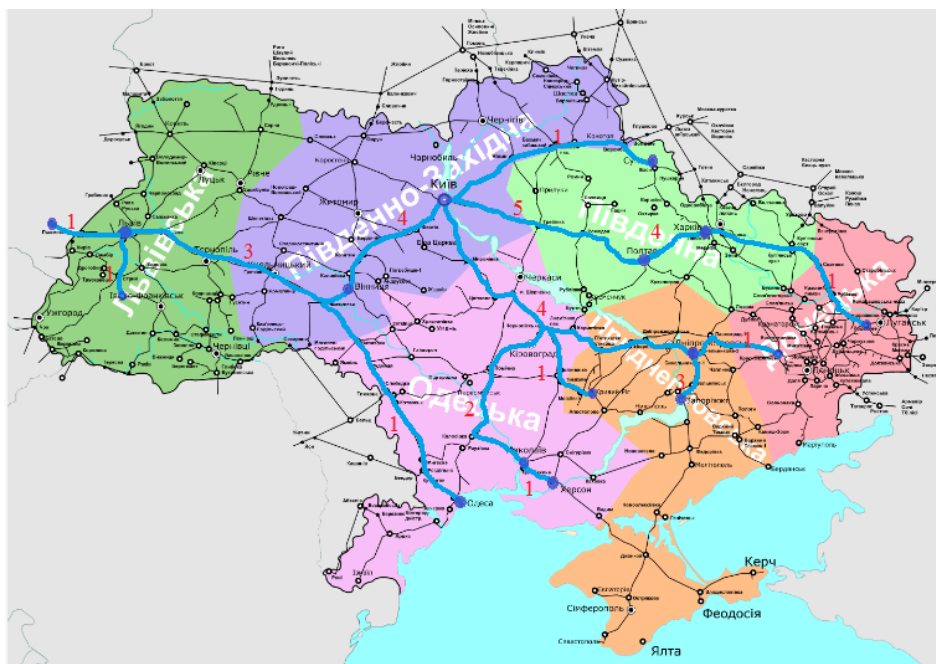


Рис. 1. Розміри руху поїздів ІНТЕРСІТІ+ по основних напрямках

Таблиця

Добове розрахункове завантаження колій по станціях

Станція	Час завантаження колії, хв	Коефіцієнт використання
Харків	3152	0,24
Львів	2864	0,28
Дніпро	2378	0,25
Київ	4340	0,36

Розрахунки свідчать про достатню середньодобову пропускну спроможність по основних станціях. Розрахунки розмірів руху по прибутті та відправленні на станцію Київ-Пасажирський наведено на рис. 2.

Однак для планування важливою є пропусна спроможність пасажирських станцій з урахуванням мінімізації стоянок поїздів. Для цього розраховані загальні розміри з виділенням годин максимального завантаження. Дані наведено на рис. 3.

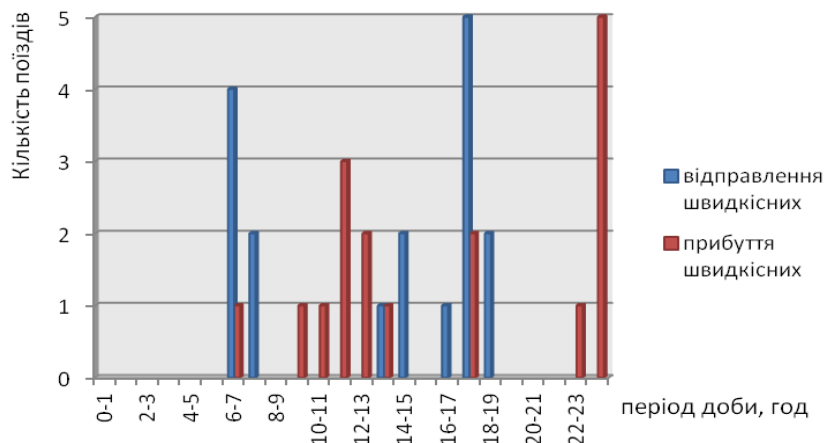


Рис. 2. Розміри прибуття та відправлення швидкісних поїздів на станцію Київ-Пасажирський по годинах доби

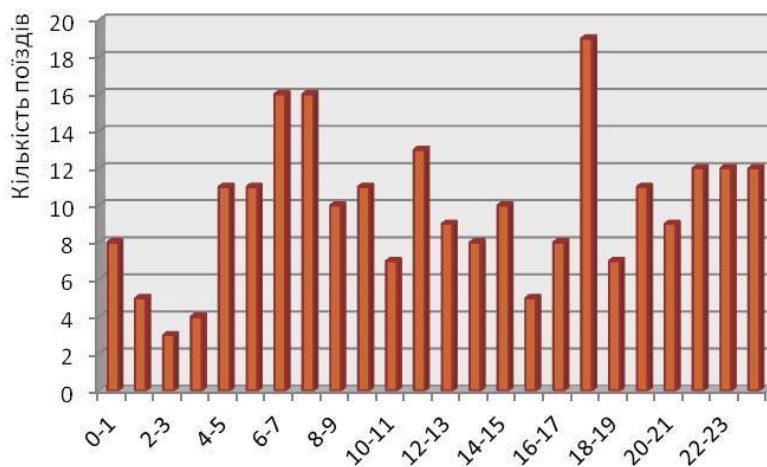


Рис. 3. Загальне прибуття та відправлення поїздів по станції Київ-Пасажирський по годинах доби

Аналіз даних, наведених на рис. 3, свідчить про наявність періодів максимального завантаження з 6.00 до 9.00 та з 17.00 до 19.00. Розміри в максимально завантаженої години складають 19 поїздів при наявності 11 приймально-відправних колій. Зміна часу прибуття та відправлення

поїздів або тривалості стоянок при плануванні розкладів може призвести до неможливості виконання технологічних операцій на пасажирській та пасажирській технічній станції, а, відповідно, і незадоволення попиту пасажирів.

Висновки. Запропонований підхід до питання планування поїздок швидкісного залізничного транспорту з точки зору підвищення конкурентоспроможності та економічної доцільності. З цією метою вивчено планування частоти поїздок,

планування розкладу та питання розподілу рухомого складу. Для цього доцільно моделювати поїздопотоки багатокомпонентної мережі з урахуванням умов та кон'юнктури ринку транспортних послуг.

Список використаних джерел

1. Ghoseiri K., Szidarovszky F., Asgharpour M. J. Multipurpose model and solution for train planning [Text] // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2004. – Vol. 38. – P. 927-952.
2. Yalçınkaya Öz., Bayhan G.M. A feasible timetable generator simulation modelling framework for train scheduling problem [Text] // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2012. – Vol. 20. – P. 124-141.
3. Mohammad Ali Sh., Sadjadi S. J., Jamili A., Tavakkoli-Moghaddam R., Pourseyed-Aghaee M. The periodicity and robustness in a single-track train scheduling problem [Text] // *Applied Soft Computing*. – 2012. – Vol. 12. – P. 440-452.
4. Carey M., Crawford Iv. Scheduling trains on a network of busy complex stations // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2007. – Vol. 41. – P. 159-178.
5. Espinosa-Aranda J. L., García-Ródenas R., Cadarso L., Marín Á. Train Scheduling and Rolling Stock Assignment in High Speed Trains [Text] // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. – 2014. – Vol. 160. – P. 45-54.
6. Floudas C. A., Gounaris C. E. A review of recent advanced in global optimization [Text] // *J. Global Optimizat.* - 2009. - No. 1. – P. 3–38.
7. Lopez Cruz I.L. PhD-Thesis: Efficient Evolutionary Algorithms for Optimal Control [Text]. – Wageningen Univ., Netherlands, 2002. – 122 p.

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.
Сіконенко Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.
Скорик Олександр Віталійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту, група МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.
Соломський Роман Юрійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту, група МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.

Малахова Елена Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: 066-341-84-81. E-mail: alena.mal31@gmail.com.
Сиконенко Григорий Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.
Скорик Александр Витальевич, магистрант Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, группа МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.
Соломский Роман Юрьевич, магистрант Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, группа МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.

Malakhova Olena, PhD (Tech.), associate professor, Department of Management Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: alena.mal31@gmail.com.
Sikonenko Grygorii, PhD (Tech.), associate professor, Department of Management Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.
Skoryk Oleksandr, master, Department of management operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, group MZ-17-TEMPUS-OPUT. Tel.: 050-716-04-28.
Solomskyy Roman, master, Department of management operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, group MZ-17-TEMPUS-OPUT. Tel.: 050-716-04-28.

Статтю прийнято 29.10.2018 р.

УДК 656.224

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

Канд. техн. наук Г. О. Примаченко, магістрант К. Р. Ясеновська

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

Канд. техн. наук А. А. Примаченко, магістрант Е. Р. Ясеновская

MODELING OF LOGISTIC SYSTEM OF MANAGEMENT OF HIGH-SPEED RAILWAY TRANSPORT

PhD (Tech.) H. Prymachenko, master K. Yasenovskaya

Нами розглянуто технології функціонування логістичної ситуаційної моделі транспортного обслуговування населення за умови участі швидкісного залізничного транспорту. Запропонований основний принцип ефективного логістичного управління – необхідної різноманітності. Пропонуємо логістичні моделі освоєння пасажиропотоків швидкісним залізничним транспортом та корегування плану формування пасажирських поїздів. Вивчення логістики прогнозування пасажиропотоків швидкісних залізничних перевезень вказало на той факт, що у логістичній моделі вибору пасажирами варіантів реалізації запланованих поїздок бажано використовувати одночасно соціально-економічні фактори і рівень тарифів на залізничному транспорті.

Ключові слова: логістична ситуаційна модель, пасажирообіг, швидкісні залізничні перевезення.

Нами были рассмотрены технологии функционирования логистической ситуационной модели транспортного обслуживания населения при участии скоростного железнодорожного транспорта. Представлен основной принцип эффективного логистического управления – необходимого разнообразия. Предлагаем логистические модели освоения пассажиропотоков скоростным железнодорожным транспортом и корректировки плана формирования пассажирских поездов. Изучение логистики прогнозирования пассажиропотоков скоростных железнодорожных перевозок указывает на тот факт, что в логистической модели выбора пассажирами вариантов реализации запланированных поездок желательно использовать одновременно социально-экономические факторы и уровень тарифов на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: логистическая ситуационная модель, пассажирооборот, скоростные железнодорожные перевозки.

The research of the technology of functioning of the logistic situation model of transport service of the population is conducted, provided that the participation of high-speed rail transport is involved. The basic principle of effective logistic control is established - the necessary diversity. The logistic models of development of passenger traffic by high-speed railway and the correction of the plan for the formation of passenger trains were constructed. The study of logistics of the forecasting of passenger traffic of high-speed rail transportation pointed to the fact that in the logistic model of choice of passengers for the implementation of planned trips it is necessary to use

simultaneously socio-economic factors and the level of tariffs on rail transport. It is established that the real choice of a passenger for a variant of a trip is influenced not so much by the level of tariffs for transport services, as the ratio between passenger tariffs and incomes. Since the average passenger travels only 1-2 trips in a year, the trip planning is determined by the income level not in the particular month during which the trip was made, but by the average income over the long previous period (for example, one year). Thus, in the task of logistic modeling, instead of the indicators of average per capita cash income, the minimum consumer budget and the initial tariff levels, it is necessary to use factors calculated on their basis, such as the real level of monetary incomes and the real level of tariffs in different categories of high-speed train cars. For checking the correctness of the choice of factors and assessing their impact on the quality of the logistic model, preliminary studies of the results of calculation based on the long-distance passenger traffic from the above factors were carried out. The accuracy of the simulation was determined by the degree of approaching values of passenger traffic, calculated using the model, to real passenger traffic data.

Keywords: *logistic situational model, passenger turnover, high-speed rail transportation.*

Вступ. Одним з основних принципів ефективного логістичного управління є «принцип необхідної різноманітності», сформований у 1960-х роках. Відповідно до цього принципу, різноманітність станів системи управління повинна відповідати різноманітності станів керованої системи. Тільки у цьому випадку можливе її стійке і ефективне функціонування.

Стосовно процесу організації пасажирських залізничних швидкісних перевезень це означає, що система управління повинна адекватно реагувати на різноманітні ситуації, що виникають при функціонуванні системи транспортного обслуговування населення. Наприклад, система транспортного обслуговування функціонує в умовах невизначеності, рівень якої не є постійним, і залежить від кількості і динамізму факторів, що визначають роботу пасажирського транспорту, і складності зв'язків між цими факторами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На всі різноманітні ситуації, що описуються різними наборами «стандартних» вихідних факторів, можуть завчасно розроблені логістичні рішення, що передбачають зміни призначень пасажирських швидкісних поїздів, періодичність їх обороту, композицію составів, розкладів руху

поїздів тощо [1]. Також завчасно можуть готуватись логістичні рішення у разі масових перевезень (видовищні заходи та інші аналогічні випадки), оскільки їх вплив на змінення пасажиропотоків можливо прогнозувати. Можливі коригування заздалегідь опрацьованого способу дії в процесі його реалізації, але в межах незначного відхилення [2].

Разом із тим часто виникають ситуації, коли технічна несправність рухомого складу, тимчасове закриття руху на окремих ділянках через погоднокліматичні або інші умови призводять до потреби у прийнятті рішення в режимі реального часу, оскільки не можна точно спрогнозувати час виникнення того чи іншого збою в роботі системи. Можлива попередня розробка деякого каталогу екстрених заходів, що застосовуються в тому чи іншому випадку, але адекватність цих заходів у реальній ситуації не гарантується, що вимагає зворотного зв'язку і активного коригування прийнятих рішень [3].

Таким чином, на виході системи управління пасажирськими швидкісними залізничними перевезеннями необхідно проаналізувати показники роботи пасажирського комплексу з економічною оцінкою ефективності управлінських рішень [3, 4].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даного дослідження є формування логістичної ситуаційної моделі транспортного обслуговування населення за умови участі швидкісного залізничного транспорту. Завдання дослідження складається з аналізу транспортного обслуговування населення за умови участі швидкісного залізничного транспорту та попиту на нього, а також побудови логістичної моделі освоєння пасажиропотоків швидкісним залізничним транспортом та корегування плану формування пасажирських поїздів.

Основна частина дослідження. До стратегічних функцій логістичної системи управління пасажирськими залізничними швидкісними перевезеннями відносяться [5]: аналіз, вивчення та контроль існуючої структури і конфігурації пасажиропотоків (потоків багажу та вантажобагажу) за принципом їх зародження, слідування та погашення; ведення постійного моніторингу пасажиропотоків (потоків багажу та вантажобагажу), визначення перспектив їх зародження, слідування в поїздах за напрямками мережі та погашення; контроль за збалансованістю пропускної (переробної) і провізної спроможності як інфраструктури пасажирського комплексу (ПК) в цілому, так і її ланок (технічна пасажирська станція, пункти обороту та формування пасажирських поїздів, вагонні депо та інше), так і суміжних видів транспорту або інших підрозділів, пов'язаних технологічними функціями з транспортним комплексом; розробка рекомендацій та техніко-економічних обґрунтувань розвитку інфраструктури ПК; формування пропозицій щодо удосконалення тарифної політики з метою створення оптимальних умов для залучення пасажирів на залізничний швидкісний транспорт та підвищення його конкурентоспроможності.

До оперативно-технічних функцій логістичної системи управління пасажирськими швидкісними залізничними

перевезеннями відносять: максимально можливе повне та своєчасне задоволення запитів на перевезення пасажирів (багажу та вантажобагажу); вибір раціональної (оптимальної) системи організації перевезення пасажирів (багажу та вантажобагажу); вивчення кон'юнктури транспортного ринку пасажирських перевезень; диспетчерська підтримка перевезень пасажирів (багажу та вантажобагажу) поїздами на усьому шляху слідування; оперативна взаємодія з підрозділами, пов'язаними технологічними функціями у ПК.

Прогнозування пасажиропотоків є найважливішою та невід'ємною частиною складного процесу планування роботи ПК, від нього залежить гармонічний розвиток усіх підрозділів ПК та раціональне використання технічних засобів, формування необхідних якостей пасажирських послуг. В умовах розвитку ринкової економіки різко зростає конкуренція, створюється динамічне конкурентне середовище між окремими видами громадського транспорту, тому важливого значення набуває прогнозування майбутніх ситуацій. Необхідною стає розробка логістичних моделей прогнозу конкурентного середовища ринку пасажирських послуг. Ці моделі прогнозу повинні з високою часткою ймовірності визначити пасажиропотоки з того чи іншого виду транспорту та потенційні можливості (матеріальні, фінансові, інформаційні ресурси), якими він володіє, щоб зайняти бажані позиції на ринку пасажирських послуг.

Побудова прогнозової моделі повинна враховувати різні фактори, у тому числі тенденцію та динаміку змін соціально-економічного розвитку країни та змін попиту на пасажирські швидкісні залізничні перевезення, а також вплив гнучкої тарифної політики на збільшення пасажиропотоків.

При побудові логістичної моделі освоєння пасажиропотоків пасажирськими

поїздами за певний період часу проводиться економічний аналіз існуючої технології обороту пасажирських поїздів. Застосування логістичних методів потребує вивчення розподілу кореспонденції пасажиропотоків по поїздах у взаємозв'язку один з одним. Економічно вигідна відміна обороту одного поїзда повинна бути визначена з урахуванням змін розподілу пасажиропотоків за іншими призначеннями швидкісних поїздів. Для цього повинна бути розроблена модель розподілу існуючих пасажиропотоків за категоріями поїздів та змін величини кореспонденції пасажиропотоків з урахуванням відміни та зміни складу поїздів. У результаті проведено економічну оцінку варіанта (або варіантів) курсування пасажирських поїздів дальнього слідування та визначаються суми втрачених доходів через несвоєчасне корегування плану формування пасажирських поїздів (ПФПП) у силу різних факторів. Також формується перелік пропозицій щодо корегування ПФПП дальнього слідування швидкісного сполучення на запланований період.

Аналіз, вивчення та контроль за існуючою структурою та конфігурацією пасажиропотоків за принципом їх зародження, слідування та погашення необхідно здійснювати на основі створення та автоматизованого ведення бази даних про кореспонденцію пасажиропотоків кожного поїзда та вагона за кожну добу з використанням аналітичної бази даних «Експрес-УЗ».

На майбутній період необхідна побудова моделі змін кореспонденцій з урахуванням прогнозних потоків пасажирів та результатів аналізу обороту пасажирських поїздів дальнього сполучення за минулий період. При цьому модель повинна давати розподіл кореспонденції пасажиропотоків за категоріями поїздів та вагонів у залежності від просторово-часової класифікації ситуації транспортного обслуговування населення. На основі отриманих

кореспонденцій корегується (розраховується) ПФПП дальнього швидкісного сполучення. Шляхом порівняння наявної та потрібної розрахункової пропускну, провізної та переробної спроможності інфраструктури ПК перевіряється можливість практичної реалізації ПФПП. На підставі розробленого ПФПП та його ситуаційних корегувань формується звіт технологічних документів, що визначають роботу підрозділів ПК (організація роботи вокзалів, експлуатація та ремонт вагонів пасажирського парку, поставки нового рухомого складу, матеріально-технічне забезпечення, обслуговування пасажирів у поїздах, підготовка составів у рейс та ін.).

Необхідною базою ефективного управління пасажирським транспортом є можливість прогнозувати пасажиропотоки та оцінювати вплив прийнятих рішень та зовнішніх факторів на результат роботи транспорту. При формуванні логістичних прогнозів зазвичай використовують різні математичні моделі, засновані на аналізі часових рядів. У залежності від складності процесів, що моделюються, можуть прийматися як одновимірні, так і багатовимірні (багатофакторні) моделі. В одновимірних моделях аналізується динаміка показника, що досліджується, та виявлена залежність враховується у майбутньому. Цей підхід також називають екстраполяцією. Він базується на припущенні, що виявлена закономірність поведінки показника стійка та зберігається у майбутньому. Тобто допускається, що динаміка показників взагалі не може змінюватися під впливом яких-небудь факторів, або вплив цих факторів не встигає суттєво проявитись на прогнозному періоді.

Для прогнозування пасажиропотоків, особливо на середньострокову або довгострокову перспективу, одновимірні моделі не застосовуються через вплив на пасажиропотоки великої кількості різних факторів. Прогноз пасажиропотоків

повинен базуватися на багатовимірних регресійних моделях, які описують статистично значущі взаємозв'язки між показниками, що прогноуються, і з урахуванням впливу зовнішніх факторів. Значення показників, що прогноуються, розраховуються за відомими (очікуваними та планованими) значеннями зовнішніх факторів на основі взаємозв'язків, які закладені у моделі. У теперішній час для моделювання роботи ПК успішно використовують багатофакторну модель попиту на пасажирські перевезення, що дозволяє проводити розрахунки прогнозів пасажирообігу, як основного фактора для прогнозування пасажиропотоків. Побудова моделі прогнозування пасажиропотоків включає у себе такі етапи: 1) визначення набору факторів, які можуть впливати на рухливість населення; 2) моделювання залежності пасажирообігу, як визначної характеристики рухливості населення, від різноманітних факторів у їх поєднанні. Набір логістичних факторів, що мають вплив на розміри перевезень, можна розділити на дві групи: внутрішні і зовнішні.

Як зовнішні фактори при побудові моделі розглядалися показники, які характеризують рівень соціально-економічного розвитку країни або окремих регіонів. До таких показників відносяться середня місячна заробітна плата, грошовий дохід на душу населення, мінімальний споживчий бюджет, оборот роздрібно́ї торгівлі на душу населення, рівень промислового виробництва, доходи у окремих галузях економіки та ін. Проте, багато з них сильно корельовано, тому включення у модель всієї сукупності цих факторів не підвищує її якості. У таких випадках, звичайно, проводиться кластеризація набору показників з використанням кореляційного аналізу, а потім з кожного кластеру вибирають найбільш вагомий показник.

Весь набір найбільш важливих зовнішніх показників можна розбити на три

групи (див. таблицю). До першої відносяться дохідні показники та оборот роздрібно́ї торгівлі. Всі показники в цій групі мають дуже високий ступінь кореляції між собою. Друга група складає єдиний показник – рівень промислового виробництва. І нарешті, до третьої групи відноситься тільки єдиний показник – мінімальний споживчий бюджет. Як наслідок, два показники найменш корелюють між собою та помітно відрізняються від показників першої групи. Таким чином, для побудови моделі достатньо вибрати один показник з першої групи (наприклад, середній грошовий дохід на душу населення), рівень промислового виробництва та мінімальний споживчий бюджет.

Як внутрішні фактори для створення моделі попиту були вибрані рівні тарифів у різних типах вагонів. У окремих випадках для попередніх оцінок використовувався загальний показник – розмір дохідної ставки для дальніх швидкісних залізничних перевезень. Моделюючим показником, який характеризує рухливість населення та переваги для пасажирів при виборі транспортних послуг, став пасажирообіг (у всіх видах перевезень та окремо у плацкартних, купейних, спальних (СВ) та загальних вагонах). На показники пасажирських перевезень та перераховані вище соціально-економічні показники істотний вплив має ще один неявний фактор – сезонна нерівномірність. Тому перед тим, як перейти до створення моделі пасажирських перевезень, необхідно провести приведення до порівнянних значень вихідних даних, тобто знайти та усунути вплив сезонності. Для середньодушового грошового доходу це робиться загальноприйнятим при моделюванні пасажирських перевезень дальнього швидкісного сполучення способом. Оскільки середньостатистичний пасажир здійснює всього 1-2 поїздки на рік, то планування поїздки визначається рівнем доходу не в той конкретний місяць, коли

здійснювалася поїздка, а середнім доходом за тривалий попередній період (наприклад, за рік). Тому зазвичай розглядається залежність обсягів перевезень не від вихідних грошових доходів за поточний місяць, а від їх усереднених за попередні 12 місяців значень. Таким чином, замість показника середньодушового грошового доходу в розрахунках будемо використовувати його ковзне середнє значення за рік (рис. 1).

Розрахунок середнього ковзного значення за рік проводиться за формулою

$$P_i^{cc} = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_{i-k}, \quad (1)$$

де i – номер поточного місяця;

P_i, P_i^{cc} – відповідно вихідне та ковзне середнє значення середньодушових грошових доходів, умов. од.

Таблиця

Коефіцієнт кореляції між різними показниками, що характеризують рівень життя в Україні

	Середній грошовий дохід на душу населення	Середня заробітна плата по країні	Середня заробітна плата у промисловості	Оборот роздрібноі торгівлі (на душу населення)	Рівень промислового виробництва	Мінімальний споживчий бюджет
Середній грошовий дохід на душу населення	1					
Середня заробітна плата по країні	0,97	1				
Середня заробітна плата у промисловості	0,97	0,997	1			
Оборот роздрібноі торгівлі (на душу населення)	0,98	0,97	0,97	1		
Рівень промислового виробництва	0,93	0,95	0,96	0,91	1	
Мінімальний споживчий бюджет	0,92	0,92	0,92	0,97	0,83	1

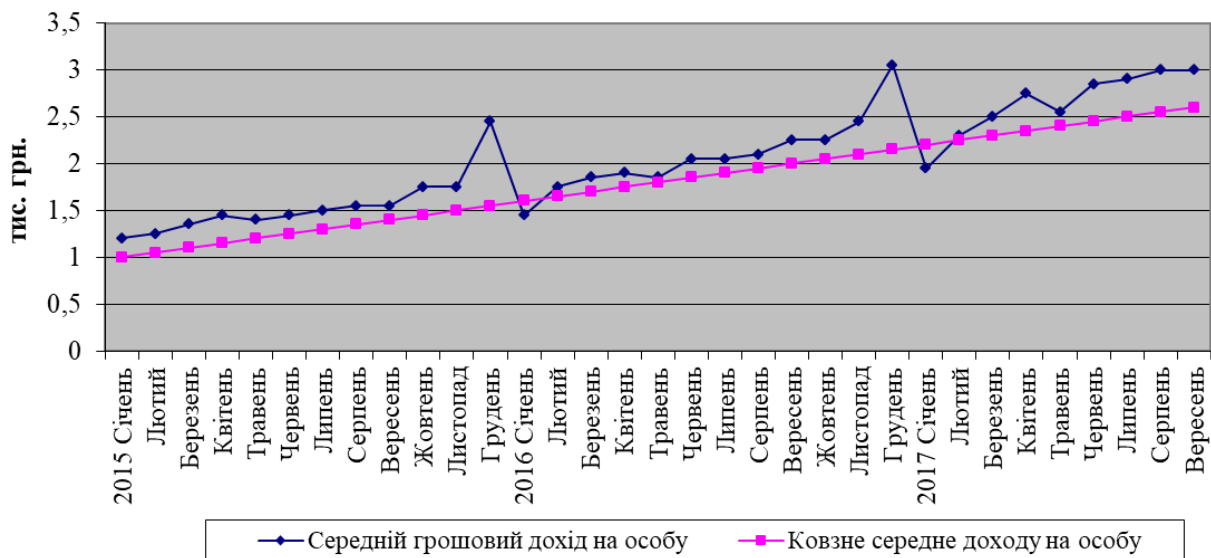


Рис. 1. Побудова ковзного середнього рівня грошових доходів на особу

На рис. 1 показано зв'язок між середнім грошовим доходом на душу населення і його ковзним середнім. Має місце виражена тенденція до зростання. Ковзне середнє відображає загальну тенденцію зростання доходів. Ще більша сезонна нерівномірність характерна для пасажирообігу (в окремих видах сполучень, типах вагонів тощо). Розрахунки по виключенню сезонних коливань з даних пасажирообігу проводяться у два етапи. Спочатку за вибіркою за тривалий період часу (кілька років) розраховуються значення пасажирообігу за якийсь умовний

рік, так званий «еталонний», протягом якого були відсутні будь-які тенденції зростання або падіння обсягів перевезень, і динаміка пасажирообороту визначається виключно з сезонної нерівномірності, що ділиться на відповідне значення еталонного року. В результаті обчислень сформується новий показник – наведений пасажирообіг, з якого виключені сезонні коливання, а самі значення подані у порівнянних одиницях. Наведений пасажирообіг показує тенденції зростання або падіння обсягів перевезень за період, що досліджується.

Розрахунок еталонного року проводиться за допомогою такої формули:

$$P_j^{em} = P_0 \cdot \prod_{n=1}^{n=j} \exp \left[\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \ln \frac{P_n + 12k}{P_n - 1 + 12k} - \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \ln \frac{P_{i+12k}}{P_{i-1+12k}} \right) \right], \quad (2)$$

де $j = 1, 2, \dots, 12$ – номер місяця року; N – кількість років, за які є статистичні дані; P_i – фактичні значення обсягів перевезень;

P_j^{em} – еталонне значення пасажирообігу (рис. 2).

Графіки еталонів

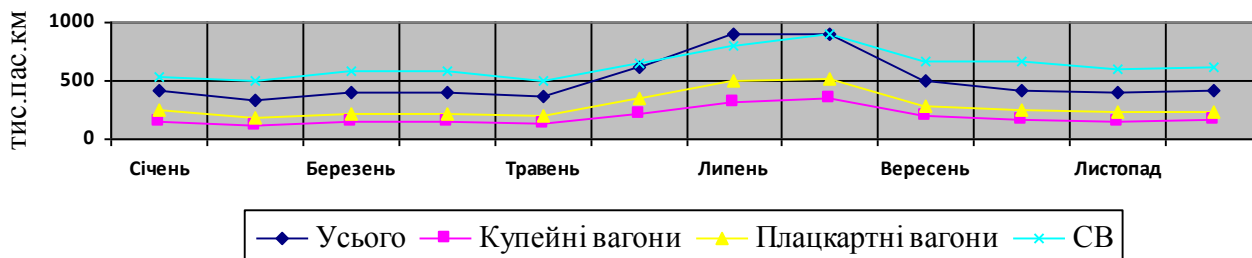


Рис. 2. Еталонний рік пасажирообігу на мережі залізничних шляхів України

Наведені значення пасажирообігу обчислюються таким чином:

$$P_i^{np} = P_i / P_{m(i)}^{em}, \quad (3)$$

де P_i , P_i^{np} – поточне значення відповідно вихідного і наведеного пасажирообігу;

i , $m(i)$ – поточний місяць і відповідний йому місяць еталонного року;

$P_{m(i)}^{em}$ – значення пасажирообігу за відповідно місяць еталонного року.

На рис. 3 показані результати розрахунків на прикладі наведеного пасажирообігу на всій мережі залізниць. Таким чином, у логістичній моделі вибору пасажиромістами варіантів реалізації запланованих поїздок необхідно використовувати перераховані вище соціально-економічні фактори і рівень тарифів на залізничному транспорті. Слід, однак, мати на увазі, що реально на рішення про поїздку впливає не стільки рівень тарифів на транспортні послуги, скільки співвідношення між тарифами і доходами пасажирів. При вивченні впливу зовнішніх факторів на рішення про вибір варіанта поїздки необхідно використовувати якийсь інтегральний показник, який розраховується як відношення середньодушового грошового

доходу до мінімального споживчого бюджету. Цей новий фактор можна умовно назвати реальним рівнем доходу.

Висновки. Отже, в задачі логістичного моделювання замість показників середньодушового грошового доходу, мінімального споживчого бюджету і вихідних рівнів тарифу використано такі обчислювані на їх основі фактори: реальний рівень грошових доходів населення, який визначається відношенням середньодушового грошового доходу до мінімального споживчого бюджету (в деяких моделях використовувалося зворотне відношення); реальний рівень тарифів у плацкартних, купейних і спальних вагонах, який визначається відношенням рівня тарифу (або його узагальненої характеристики – дохідної ставки) до середньодушового грошового доходу.

Правильність вибору факторів і оцінки їх впливу на якість логістичної моделі була підтверджена попередніми дослідженнями результатів розрахунку залежності пасажирообігу в дальньому сполученні від перерахованих вище факторів. Точність моделювання визначалася ступенем наближення значень пасажирообігу, обчислених за допомогою моделі, до реальних даних пасажирообігу.

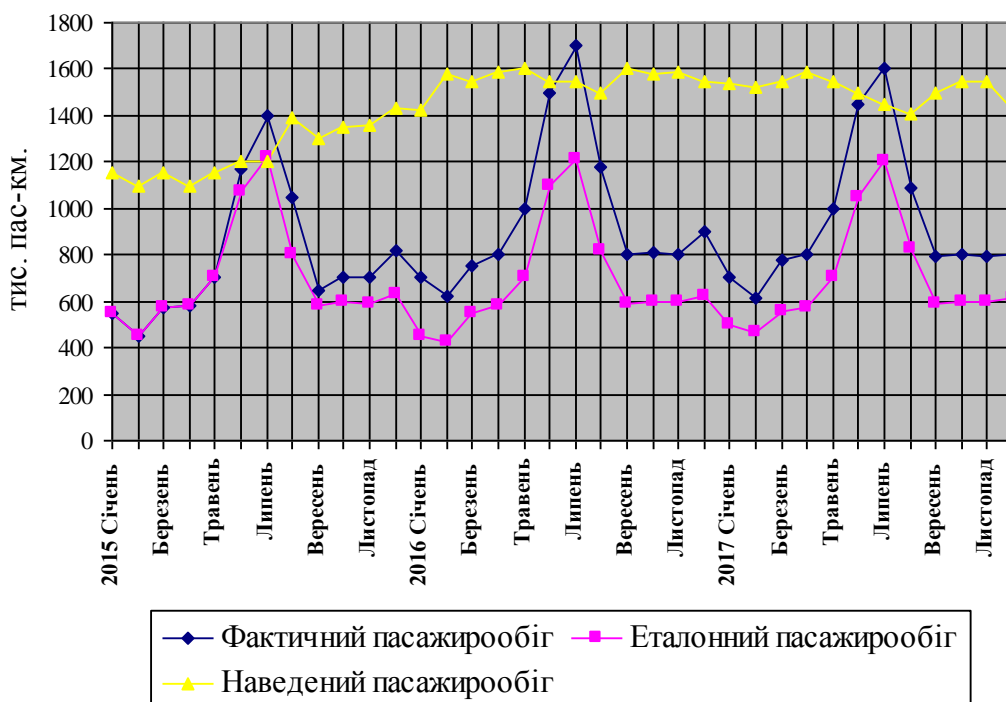


Рис. 3. Розрахунок наведеного пасажирообігу в дальньому сполученні на мережі залізничних шляхів України

Список використаних джерел

1. Lomotko, D. V. Methodological aspect of logistics technologies formation in reforming process on the railways [Text] / D. V. Lomotko, Ye. S. Aloshynskiy, H. H. Zambrybor. – Warsaw, Poland, Vol. 14, 2016. – P. 2762-2766. – Access mode: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.482>.
2. Hanne, T. Introduction to Logistics and Supply Chain Management [Text] / T. Hanne, R. Dornberger // Computational Intelligence in Logistics and Supply Chain Management. – Springer Nature, 2016. – P. 1–12 (doi:10.1007/97833194072271).
3. Aloshynskiy, Ye.S. Development of methods for increase of work indices of logistic chain within transport and logistics cluster [Text] / Ye.S. Aloshynskiy, V.V. Meshcheriakov, H.S. Rudenko. – Technology audit and production reserves, Kharkiv, 2016. - №5/2 (31). – P. 48-52.
4. Резер, С. М. Логистика пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / С. М. Резер. – М. : МИИТ, 2007. – 480 с.
5. Prymachenko, G. Development of intermodal transport and logistics schemes for passenger transportation by railway transport within Ukraine-Europe direction [Text] / G. Prymachenko // V International scientific and technical conference «Engineering. Technologies. Education. Security», 2017. Volume III. Management. Safety and ecology education. Public science. – Bulgaria, 2017. – P. 258-260.

Примаченко Ганна Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066)567-97-72.

E-mail: gannaprymachenko@gmail.com.

Ясеновська Катерина Раджабівна, магістрант, кафедра транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 950-24-19. E-mail: katuxa1202@gmail.com.

Примаченко Анна Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем и логистики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (066)567-97-72.
E-mail: gannaprymachenko@gmail.com.

Ясеновская Екатерина Раджабовна, магистрант, кафедра транспортных систем и логистики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (050)950-24-19.
E-mail: katuxa1202@gmail.com.

Prymachenko Hanna, PhD (Tech.), associate professor, Department of Transportation Systems and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 567-97-72 E-mail: gannaprymachenko@gmail.com.

Yasenovskaya Katerina, master, Department of Transport Systems and Logistics Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. : (050) 950-24-19. E-mail: katuxa1202@gmail.com.

Статтю прийнято 02.11.2018 р.

УДК 656.224

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Кандидати техн. наук П. В. Долгополов, Т. В. Головка, магістрант С. В. Чернишенко

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Кандидаты техн. наук П. В. Долгополов, Т. В. Головка, магистрант С. В. Чернышенко

IMPROVING THE QUALITY OF PASSENGER SERVICING IN THE CONDITIONS OF SPEED MOVEMENT FUNCTIONING

PhD (Tech.) Peter Dolgoplov, PhD (Tech.) Tatiana Golovko, master Svetlana Chernyshenko

У статті розглянуто питання підвищення якості обслуговування пасажирів в умовах функціонування швидкісного руху. Проаналізовано існуючі технології роботи пасажирських станцій. Запропоновано варіанти раціоналізації часу обслуговування пасажирів шляхом удосконалення оперативного управління роботою вокзалу пасажирської станції на основі застосування елементів інтелектуальних технологій та методів імітаційного моделювання. Розроблено імітаційну модель роботи вокзалу станції та оптимізаційну модель з пропуску пасажиропотоку.

Ключові слова: швидкісна магістраль, пасажирські перевезення, раціоналізація часу.

В статье рассмотрены вопросы повышения качества обслуживания пассажиров в условиях функционирования скоростного движения. Проанализированы существующие технологии работы пассажирских и пассажирских технических станций. Предложены варианты рационализации времени обслуживания пассажиров путем усовершенствования оперативного управления работой вокзала пассажирской станции на основе применения элементов интеллектуальных технологий и методов имитационного моделирования. Разработана имитационная модель работы вокзала станции и оптимизационная модель по пропуску пассажиропотока.

Ключевые слова: скоростная магистраль, пассажирские перевозки, рационализация времени.

In the article the question of improving the quality of passenger service in the operation of high-speed traffic. The existing technology of passenger and passenger technical stations. Proposed options for streamlining time of passenger service by improving the operational management of the work station is a passenger station on the basis of application of intellectual technologies and simulation methods. Developed a simulation model of the station and the optimization model via the crossing traffic flow. When you create a model, in which passengers arrive at railway station and move to the departure gate, the logic model set with blocks of AnyLogic pedestrian library. Pedestrian library AnyLogic is a library simulation of pedestrian traffic in the physical space. It allows you to model buildings, which have accumulated large numbers of people (metro stations, railway stations, airports, shopping malls, stadiums, museums, etc.). The purpose of the simulation model is to reproduce the behavior of the system under study based on the results of the analysis of the most significant relationships between its elements.

The statistics are collected directly at the station at the time of the greatest load. To synchronize the collected data it is necessary to collect data at one time from all directions of passenger traffic. Passengers are divided into incoming and outgoing (suburban and long-distance passenger traffic). In turn, incoming passengers are sent with pre-purchased tickets, which go to cash (suburban and long distance), which are in a state of waiting. Prior to the departure, passengers who arrived and follow the exit from the station, passengers in anticipation of a transfer, or departure of the train, passengers who go to the cash desk.

In order to ensure a comfortable stay of passengers in the railway station, accelerate the service of registration of transport documents, and exclude delays, it is proposed to monitor cash services promptly, by introducing a decision support system to the automated workplace of the main cashier, which will allow adding additional resources from the coffee service for the period of overload system of service.

Keywords: highways, passenger transport, rationalization of time.

Вступ. У загальному ланцюзі руху пасажирських поїздів на мережі залізниць важливою та необхідною ланкою є вокзальні комплекси, на яких здійснюється обслуговування пасажирів. У цей час приділяється велика увага розвитку вокзальних комплексів, розширенню спектра послуг. На перше місце виходять комфорт, зручність і безпека пасажирів. Для досягнення поставлених цілей необхідно грамотно організувати взаємодію всіх діючих підрозділів вокзалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних дослідженнях теорії та принципів функціонування пасажирського комплексу особлива увага приділяється вдосконаленню економічних методів, розвитку відносин між залізницями, споживачами їхніх послуг і органами виконавчої влади всіх рівнів в Україні, створенню оптимальної тарифної політики. Багато країн планують поліпшити

міжміські зв'язки в регіонах шляхом розроблення проектів швидкісного залізничного транспорту. Розвиток сервісної мережі в регіонах може змінити ландшафти доступності та створити благополучні й невідгдані міста. У [1] досліджується як розвиток сервісу high-speed rail реорганізовує нерівномірність регіональної доступності шляхом розроблення нового вимірювання для включення частоти обслуговування поїзда до розрахунків, що досягли переважної швидкості. Результати показують, що розвиток мережі послуг HSR покращує регіональну доступність, але не має загального ефекту від перебудови існуючих моделей доступності.

У роботі [2] досліджено проблему визначення кращого набору частот у залізничній швидкій транзитній мережі, ураховуючи опуклі нелінійні змінні операційні витрати на сегментах. З

урахуванням топології мережі та моделей мобільності пасажирів пропонується методологія для визначення найкращого регулярного розкладу з урахуванням поглядів як користувачів, так і постачальників послуг. Запропонована методологія ілюструється за сценарієм реального розміру.

Метод оцінки ймовірності посадки пасажирів на кожний можливий поїзд, ймовірність розподілу кількості поїздів, до яких пасажир не може потрапити через обмеження потужності подано у роботі [3]. Розподіл часу входу / виходу є важливою складовою моделі у випадку дослідження за даними основного, перевантаженого напрямку під час пікових годин.

Непередбачуваний і незбалансований характер пасажиропотоку через часові та просторові залежності ускладнює розроблення та оптимізацію запланованих розкладів. У дослідженні [4] наведена модель, яка оснований на довгостроковому моделюванні для оцінки часу руху поїзда з погляду даних пасажиропотоків щодо ліній залізничного транспорту. Запропонована модель оцінює недоліки запланованих графіків, розраховуючи коефіцієнт навантаження залізничних ліній для різних часів та ділянок.

Визначення мети та задачі дослідження. Підвищення якості обслуговування пасажирів в умовах швидкісного руху шляхом удосконалення методів оперативного управління на основі застосування елементів інтелектуальних технологій.

Основна частина дослідження. Залежно від схеми пасажирської станції (наскрізного типу, тупикового або змішаного) технологія обробки пасажирських поїздів має певні особливості. Але при всіх умовах на пасажирських станціях з пасажирськими поїздами прямого та місцевого сполучення виконують такі операції: технічне обслуговування вагонів, екіпіровка водою, посадка та висадка пасажирів, випробування автоматичних

гальм, зміна локомотивів або локомотивних бригад.

Для вирішення завдання покращення обслуговування пасажирів потрібно обрати технологію імітаційного моделювання. Це метод дослідження, при якому система замінюється моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему, у якій проводяться експерименти з метою отримання інформації про цю систему. До імітаційного моделювання вдаються, якщо дорого або неможливо експериментувати на реальному об'єкті; неможливо побудувати аналітичну модель; необхідно зімітувати поведінку системи в часі.

Мета імітаційної моделі полягає у відтворенні поведінки досліджуваної системи на основі результатів аналізу найбільш суттєвих взаємозв'язків між її елементами або, іншими словами, – розробленні симулятора досліджуваної предметної галузі для проведення різних експериментів.

Інструмент AnyLogic дає змогу розробити власну бібліотеку моделювання вокзалів, яка допомагає скоротити час створення моделей за рахунок уже готових елементів розмітки простору, типових для вокзалів: платформ, сервісів і місць очікування. При створенні простої моделі, у якій пасажирів прибувають у вокзальний комплекс і рухаються до виходу на посадку, логіку моделі будуємо за допомогою блоків пішохідної бібліотеки AnyLogic. Вона дає змогу моделювати рух пішоходів у фізичному просторі, реагуючи на різні види перешкод у вигляді стін або інших пішоходів, зібрати статистику щільності пішоходів у різних областях моделі, обчислити час перебування пішоходів у якихось певних ділянках моделі, виявити можливі проблеми, які можна вирішити шляхом перепланування будівлі або додавання додаткових сервісів. Поведінка пішоходів задається блок-схемою.

У моделях відображуються існуючі процеси обслуговування пасажирів приміських поїздів і поїздів далекого

прямування [5]. Для максимального наближення до реальності модель уточнювалася на основі поточної обстановки на вокзалах і особливості поведінки пасажирів.

Статистичні дані зібрані безпосередньо на станції в момент найбільшого навантаження. Для синхронізації зібраних

даних необхідно проводити збір даних в один час з усіх напрямків пасажиропотоків.

Для розроблення імітаційної моделі, по-перше, необхідно розробити план вокзалу пасажирської станції з усіма технічними параметрами. План подано на рис. 1.

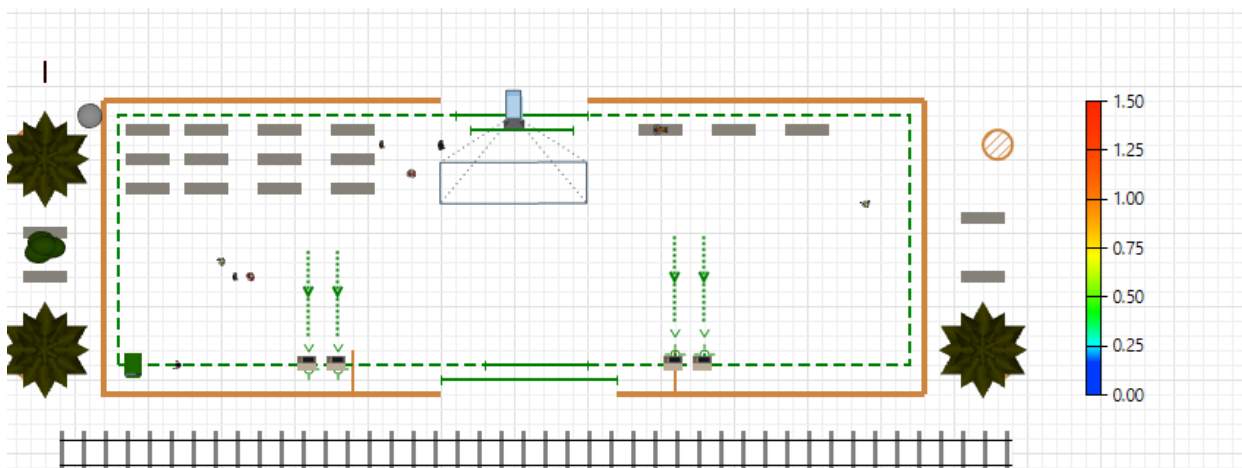


Рис. 1. План вокзалу пасажирської станції

Для технічного проектування пасажиропотоків було створено схеми пасажиропотоків. На цьому етапі були промодельовані напрямки прямування

пішоходів, пасажиропотоки були обрані як найбільш значущі.

Схеми руху пасажиропотоків зображені на рис. 2. Відповідно до цього формується і реальна логіка системи.

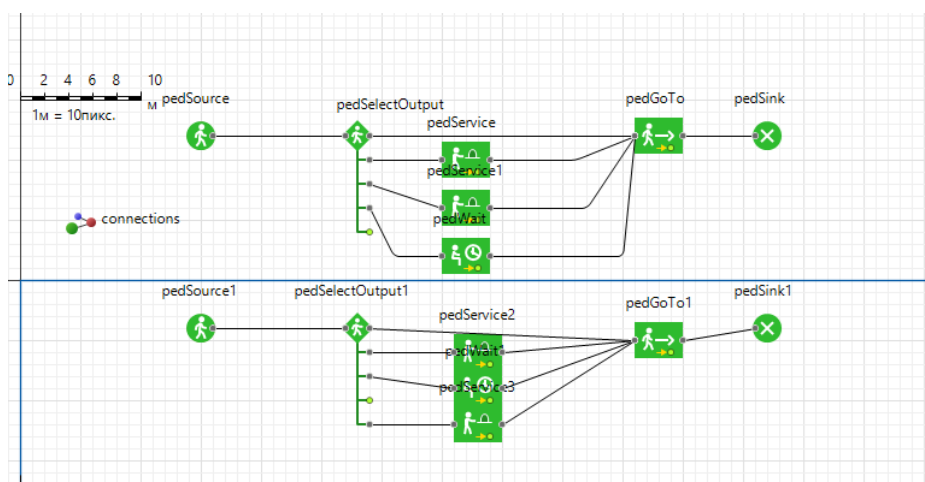


Рис. 2. Схема напрямку пасажиропотоків станції

Пасажиropотоки поділяються на вхідні та вихідні (приміський та дальній пасажиропотік). До вхідного належать пасажири, які відправляються із завчасно придбаними квитками, які прямують до кас (приміського та дальнього сполучення), які перебувають у стані очікування. До вихідного належать пасажири, які прибули

та прямують до виходу з вокзалу, пасажири в очікуванні пересадки або відправлення поїзда, пасажири, які прямують до кас.

Для наявності розробленої імітаційної моделі необхідно надати карту щільності розподілу пасажиропотоку на вокзалі пасажирської станції при існуючих кількостях квиткових кас (рис. 3).

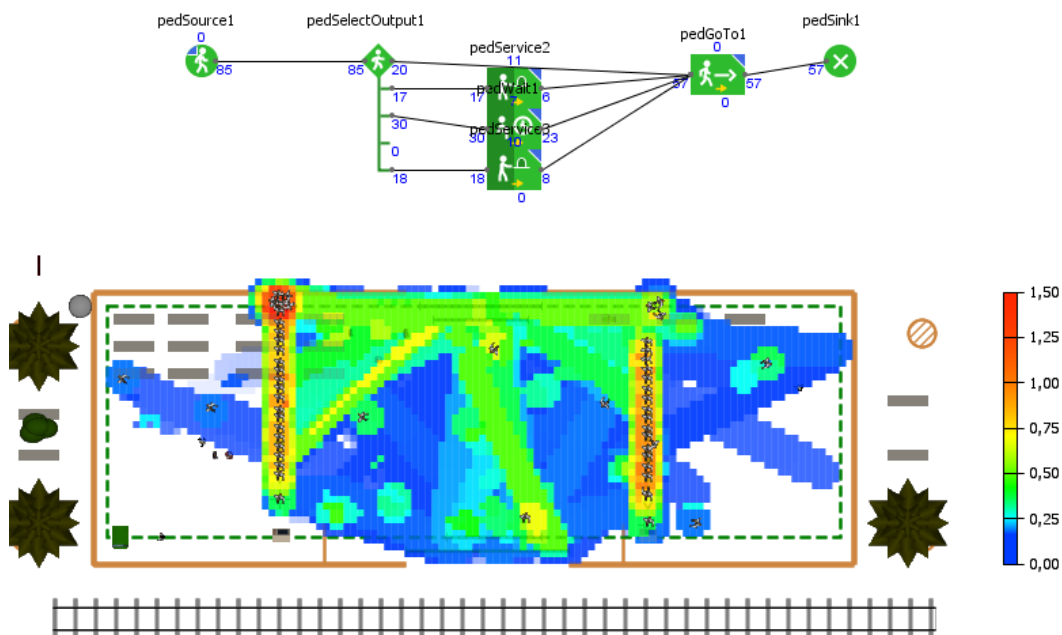


Рис. 3. Карта щільності розподілу пасажиропотоку на вокзалі пасажирської станції

У нашому випадку ускладнені черги до кас приміського та далекого прямування. Вони виділяються червоним кольором на карті щільності. Розрахунок ведеться за часовий період при обслуговуванні 85 пасажирів.

Для більш точного визначення щільності пасажиропотоків використовувався метод `getCurrentDensity`, який дає змогу розрахувати точне значення щільності для конкретної точки.

З огляду на вищезазначене, в умовах упровадження швидкісного руху на напрямках потрібно підвищувати якість обслуговування пасажирів, що, у свою чергу приведе до їх збільшення.

Для забезпечення комфортного перебування пасажирів у вокзальному комплексі, прискорення обслуговування з оформлення перевізних документів та виключення затримок пропонується оперативний моніторинг касового обслуговування шляхом упровадження системи підтримки прийняття рішень на автоматизоване робоче місце головного касира, що дасть змогу підключати додаткові ресурси з касового обслуговування на період перевантаження системи.

Імітаційна модель оптимізованого касового обслуговування наведена на рис. 4, 5.

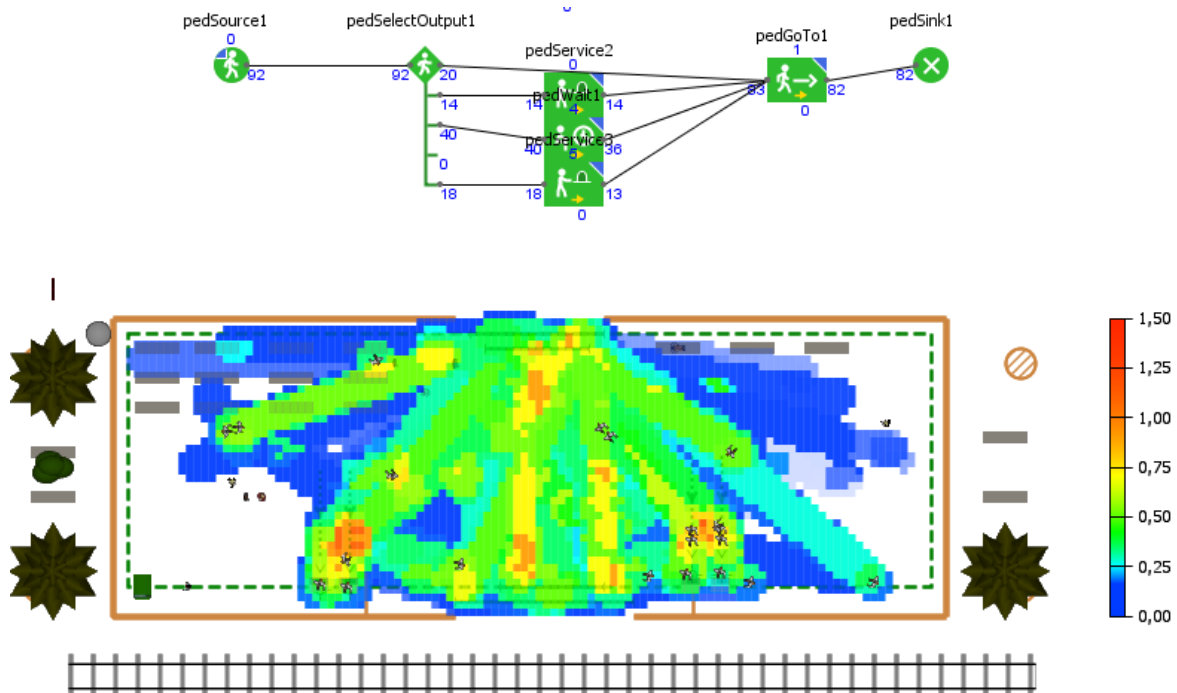


Рис. 4. Карта щільності розподілу пасажиропотоку на вокзалі пасажирської станції при впровадженні додаткових ресурсів касового обслуговування

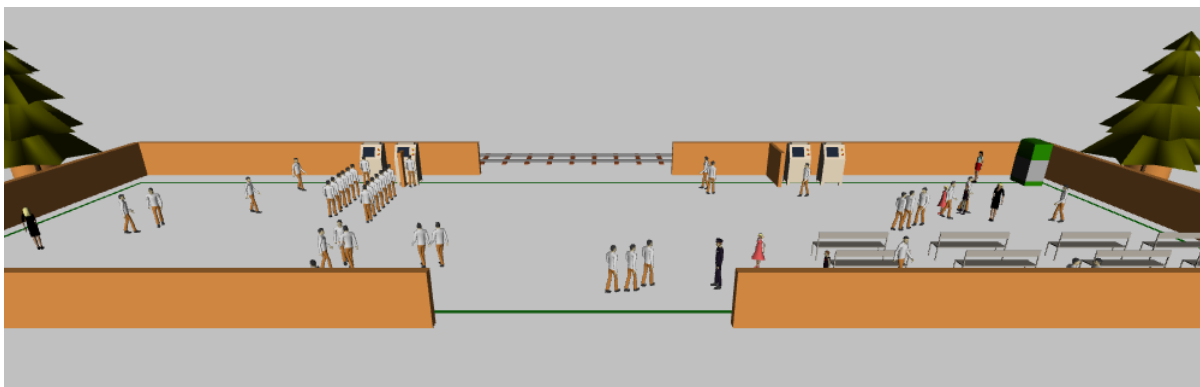


Рис. 5. 3D анімаційна модель пасажиропотоків при впровадженні додаткових ресурсів касового обслуговування

Висновки. Розроблена оптимізаційна модель пропуску пасажиропотоку вокзалу пасажирської станції є основою формування системи підтримки прийняття рішень на автоматизованому робочому місці оперативного персоналу, що дасть змогу в умовах підвищення швидкісного руху оперативно вирішувати питання розподілу пасажиропотоку.

Як свідчать результати проведених розрахунків, запропонований захід з удосконалення системи є економічно доцільним. З результатів моделювання можна побачити значне скорочення часу перебування пасажирів у черзі, що сприятливо впливає на загальний рівень підвищення якості обслуговування в умовах швидкісного руху.

Список використаних джерел

1. Lei, W. High-speed rail services development and regional accessibility restructuring in megaregions: A case of the Yangtze River Delta, China [Text] / W. Lei // *Transport Policy*. – 2018. – Volume 72. – P. 34–44.
2. CancaaJosé, D. The Railway Rapid Transit frequency setting problem with speed-dependent operation costs [Text] / D. CancaaJosé L. De los Santos M.Callea // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2018. – Volume 9117. – P. 494–519.
3. Haris, Y.Z. A probabilistic Passenger-to-Train Assignment Model based on automated data [Text] / Y.Z. Haris N.Koutsopoulou H.M.Wilson // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2017. – Vol. 104. – P. 522–542.
4. Zhibin, J. Evaluating rail transit timetable using big passengers [Text] / J. Zhibin H. Ching-Hsien X. DaqiangZhangc // *Journal of Computer and System Sciences*. – 2016. – Vol. 82. – P. 144–155.
5. Xiaochen, L. Field investigation on characteristics of passenger flow in a Chinese hub airport terminal[Text] / L. Xiaochen, L. Lingshan // *Building and Environment*. – 2018. – Vol. 133. – P. 51–61.
6. 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. – Vol. 9. Special Edition. – P. 123–129.
7. Колесникова, Н. М. Формування доходів від залізничних перевезень в умовах вертикально-інтегрованої системи управління [Текст] / Н. М. Колесникова, І. Г. Бакаєва, В. В. Чорний // *Зб. наук. праць Держ. екон.-технолог. ун-ту тр-ту. Серія: Економіка і управління*. – 2012. – Вип. 19. – С. 54–57.
8. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.

Долгополов Петро Віталійович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88.

E-mail: osnova2017@gmail.com.

Головка Тетяна Владиславівна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: tishatares@gmail.com.

Чернишенко Світлана Вікторівна, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (050) 161-46-06.

Долгополов Пётр Витальевич, канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. 730-10-88.

E-mail: osnova2017@gmail.com.

Головка Татьяна Владиславна, канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. 730-10-88.

E-mail: tishatares@gmail.com.

Чернышенко Светлана Викторовна, магистрант Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. (050) 161-46-06.

Dolgoplov Peter, PhD (Tech.), associate professor, Department of Management of Operational Work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: osnova2017@gmail.com.

Golovko Tatiana, PhD (Tech.), associate professor, Department of Management of Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: tishatares@gmail.com.

Chernyshenko Svetlana, master, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (050) 161-46-06.

Статтю прийнято 16.11.2018 р.

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА (144)

УДК 644.1 (477)

ВИБІР РЕКУПЕРАТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬ

Магістранти Г. С. Ткач, Є. Д. Сучкова, В. І. Сінчук

ВЫБОР РЕКУПЕРАТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

Магистранты А. С. Ткач, Е. Д. Сучкова, В. И. Синчук

THE CHOICE OF HEAT EXCHANGERS FOR THE VENTILATION SYSTEM OF BUILDINGS

Masters A. S. Tkach, E. D. Suchkova, V. I. Sinchuk

У статті розглянуто проблеми розрахунку та вибору рекуператорів, які встановлюються в систему вентиляції будівель закладів громадського харчування. У процесі вентилявання з приміщення утилізується не тільки відпрацьоване повітря, але й частина теплової енергії. Узимку це призводить до збільшення рахунків на енергоресурси. Скоротити невиправдані витрати, не на шкоду повітрообміну, дасть змогу рекуперація тепла в системах вентиляції централізованого і локального типу. Для регенерації теплової енергії використовуються різні види теплообмінників – рекуператори.

Ключові слова: опалення, розрахунок, рекуператор, втрати.

В статье рассмотрены проблемы расчета и выбора рекуператоров, которые устанавливаются в систему вентиляции зданий заведений общественного питания. В процессе вентилирования из помещения утилизируется не только отработанный воздух, но и часть тепловой энергии. Зимой это приводит к увеличению счетов на энергоресурсы. Сократит неоправданные расходы, не в ущерб воздухообмену, позволит рекуперация тепла в системах вентиляции централизованного и локального типа. Для регенерации тепловой энергии используются различные виды теплообменников – рекуператоры.

Ключевые слова: отопление, расчет, рекуператор, потери.

The article deals with the problems of calculation and selection of recuperators, which are installed in the ventilation system of buildings of public catering establishments. In article razganata problem rozrahunkiv vyboru heat exchangers, that ustanovlyuvalysya in the ventilation system Budivel zakladu gromadska harchuvannya In the process of ventilation from the room is utilized not only waste air but also a portion of the thermal energy. In winter, this leads to an increase in energy bills. Heat recovery in centralized and local ventilation systems will allow to reduce unnecessary costs, not to the detriment of air exchange. Different types of heat exchangers are used for heat energy recovery. The article considers the problems of analysis and selection of heat exchangers that are installed in the ventilation system of buildings of public catering establishments working Principle of any heat exchanger supply and exhaust units is as follows. It provides heat transfer (in some models – and cold exchange, as well as moisture exchange) between the flows of supply and exhaust air. The process of heat exchange can occur continuously - through

the walls of the heat exchanger, with the help of freon or intermediate coolant. The heat exchange can be periodic, as in the rotary and chamber recuperator. As a result, the exhaust air emitted is cooled, thus heating the fresh supply air. The process of cold exchange in some models of recuperators takes place in the warm season and allows you to reduce energy consumption for air conditioning systems due to some cooling supplied to the room supply air. Moisture exchange is between the streams of exhaust and supply air, allowing you to maintain a comfortable room for human humidity year-round, without the use of any additional devices – humidifiers and others.

Keywords: heating, calculation, heat exchanger, losses

Вступ. У сучасному житті усі підприємства прагнуть до економного ведення бізнесу. Тобто сучасні підприємства враховують усі фактори, які впливають на бізнес, навіть витрати на опалення та енергоефективність цієї системи.

І це є правильним рішенням, тому що, вклавши кошти у сучасну й енергоефективну систему опалення зараз, компанії економлять у майбутньому. Тому при будівництві нових підприємств ураховують тепловтрати приміщення, розташування та характеристики об'єкта, а також кліматичні умови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тепловтрати мають важливе значення при розробленні та розрахунку систем опалення для підприємств, тому їх реальний розрахунок можна побачити у роботах Панфілова С. О. та Кабанова О. В. [1].

Підвищення ефективності рекуперації тепла витяжного повітря у вентиляційних каналах досліджували Васильєв Г. П., Тимофєєв Н. А. та Голубєв С. С.

Теплообмін у приміщеннях розглянуто у наукових роботах Даніна В. В., Цветкова О. Б., Семашка С. Є. Особливості розрахунку систем опалення на сьогоднішній день можна побачити у роботах Міллера В. В., Жиліної Г. С.

Розрахунок енергозберігаючого обладнання в системах кондиціонування і вентиляції повітря та застосування рекуператора можна побачити у роботі Дуболазова Л. В., Богословського В. Н. [4].

Визначення мети і задачі дослідження. На сьогоднішній день для забезпечення витрат на опалення сучасні підприємства встановлюють комбіновану систему опалення, у систему вентиляції якої встановлюють рекуператор, який може повертати частину теплоти з приміщення.

Основна частина дослідження. На прикладі закладів громадського харчування ми розглянули приклад вибору ефективного рекуператора, який устатковується з витяжною вентиляцією.

Тобто під поняттям «ефективний рекуператор» ми розуміємо прилад, який буде підходити для кожного конкретного закладу. Для того, щоб визначити рекуператор, нам треба знати температуру на вході та виході, теплоємність та швидкість теплоносія. Але для більш точного розрахунку, потужність рекуператора можна розрахувати за більш детальними параметрами.

Для цього використовуються більш розгорнуті дані. Вони враховують параметри таких приладів: грилі для жарення, тостери для запікання, фритюрниці, поверхні для доготування та підігрівання, шафа для зберігання готової продукції, кількість та потужність освітлювальних приладів.

Також ураховується кількість робочого персоналу у різний проміжок часу (день та ніч), середня кількість відвідувачів удень та вночі.

Усі ці дані зводяться у залежність, яка визначає потужність рекуператора, що необхідна для конкретного закладу.

$$Q_p = f(Q_{Г}, Q_{Т}, Q_{ф}, Q_{n.n.}, Q_{ш}, Q_{o.n.}, Q_{p.n.1}, Q_{p.n.2}, Q_{в.д.}, Q_{в.н.}) \cdot C_v \cdot (t_{ex} - t_{вix}), \quad (1)$$

де $t_{вх}$ – температура на вході;
 $t_{вих}$ – температура на виході;
 C_v – теплоємність, Дж/К;
 Q_g – потужність грилів;
 Q_T – потужність тостерів;
 Q_f – потужність фритюрниць;
 $Q_{п.п}$ – потужність поверхонь для підігрівання;
 $Q_{ш}$ – потужність шкафи для холодної продукції;
 $Q_{о.п}$ – потужність освітлювальних приладів;
 $Q_{р.п.1}/Q_{р.п.2}$ – кількість працівників вдень та в нічну зміну;
 $Q_{в.д}$ – кількість відвідувачів удень;
 $Q_{в.н}$ – кількість відвідувачів уночі.

Багато промислових підприємств, особливо ті, де працюють люди, а не тільки автоматизовані лінії виробництва, потребують опалення в холодну пору року.

Опалювати такі приміщення можна різними способами, але, як зберегти тепло в них, особливо там, де весь час щось привозять, вивозять тощо. Коли входні двері часто відчиняються і зачиняються? Для цього можна використовувати теплові завіси, самі стіни, дах і навіть підлогу додатково утеплити, установити високоякісні віконні рами з подвійним або потрійним склопакетом і не тільки.

Також нормалізувати конвекцію повітря можна за допомогою використання рекуператора або кондиціонера. Наприклад витяжна вентиляція з кухонної витяжки повинна оснащуватися самозакривним клапаном. Деякі витяжні отвори в зимовий сезон слід перекривати частково, а деякі повністю. Правильно налаштована рекуперація, вентиляція і повітрообмін економлять теплову енергію.

Також важливу роль у розрахуванні систем опалення на підприємствах мають тепловтрати приміщення. Огороджувальні конструкційні елементи будівель служать своєрідним щитом, який захищає споруду від негативного впливу кліматичних явищ: вітрів, вологи, різких коливань температури повітря. Крім того, вони перешкоджають

проникненню всередину приміщення холодних повітряних мас. Крім цього, огороджувальні конструкції виступають як елементи будови, що являють собою опір теплопередачі. Інакше кажучи, вони запобігають виходу теплого повітря з внутрішніх приміщень назовні. Вони характеризуються високими теплоізоляційними властивостями.

Рекуперація у вентиляції є досить новою технологією. Її дія основана на можливості використовувати тепло, що видаляється, для обігріву приміщення. Відбувається це завдяки окремим каналам, тому повітряні потоки між собою не змішуються. Конструкція рекуперативних вузлів може бути різною, деякі типи дають змогу уникнути утворення конденсату під час процесу тепловіддачі. Від цього також залежить і рівень продуктивності системи в цілому.

Вентиляція з рекуперацією тепла може видавати під час роботи високий коефіцієнт корисної дії (ККД), який залежить від типу рекуперативного вузла, швидкості руху повітряних потоків через теплообмінник і від того, наскільки велика різниця між температурою зовні і всередині приміщення. Значення ККД в деяких випадках, коли вентиляційна система спроектована з урахуванням усіх факторів і має високу продуктивність, може досягати 96 %. Але навіть з урахуванням наявності похибок у роботі системи мінімальна межа ККД становить 30 %.

Метою рекуперативного вузла є максимально ефективно використання ресурсів вентиляції для подальшого забезпечення достатнього повітрообміну в приміщенні, а також економія електроенергії. З урахуванням того, що припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією функціонує більшу частину доби, а також, беручи до уваги, що забезпечення достатньої кратності повітрообміну вимагає чималої потужності обладнання, то застосування системи вентиляції з вбудованим вузлом

рекуперації допоможе заощадити до 30 % електроенергії.

Недоліком такої техніки можна назвати досить малу ефективність при установленні на великих площах. При цьому витрата електрики буде високою, а продуктивність системи, спрямована на теплообмін між повітряними потоками, може виявитися помітно нижче очікуваної межі. Це пояснюється тим, що на малих площах набагато швидше відбувається повітрообмін, ніж на великих об'єктах.

Висновки. Отримана залежність дає можливість:

- підібрати необхідний рекуператор до системи вентиляції для закладів громадського харчування;
- отримати економію при придбанні рекуператора, що допоможе ефективно зберігати тепло та в подальшому його використовувати;
- заощадити кошти при проектуванні комбінованої системи опалення та вентиляції з установленим рекуператором.

Список використаних джерел

1. Кабанов, О. В. Современные методы определения теплофизических свойств объектов [Текст] / О. В. Кабанов, С. А. Панфилов // Материалы научной конференции «XLIV Огарёвские чтения». – Саранск : МГУ им. Н. П. Огарёва, 2016. – С. 156–160.
2. Разработка метода определения теплофизических свойств объектов [Текст] / О. В. Кабанов, С. А. Панфилов, А. С. Хрёмкин, М. А. Бобров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 253–256.
3. Аметистов, Е. В. Основы теории теплообмена [Текст] / Е. В. Аметистов. – М. : Изд. МЭИ, 2000. – 242 с.
4. Богословский, В. Н. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования [Текст] / В. Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.

Ткач Анна Сергіївна, магістрант, кафедра теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 913-17-14. E-mail: atkach0808@gmail.com.
Сучкова Євгенія Дмитрівна, магістрант, кафедра теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095) 426-83-77. E-mail: eva.suchkova.95@mail.ru.
Сінчук Владислав Ігоревич, магістрант, кафедра теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (067) 759-79-15. E-mail: vlad.snchk@gmail.com.

Ткач Анна Сергеевна, магистрант, кафедра теплотехники и тепловых двигателей Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (050) 913-17-14.
E-mail: atkach0808@gmail.com.
Сучкова Евгения Дмитриевна, магистрант, кафедра теплотехники и тепловых двигателей Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (095) 426-83-77.
E-mail: eva.suchkova.95@mail.ru.
Синчук Владислав Игоревич, магистрант, кафедра теплотехники и тепловых двигателей Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (067) 759-79-15.
E-mail: vlad.snchk@gmail.com.

Tkach Anna S., master, Department of Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (050) 913-17-14. E-mail: atkach0808@gmail.com.
Suchkova Evgenia D., master, Department of Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (095) 426-83-77. E-mail: eva.suchkova.95@mail.ru.
Sinchuk Vlad I., master, Department of Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (067) 759-79-15. E-mail: vlad.snchk@gmail.com.

Статтю прийнято 12.11.2018 р.

