

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

СЕРІЯ

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

ВИПУСК 34

Київ·ДУІТ·2019

УДК 656:62

Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 34. – К.: ДУІТ, 2019. – 322 с.

ISSN 2617-9040

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним і прикладним проблемам транспортної галузі. У статтях збірника розглядаються питання транспортної інфраструктури та рухомого складу, технології та організації транспортних процесів, інформаційних та комп'ютерних технологій на транспорті, математичного моделювання об'єктів транспорту, екологічної безпеки на транспорті.

У підготовці випуску брали участь відомі вчені, фахівці в галузі транспорту, викладачі провідних вищих навчальних закладів України, члени Центрального наукового центру Транспортної академії України.

Для науковців, викладачів, студентів вищих навчальних закладів і працівників транспорту та зв'язку.

Редакційна колегія:

О.М. Горобченко, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» (головний редактор);

Н.С. Брайковська, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» (заступник головного редактора);

В.М. Твердомед, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» (заступник головного редактора);

О.В. Фомін, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» (заступник головного редактора);

В.В. Панін, доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету інфраструктури та технологій;

П. О. Сок, кандидат наук з державного управління, доцент, проректор з наукової роботи Державного університету інфраструктури та технологій;

Е.І. Даніленко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», академік Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Заслужений діяч науки і техніки України;

О.І. Стасюк, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», член-кореспондент Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

В.К. Мироненко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць», академік ТАУ, академік Міжнародної академії життєдіяльності;

В.П. Ткаченко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць»;

Л.І. Тимченко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»;

В.М. Самсонкін, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Управління процесами перевезень»;

С.Ю. Сапронова, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»;

М.Б. Кельріх, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»;

В.М. Іщенко, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство»;

В.В. Косарчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка»;

О.Г. Стрелко, доктор історичних наук, доцент, професор кафедри «Управління процесами перевезень»;

О.А. Герцй, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту»;

В.І. Мацюк, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Управління процесами перевезень»;

С.А. Ісасико, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри «Іноземні мови»;
А.І. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень»;
О.Я. Пилипчук, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності»;
О.М. Шикуча, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедрою «Інформаційні технології»;
Б. Г. Любарський, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електричний транспорт і тепловозобудування» НТУ «Харківський політехнічний інститут»;
А.П. Фалендиш, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни» Українського державного університету залізничного транспорту;
А.В. Прохорченко, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою» Українського державного університету залізничного транспорту;
В.Г. Пузир, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Українського державного університету залізничного транспорту;
М.І. Горбунов, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля;
А.В. Путятю, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Локомотиви» Білоруського державного університету транспорту (Республіка Білорусь);
С. Андонова (S. Andonova), Assoc. Prof. Eng., PhD, завідувач кафедри «Машинобудівна техніка і технології», Південно-Західний університет "Неофіт Рилські" (Болгарія);
Ю. Герліці (J. Gerlici), Prof., Dr. Ing., завідувач кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету (Словацька Республіка);
В. Хаусер (V. Hauser), Ing., PhD, науковий співробітник кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету (Словацька Республіка);
Я. Діжо (J. Dižo), Ing., PhD, доцент кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету (Словацька Республіка);
Р. Кершис (R. Keršys), PhD, Assoc. Prof., кафедра транспортної інженерії, Каунаський технологічний університет (Литва);
Г.М. Голуб, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» (технічний секретар);
І.О. Саяніна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» (технічний секретар).

Статті збірника проходять обов'язкове сліпе рецензування, друкуються мовою оригіналу. Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився. Сайт tst.duit.edu.ua

Збірник індексується наукометричними базами: IndexCopernicus, DOAJ, НБУВ, Google Scholar.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДУІТ (протокол № 6 від 28 листопада 2019 р.).

Засновник і видавець – Державний університет інфраструктури та технологій
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23070-12910ПР від 27.12.2017

Збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів
доктора та кандидата наук у технічній галузі
(Додаток 11 до наказу Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 № 1528).

УДК 629.4.014.64

*Крашенінін О.С., доктор технічних наук, професор
(професор кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
Українського державного університету залізничного транспорту);*

Яковлев С.С.

*(аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
Українського державного університету залізничного транспорту);*

Шапатіна О.О.,

*(асистент кафедри «Управління вантажною і комерційною роботою»
Українського державного університету залізничного транспорту)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИМЧАСОВОГО РЕЗЕРВУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

У статті розглядаються питання впливу тимчасового резервування роботи окремого обладнання локомотивів на його надійність за умови різних законів розподілу часу роботи, часу відновлення, часу на тимчасове резервування.

Ключові слова: *закон розподілу випадкових величин, резервування, коефіцієнт готовності, середнє напруження, середній час відновлення.*

Вступ. За останні роки в нашій країні поступово набуває розвиток швидкісний залізничний рух. У більшості швидкісний рухомий склад (ШРС), що експлуатується у країні, побудований за кордоном і не завжди режим його експлуатаційних навантажень відповідає рекомендаціям постачальників цієї техніки. Це приводить до зриву руху поїздів, великих простоїв на перегонах, що пояснюється, як загальним станом залізниць, так і інтенсивністю використання цього ШРС.

Ще одним негативним чинником є проблема організації ТО, ПР даного рухомого складу. Сучасна ремонтна інфраструктура локомотивного господарства не була адаптована до проведення ТО, ПР ШРС [10, 11]. Організація великих видів ремонту можлива тільки в окремих локомотивних депо, але і в цьому випадку виконується ремонт не всього обладнання ШРС. Але не тільки для ШРС виникають такі проблеми, тому що діючий тяговий рухомий склад досяг або перевищив нормативний термін використання, ремонтна база оновлюється повільно, технологічні процеси ТО, ПР не коректуються у період життєвого циклу. Все це потребує як практичного так і теоретичного обґрунтування стратегії і тактики ТО, ПР ТРС.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-1

Намічені програми реструктуризації та розвитку галузі повинні втілювались у практику роботи локомотивного господарства і не ігноруватись.

З наукової точки зору потрібні обґрунтуванні рішення щодо приведення у відповідність кроків із поліпшення роботи всієї інфраструктури залізниць із науковими досягненнями, що поки залишаються не реалізованими.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблем. В ряді країн робота ШРС стала звичайним явищем. Разом з використанням ШРС в експлуатацію формувалася ідеологія системи його утримання, основою якої є обов'язкове діагностування роботи вузлів і агрегатів рухомого складу як в експлуатації, так при постановці в ремонт, моніторинг технічного стану обладнання, розвиток сервісу, створення нової ремонтної інфраструктури, яка спроможна освоювати ремонт не тільки для приписного парку, але і парку локомотивів іншого депо.

Спектр досліджень в нашій країні включав пошук рішень створення оптимальної системи ТО, ПР локомотивів, впровадження стаціонарного і вбудованого діагностування системи локомотивів, оцінки життєвого циклу ТРС [10, 11].

Разом з цим потребує глибокого розгляду питання впливу випадкової природи виникнення відмов з обґрунтуванням стратегії їх попередження.

Мета і завдання дослідження. Мета полягає в дослідженні впливу тимчасового резервування роботи окремого обладнання локомотивів на його надійність.

Завданням дослідження є проведення розрахунку з урахуванням різних законів розподілу часу роботи до відмови, часу на відновлення, часу на тимчасове резервування.

Матеріали та методи дослідження. Методи забезпечення і підвищення надійності техніки можна сформулювати і науково обґрунтувати, якщо проаналізувати функціональні зв'язки між показниками надійності і розрахункові співвідношення для показників надійності складних систем, яким є тяговий рухомий склад і локомотиви.

Показниками надійності відновлюваних систем є: функція готовності $K_r(t)$, коефіцієнт готовності K_r , напрацювання на відмову T , параметр потоку відмов $\varpi(e)$. Основною формулою визначення коефіцієнта готовності є

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}, \quad (1)$$

де T_B – середній час відновлення системи.

Напрацювання на відмову T залежить від показників надійності, таких як інтенсивність відмов елементів і складність системи. Середній час відновлення залежить від інтенсивності відновлення елементів μ_i , числа обслуговуючих бригад k і дисципліни обслуговування (do) . Таким чином, готовність системи є функцією тих же параметрів, що і ймовірність безвідмовної роботи, а також параметрів відновлення μ_i , k , (do) . Тоді $H = f(n, \lambda, t, \mu_i, k, (do))$. Звідси

очевидно, що для підвищення готовності системи необхідно підвищувати її ремонтпридатність (збільшувати μ_i) і вибирати раціональну дисципліну обслуговування (число ремонтних органів, пріоритетність обслуговування). Сучасні технічні системи настільки складні, а вимоги їх надійності настільки високі, що перелічені методи часто недостатні для задоволення вимог на показники надійності. Доводиться вдаватися до крайніх заходів - вводити надмірність в структуру системи. Тоді надійність системи буде залежати від кратності резервування m , виду резервування ($вр$), способу реалізації ($ср$). Тоді функція надійності матиме вигляд:

$$H = f(n, \lambda_i, t, \mu_i, k, (\partial o), m, (вр), (ср)) \quad (2)$$

З метою підтримання високої надійності техніки в процесі її експлуатації проводяться такі заходи, як технічне обслуговування, ремонт, модернізація, продовження ресурсу. Ці заходи назвемо умовами експлуатації ($ус$). Тоді функція надійності має вигляд:

$$H = f(n, \lambda_i, t, \mu_i, k(\partial o), m, (вр), (ср), (ус)) \quad (3)$$

Розглянемо, зокрема, вплив резервування на надійність роботи систем локомотивів.

Тимчасове резервування (тимчасова надмірність) є важливим засобом підвищення надійності технічних. Система має тимчасовий резерв, якщо для усунення відмови вона має певний запас часу. Тимчасової резерв може бути як постійною, так і випадковою величиною [2, 3, 5, 6, 7]. Якщо після будь-якого відмови системи тимчасової резерв має один і той же запас часу, то резерв є поповнюваним. Якщо в результаті відмови система продовжує "витрачати" резервний час, що залишився після попередньої відмови, то резерв є не поповнюваним. Залежно від цього розрізняють системи з поповнюваним або не поповнюваним резервом часу [5, 6]. Припустимо, що система має поповнюваним резервом часу. Тоді стаціонарні показники надійності, такі як напрацювання на відмову, середній час відновлення і коефіцієнт готовності, визначаються наступними співвідношеннями:

$$T_c = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}, \quad T_{BC} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) H(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}, \quad T_{BC} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{T + T_B}, \quad (4)$$

де T – напрацювання на відмову системи при відсутності тимчасового резерву;

T_B – середній час відновлення системи при відсутності тимчасового резерву;

$G(t)$ – функція розподілу часу відновлення системи, $\bar{G}(t) = 1 - G(t)$;

$H(t)$ – функція розподілу резерву часу, $\bar{H}(t) = 1 - H(t)$.

Зокрема, при постійному резерві часу, рівному $t_{рез}$, мають місце формули:

$$T_C = \frac{T + T_B - \Psi(t_{рез.})}{\bar{G}(t_{рез.})}, \quad T_{BC} = \frac{\Psi(t_{рез.})}{\bar{G}(t_{рез.})}, \quad K_r = \frac{T + T_B - \Psi(t_{рез.})}{T + T_B}, \quad (5)$$

$$\Psi(t) = \int_0^{\infty} \bar{G}(t+x) dx$$

Показники надійності системи залежать від закону розподілу часу відновлення системи і величини тимчасового резерву і не залежать від закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Функція готовності системи з поповнюваним резервом часу визначається виразом:

$$K_r(t) = \bar{F}(t) + (\bar{F} \cdot g + \bar{G}\bar{H}) \cdot \omega(t), \quad (6)$$

де $\bar{F}(t)$ – функція розподілу часу безвідмовної роботи системи, $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$;

$g(t)$ – щільність розподілу часу відновлення системи;

$\omega(t)$ – параметр потоку відмов нерезервованої системи:

$$\omega(t) = \sum_{k=0}^{\infty} f^{*(k+1)} \cdot g^{*(k)}(t);$$

* – позначення згортання функцій:

$$f \cdot g(t) = \int_0^t f(t-x) g(x) dx;$$

$f^{*(k+1)}(t)$ – $(k+1)$ - коротке згортання функції $f(x)$;

$g^{*(k)}(t)$ – k - коротке згортання функції $g(x)$;

Імовірність безвідмовної роботи системи з поповнюваним резервом часу є рішення наступного інтегрального управління:

$$\Gamma(\alpha, \beta), R(\lambda), \text{Exp}(\lambda), TN(m_0, \sigma_0), W(\alpha, \beta), M + \sigma \approx \text{const} \quad (7)$$

Зауважимо, що тимчасові показники надійності залежать від закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Інтегруючи (7), отримаємо вираз для середнього часу безвідмовної роботи системи:

$$T_{1c} = \frac{\int_0^{\infty} (\bar{F}(t) + f \cdot (\bar{G}\bar{H})(t)) dt}{1 - \int_0^{\infty} (g\bar{H})(t) dt} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}$$

З формули (5) випливає, що середній час безвідмовної роботи дорівнює напрацюванню на відмову: $T_{1c} = T_c$.

Зведемо в табл. 1 розрахунки по визначенню часу до відмови, часу на відновлення, закону розподілу часу на відновлення, функцію тимчасового резервування, функцію щільності розподілу відновлення для деяких законів розподілу випадкових величин.

В таблиці 1

$\Phi_0(t)$ – функція Лаплас;

$\Gamma(t)$ – гама-функція;

$I(\alpha, t)$ – неповна гама-функція.

Таблиця 1. Параметри надійності

Закон розподілу		Гамма, $\Gamma(\alpha, \beta)$	Редя $R(\lambda)$	Експоненціальне $Exp(\lambda)$
Параметри				
1	2	3	4	5
1	Час до відмови	M, σ		
		$\alpha = 16, \beta = 12, 5$ $M = \alpha\beta = 16 \cdot 12, 5 = 200$ $\sigma = \sqrt{\alpha \cdot \beta} = \sqrt{16 \cdot 12, 5} = 50$	$M = \sqrt{\frac{\pi}{4\pi}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 170$ $\sigma = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 89$ $\lambda = 0,00002714^{-1}$	$\lambda = 0,008$ $m = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,008} = 125$ $\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,008} = 125$
2	Час відновлення	M_B, σ_B		
		$M_B = \alpha \cdot \beta_1$ $M_B = 0,5 \cdot 20 = 10$ $\sigma_B = \sqrt{\alpha_1 \cdot \beta_1} = \sqrt{0,5 \cdot 20} = 14,14$ $t_B = M_B + \sigma_B = 10 + 14,14 = 24,14$	$M_B = \sqrt{\frac{\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 104$ $\sigma_B = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\pi}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 5,24$ $t_B = m_B + \sigma_B = 10 + 5,2 = 15,24$ $\lambda_1 = 0,0078544^{-1}$	$\lambda_1 = 0,133$ $m_B = \frac{1}{0,133} = 7,5$ $\sigma_B = \frac{1}{0,133} = 7,5$ $t_B = 7,5 + 7,5 = 15$
3	Закон розподілу часу на відновлення	$\bar{G} = 1 - G$		
		$G_1 = 1 - I\left(\alpha_1; \frac{t_B}{\beta_1}\right)$ $G_1 = \bar{G}$ $\bar{G} = 1 - I\left(0,5; \frac{24,14}{20}\right) = 1 - I(0,5; 1,2) = 1 - 0,215 = 0,785$	$G_1 = \bar{G} = 1 - e^{-\lambda t_B} = 1 - 2,71^{-0,007854(15,2)^2} = 0,835$	$G = e^{-\lambda t} = e^{-0,133 \cdot 15} = 0,136$ $\bar{G} = 1 - G = 0,864$
4	Функція резервування	$\psi(t) = \int_0^t \bar{G}(t+x)$		
		$\psi(t) = \alpha_1 \beta_1 \left(1 - I\left(\alpha_1 + 1; \frac{t}{\beta_1}\right)\right) - t \left(1 - I\left(\alpha_1; \frac{t}{\beta_1}\right)\right); t = 5$ $\psi(t) = 0,5 \cdot 20 \left(1 - I\left(0,5 + 1; \frac{5}{20}\right)\right)$ $- 5 \left(1 - I\left(0,5; \frac{5}{20}\right)\right) = 0,5 \cdot 20 (1 - I(1,5; 0,25)) -$ $5 (1 - I(0,5; 0,25)) = 10 (1 - 0,814) - 5 (1 - 0,849) = 1,1$	$\varphi(t) = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda_1}} (0,5 - \Phi_0(\sqrt{2\lambda_1} \cdot t)) = \sqrt{\frac{3,14}{0,007854}}$ $(0,5 - \Phi_0(\sqrt{2 \cdot 0,007854} \cdot 5)) = 19,99 (0,5 - \Phi_0(0,6266)) =$ $19,99 (0,5 - 0,2348) = 5,31$	$\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t}, t = 5$ $\frac{1}{0,133} e^{-0,133 \cdot 5} = 3,87$
5	Плани функції розподілу відновлення	$g(t)$		
		$g = \frac{t_B^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}; \Gamma = (\alpha_1 = 0,5) = \frac{\Gamma(1,5)}{0,5} = \frac{0,8862}{0,5} = 1,77$ $g = \frac{24,14^{0,5-1} \cdot e^{-\frac{24,14}{20}}}{20^{0,5} \cdot \Gamma(0,5)} = \frac{24,14^{-0,5} \cdot e^{-1,2}}{20^{0,5} \cdot \Gamma(0,5)} = \frac{1}{491,33} = 0,002$ $g = \frac{24,14^{0,5-1} \cdot e^{-1,2}}{20^{0,5} \cdot \Gamma(0,5)} = \frac{1}{491,33} = 0,002$	$g = 2\lambda t e^{-\lambda t^2} = 2 \cdot 0,007854 \cdot$ $15,2 e^{-0,007854 \cdot 15,2^2} = 0,039$	$g = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} = 0,133 e^{-0,133 \cdot 15} = 0,018$

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Закон розподілу		Усічене нормальне $TN(m_0, \sigma_0)$		Вейбулла $W(\alpha, \beta)$	
Параметри					
1	2	3	7	8	
1	Час до відмови	M, σ	$m_0 = 150; \sigma_0 = 50$ $m = m_0 + k\sigma_0 = 150 + 50 * 0,000016 = 150...$ $\sigma = \sigma_0 \sqrt{1 + k \frac{m_0}{\sigma_0} - k^2} \approx 50$ $k = \frac{C}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}} = \frac{1,007}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{150^2}{2 \cdot 50^2}} = 1,00 \cdot 0,000016$ $C = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{150}{50}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0(3)} = \frac{1}{0,5 + 0,49865} = 1,007$	$m = \rho \Gamma^* \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \beta = 230, \alpha = 2$ $\sigma = \beta \sqrt{\Gamma^* \left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^{*2} \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}$ $m = 230 \left(1 + \frac{1}{2}\right) = 230 \cdot 0,886 = 203,8$ $\sigma = 230 \sqrt{\Gamma^* \left(1 + \frac{2}{2}\right) - \Gamma^{*2} \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 230 \cdot 0,463 = 106,5$	
2	Час відновлення	M_B, σ_B	$m_0 = 10 + 0,039 * 5 = 10,19$ $\sigma_B = 5 \sqrt{1 + 0,039 \frac{10}{5}} = 5,19$ $C = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0(2)} = \frac{1}{0,5 + 0,97725} = 0,677$ $k = \frac{0,677}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{10^2}{2 \cdot 5^2}} = 0,677 \cdot 0,05369 = 0,039$ $t_B = 10,19 + 5,19 = 15,4$	$\beta_1 = 10, \alpha_1 = 1,5$ $m_B = \beta_1 \Gamma^* \left(1 + \frac{1}{\alpha_1}\right) = 10 \cdot 0,903 = 9$ $\sigma_B = 10 \cdot 0,612 = 6,12$ $t_B = 9 + 6,12 = 15,12$	
3	Закон розподілу часу на відновлення	$\bar{G} = 1 - G$	$P(t) = \frac{0,5 - \Phi_0\left(\frac{t - m_0}{\sigma_0}\right)}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)} = \frac{0,5 - \Phi_0\left(\frac{15,4 - 10}{5}\right)}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)} = \frac{0,5 - (-1 - 0,8599)}{0,5 + 0,97725} = 0,2436$ $\bar{G}(t) = 1 - 0,2436 = 0,756$	$P = e^{\left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}} e^{-\left(\frac{15,12}{10}\right)^{1,5}} = 0,15$ $\bar{G} = 1 - e^{\left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}} = 1 - 0,157 = 0,843$	
4		$\psi(t) = \int_0^t \bar{G}(t + x)$	$\sigma_0^2 g(t) - (t - m_0) \bar{G}(t) = 5^2 \cdot 0,03 - (5,1 - 10) \cdot 0,765 = 0,7538 - (-3,78) = 4,534$	$\psi(t) = \frac{\beta_1}{\alpha_1} \Gamma^* \left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \left(1 - \Gamma^* \left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}\right)$ $\frac{\Gamma^*(1,67)}{0,67} = \frac{0,9033}{0,67} = 1,348$	
5	Плани функції розподілу відновлення	$g(t)$	$\frac{e^{-\frac{(t - m_0)^2}{2\sigma_0^2}}}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \left(0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)\right) = \frac{e^{-\frac{(15,4 - 10)^2}{2 \cdot 5^2}}}{5 \sqrt{2\pi}} \left(0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)\right) = \frac{e^{-0,3832}}{5 \sqrt{2\pi} (0,5 + 0,97725)} = \frac{e^{-0,3832}}{12,53147725} = 0,03$	$I = (0,67; 0,354) = 0,423$ $\psi(t) = 5,19$	$g = \frac{\alpha_1^{\alpha_1} e^{-\left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}}}{\beta_1 \alpha_1} = \frac{1,5 (15,12)^{-1,5} e^{-\left(\frac{15,12}{10}\right)^{1,5}}}{10^{1,5}} = \frac{1,5 \cdot 3,88 \cdot 0,1558}{51,62} = 0,0287$

На відміну від інших функцій, що наведені, насамперед, в [12], неповна гама-функція не наводиться у довідковій літературі, тому вона була розрахована з виразу [9]

$$I(\alpha, t) = (\alpha - 1)! e^{-t} \sum_{K=0}^{\alpha-1} \frac{t^K}{K!}$$

Нехай час до відмови підпорядковується гама-розподілу, середнє напрацювання на відмову складатиме $m = 200$ год., а час на відновлення розподілу Релея з параметрами $m_B = 10$ год., $\sigma_B = 5,2$ год., $t_B = 10 + 5,2 = 15,2$ год., з часом тимчасового резервування $t_{рез.} = 5$ год. напрацювання на відмову з урахуванням розподілів (таблиця 1, 4 стовпець) складе:

$$T_C = \frac{200 + 10 - 5,31}{0,835} = 245 \text{ год.},$$

$$\text{Середній час на відновлення } T_{BC} = \frac{5,31}{0,835} = 6,35 \text{ год.},$$

$$\text{Коефіцієнт готовності } K_G = \frac{200 + 10 - 5,31}{200 + 10} = 0,9747.$$

В таблиці 2 наведені ці розрахунки у порівнянні з даними роботи системи, що не має тимчасового резервування.

Таблиця 2. Значення параметрів T_C, T_{BC}, K_G при Гама розподілі напрацювання на відмову і розподілі часу на відновлення по закону Релея

Наявність тимчасового резервування	$T_C, \text{ч}$	$T_{BC}, \text{ч}$	K_G
Є	245	6,35	0,9747
Немає	200	10	0,9523

Як видно з наведених розрахунків, за рахунок тимчасового резервування показники T_C, T_{BC}, K_G значно кращі, ніж при відсутності тимчасового резервування.

Інші розрахунки T_C, T_{BC}, K_G для різних законів розподілу на відмову і часу відновлення наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Розрахунки T_C, T_{BC}, K_Γ для різних законів розподілу на відмову і часу відновлення

Закон розподілу напрацювання на відмову Закон відновлення		Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$		Релея, $R(\lambda)$		Експоненціальне, $Exp(\lambda)$		Усічене нормальне, $TN(m_0, \sigma_0)$		Вейбула, $W(\alpha, \beta)$	
		Наявність тимчасового резервування									
		Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні
Гама, $\Gamma(\alpha_1, \beta_1)$	T_C	266	200	227,8	170	170,6	125	202,4	150	270,9	203,8
	T_{BC}	1,4	10	1,4	10	1,4	10	1,4	10	1,4	10
	K_Γ	0,995	0,952	0,994	0,952	0,991	0,952	0,993	0,952	0,995	0,953
Релея, $R(\lambda_1)$	T_C	245	200	209,2	170	155,3	125	185,3	150	249,7	203,8
	T_{BC}	6,35	10	6,35	10	6,35	10	6,35	10	6,35	10
	K_Γ	0,975	0,952	0,97	0,952	0,96	0,952	0,967	0,952	0,978	0,953
Експоненціальне, $Exp(\lambda_1)$	T_C	235,7	200	200,9	170	148,9	125	177,8	150	240,1	203,8
	T_{BC}	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5
	K_Γ	0,98	0,96	0,975	0,964	0,97	0,964	0,975	0,964	0,982	0,965
Усічене нормальне, $TN(m_0^B, \sigma_0^B)$	T_C	272,0	200	232,4	170	172,8	125	205,9	150	277	203,8
	T_{BC}	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2
	K_Γ	0,978	0,95	0,975	0,95	0,966	0,95	0,972	0,95	0,979	0,952
Вейбула, $W(\alpha_1, \beta_1)$	T_C	241,8	200	206,2	170	152,8	125	182,5	150	246,3	203,8
	T_{BC}	6,2	9	6,2	9	6,2	9	6,2	9	6,2	9
	K_Γ	0,975	0,957	0,971	0,957	0,961	0,957	0,967	0,957	0,976	0,958

Значення напрацювання на відмову і дисперсії цих напрацювань для різних законів розподілу були підібрані таким чином, щоб величина $M + \sigma \approx const$

Звідки видно, що саме через це значення середнього напрацювання на відмову і коефіцієнти готовності для різних законів розподілу напрацювання на відмову суттєво відрізняються.

На рис. 1 приведені значення напрацювання на відмову для різних законів відновлення при тимчасовому резервуванні роботи системи.

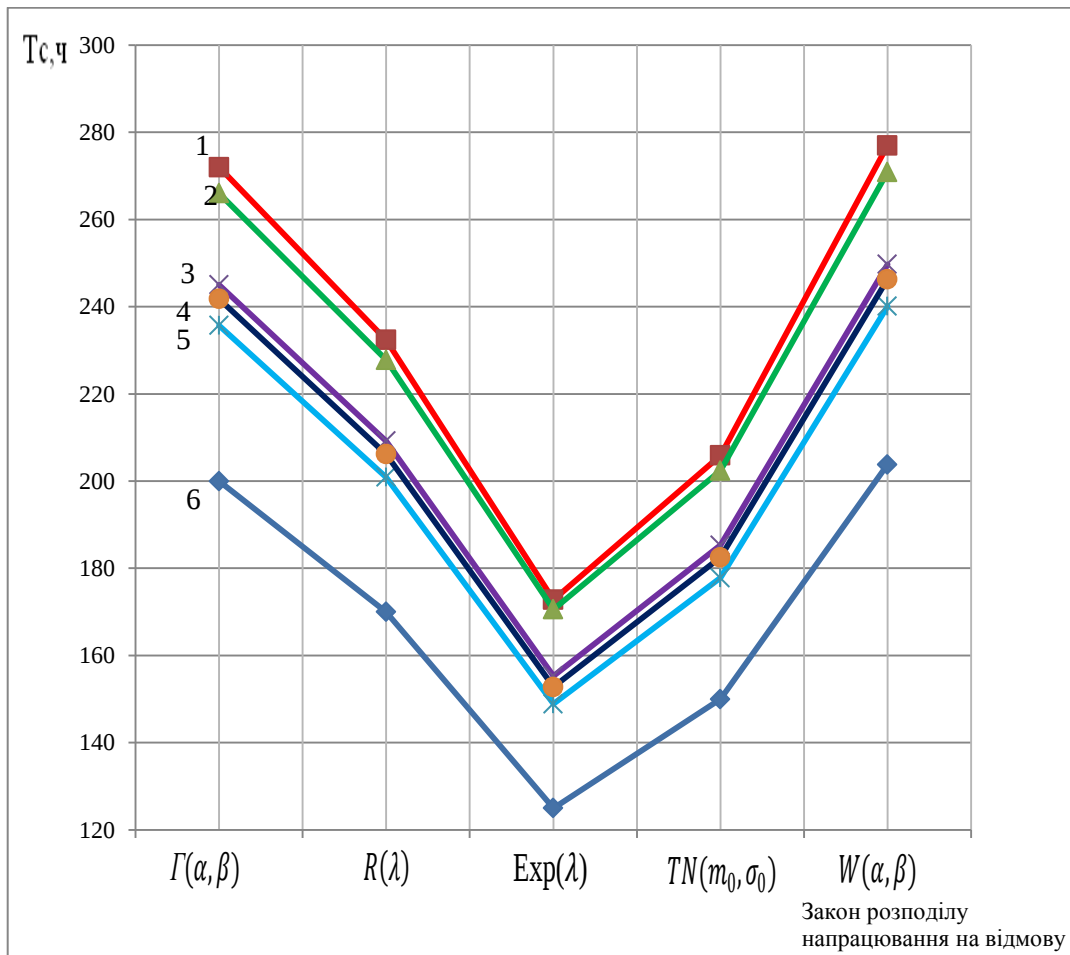


Рис. 1. Змінення середнього часу напрацювання на відмову при різних законах розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні

Умовні позначення:

- 1 – функція усіченого нормального розподілу, часу на відновлення, $TN(m_0, \sigma_0)$;
- 2 – функція розподілу часу на відновлення, $\Gamma(\alpha, \beta)$;
- 3 – функція розподілу часу на відновлення Релея, $R(\lambda)$;
- 4 – функція експоненціального розподілу часу на відновлення, $\text{Exp}(\lambda)$;
- 5 – функція розподілу часу на відновлення Вейбула, $W(\alpha, \beta)$;
- 6 – значення середнього часу напрацювання на відмову без тимчасового резервування.

Зміна значень коефіцієнту готовності K_r при різних законах напрацювання на відмову і часу на відновлення при тимчасовому резервуванні приведені на рис. 2.

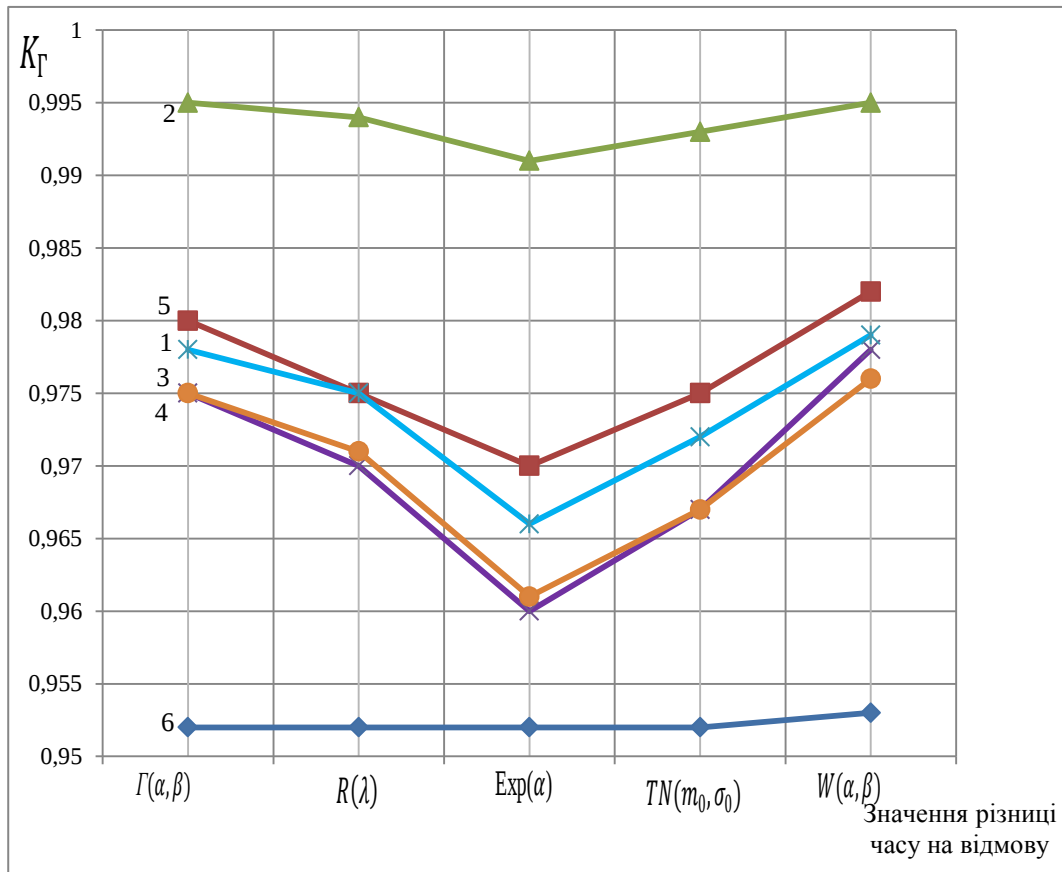


Рис. 2. Зміна K_r при різних законах розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні

Зміна часу на відновлення при різних законах розподілу напрацювання на відмову при тимчасовому резервуванні приведені на рис. 3.

Як видно з рис. 1, середній час напрацювання на відмову суттєво залежить від закону розподілу часу на відновлення і закону розподілу напрацювання на відмову. Причому найбільше значення середнього часу напрацювання на відмову досягається при усіченому нормальному розподілі часу на відновлення, а найменше – при експоненційному. Але, як видно з рис. 2, коефіцієнт готовності має найбільше значення при гама-розподілі часу на відновлення, а найменше при розподілі Релея. За величиною T_C і K_r кращий варіант досягається при гама-розподілі часу на відновлення.

Час на відновлення T_{BC} досягає найменшої величини також при гама-розподілі часу на відновлення.

В усіх випадках розподілу часу на відновлення і часу напрацювання на відмову при тимчасовому резервуванні поліпшуються показники T_C , T_{BC} , K_r .

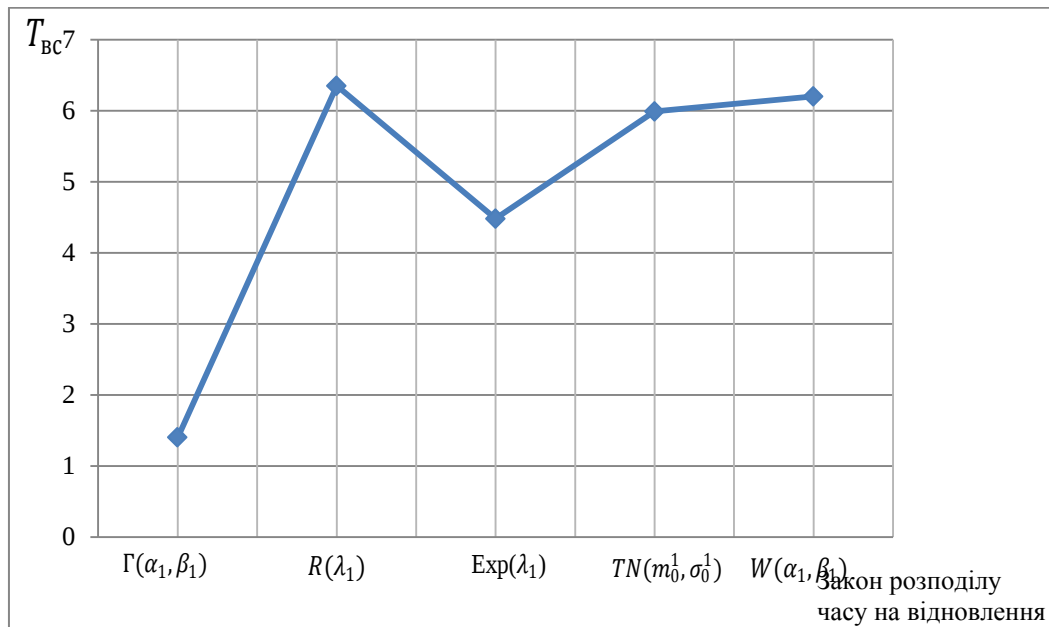


Рис. 3. Зміна часу на відновлення при різних значеннях розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні для різних законів розподілу напрацювання на відмову

Висновки

1. Тимчасове резервування роботи систем локомотива суттєво впливає на час напрацювання на відмову T_C , час відновлення $T_{вс}$ і коефіцієнт готовності K_Γ і значно поліпшує ці показники на відміну від показників системи без тимчасового резервування.
2. Доцільно організовувати процес відновлення таким чином, щоб розподіли часу на відновлення були близьким до гама-розподілу. При інших розподілах часу на відновлення середній час на відновлення суттєво більший, хоча і не перевищує час на відновлення без тимчасового резервування. Таким чином, це дає можливість скоротити час простою під обслуговування чи в ремонті обладнання локомотивів.
3. Значення коефіцієнту готовності суттєво залежить від виду закону розподілу напрацювання на відмову і виду закону розподілу часу на відновлення. Найменше значення досягається при розподілі напрацювання на відмову за експоненціальним законом і розподілу часу на відновлення Релея. Фактор, що впливає на цей показник є середнє напрацювання на відмову, яка найменша саме при експоненціальному розподілі напрацювання на відмову. Тобто тимчасове резервування дозволить підвищити надійність роботи обладнання локомотивів, що позитивно впливає на ефективність роботи локомотива в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.

2. Канарчук В. Є. Надійність машин / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
3. Александровская Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л. Н. Александровская А. П. Афанасьева, А. А. Лисов. Москва: Логос, 2003. 208 с.
4. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. Москва: Машиностроение, 2003. 320 с.
5. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. Санкт-Петербург: Политехника, 2000. 248 с.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
7. Власенко К.В., Грудкіна Н.С. Надійність технічних систем: методичні рекомендації до самостійної роботи студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю «Інформаційні технології проектування». Краматорськ: ДДМА, 2016. 41 с.
8. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики. Киев: НАУ, 2004. 164 с.
9. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання. Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. 248 с.
10. Krasheninina O.S., Klymenko O.V., Ponomarenko O.V., Yakovlev S.S. Justification of Statutory Service Life Extension of Locomotives on the Basis of Theory of Aging // International Journal of Engineering & Technology. 2018. 7 (4.3). pp. 174-178.
11. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Вплив організації технічного обслуговування на ефективність експлуатації тягового рухомого // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». Вип.32. Т.1 Д: ДУІТ, 2018. С. 103-115.
12. Ушаков И.А. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь. 1985. 608 с.
13. Фалендиш А.П., Сумцов А.Л., Білецький Ю.В. Модель оптимізації системи технічного обслуговування та ремонту локомотивів. / А.П. Фалендиш, А.Л. Сумцов, Ю.В. Білецький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2013. 207 (2). С. 45-49.
14. Иванова Н.Г. Применение методики расчета стоимости жизненного цикла при оценке эффективности инноваций на железнодорожном транспорте / Н.Г. Иванова // Локомотив. 2007. 8. С. 12-15.
15. Тартаковский Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: Монография / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. Л: Ноулджд. 2011. 174 с.
16. Tartakovsky E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. System approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. Studies in Systems, Decision and Control / E. Tartakovsky, O. Ustenko, V. Puzyr, Y. Datsun// Ukrainian state university of railway transport. Kharkiv, 2017. 87. pp. 217-236.

REFERENCES

1. Vasilevskyi O.M., Podzharenko V.O. (2010) *Normuvannya pokaznykiv nadiinosti tekhnichnykh zasobiv. [Rationing of reliability of technical means]* Vinnytsia: VNTU. (In Ukrainian).
2. Kanarchuk, V.Ye., Polyansky, S.K. & Dmitriev, N.M. (2003) *Nadiinist mashyn. [Reliability of machines]*. Kyiv: Lybid (In Ukrainian).
3. Aleksandrovskaia L.N., Afanaseva A.P. & Lysov A.A. (2003) *Sovremennyye metody obespecheniya bezotkaznosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Modern methods of ensuring the reliability of complex technical systems]* Moskva: Lohos (In Russian).
4. Trukhanov V.M. (2003) *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem tipa podvizhnykh ustanovok na etape proyektirovaniya y ispytaniya opytnykh obraztsov [Reliability of technical systems of the type of mobile installations at the stage of design and testing of prototypes]*. Moskva: Mashynostroeniye (In Russian).
5. Riabynyn Y. A. (2000) *Nadezhnost y bezopasnost strukturno-slozhnykh sistem. [Reliability and safety of structurally complex systems]* Sankt-Peterburh: Polytekhnika. (In Russian).
6. Polovko A.M., Hurov S.V. (2008) *Osnovu teoryi nadezhnosti. [Fundamentals of Reliability Theory]* Sankt-Peterburh: BKhV-Peterburh. (In Russian).
7. Vlasenko K.V., Hrudkina N.S. (2016) *Nadiinist tekhnichnykh sistem: metodychni rekomendatsii do samostiinoi roboty studentiv dennoi i zaочноi form navchannia za spetsialnistiu «Informatsiini tekhnolohii proektuvannia» [Reliability of technical systems: methodical recommendations for independent work of*

students of full-time and correspondence forms of training in the specialty "Information technology of design"]. Kramatorsk: DDMA. (In Ukrainian).

8. Azarskov V.N., Strelnykov V.P. (2004) *Nadezhnost system upravleniya y avtomatyky [Reliability of control and automation systems]* Kyev: NAU. (In Ukrainian).

9. Kanarchuk, V.Ye., Polyansky, S.K. & Dmitriev, N.M. (2003) *Nadiinist mashyn. [Reliability of machines]*. Kyiv: Lybid (In Ukrainian).

10. Krashenin, O.S., Klymenko, O.V., Ponomarenko, O.V. & Yakovlev, S.S. (2018). *Justification of Statutory Service Life Extension of Locomotives on the Basis of Theory of Aging*. International Journal of Engineering & Technology (7d ed) (In Ukrainian).

11. Krashenin, O.S., Yakovlev, S.S. & Shapatina, O.O. (2018) *Vplyv orhanizatsii tekhnichnoho obsluhovuvannya na efektyvnist ekspluatatsii tiahovoho rukhomoho [Influence of organization of maintenance on the efficiency of traction mobile operation]*. Collection of scientific works of DUIT. Series "Transport Systems and Technologies" (In Ukrainian).

12. Belyaev, Yu.K., Bogatyrev, V.A., Bolotin V.V. et al (1985). *Nadezhnost tekhnicheskikh system [Reliability of technical systems]*. I.A. Ushakov (Ed.) Moscow: Radio and communication (In Russian).

13. Falendish, A.P., Sumtsov, A.L. & Biletsky, Yu.V. (2013). *Model optymizatsii systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya ta remontu lokomotyviv. [Model of optimization of the system of maintenance and repair of locomotives]*. Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl. (2d ed) (In Ukrainian).

14. Ivanova, N.G. (2007). *Prymenenye metody rascheta stoymosti zhyznennogo tsykla pry otsenke efektyvnosti ynnovatsyi na zheleznodorozhnom transporte [Principal methodologies estimate the cost of the life cycle in evaluating the efficiency of innovations in railway transport]*. Locomotive (In Ukrainian).

15. Tartakovsky, E.D. (2011). *Metody otsenky zhyznennogo tsykla tiahovoho podvyzhennoho sostava zheleznukh doroh. [Methods for assessing the life cycle of traction rolling stock of railways]*. Lviv: Knowledge (In Ukrainian).

16. Tartakovsky, E., Ustenko, O., Puzyr, V., & Datsun, Y. (2017) *System approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. Studies in Systems, Decision and Control*. Ukrainian state university of railway transport. (872d ed).Kharkiv (In Ukrainian).

Крашенинин А.С., доктор технических наук, профессор
(профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»
Украинского государственного университета железнодорожного транспорта);
Яковлев С.С.
(аспирант кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»
Украинского государственного университета железнодорожного транспорта);
Шапатина О.А.,
(ассистент кафедры «Управление грузовой и коммерческой работой»
Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

В статье рассматриваются вопросы влияния временного резервирования работы отдельного оборудования локомотивов на его надёжность при условии разных законов распределения времени работы, времени восстановления, времени на временное резервирование.

Ключевые слова: закон распределения случайных величин, резервирование, коэффициент готовности, средняя наработка, среднее время восстановление.

*Krashenin A. S., Doctor of Technical Sciences, Professor
(Professor, department "Maintenance and repair of rolling stock" Ukrainian State University of Railway Transport);*

*Yakovlev S. S.,
(graduate student department "Maintenance and repair of rolling stock" Ukrainian State University of Railway Transport);*

*Shapatina O. O.,
(assistant lecturer, department "Management of freight and commercial work", Ukrainian State University of Railway Transport)*

RESEARCH OF THE EFFECT OF TEMPORARY RESERVATION ON THE RELIABILITY OF EQUIPMENT LOCOMOTIVES

The article deals with the issues of the effect of the temporary reservation of the work of a separate locomotive equipment on its reliability, under the conditions different laws of distribution of time of work, time of recovery, time for temporary reservation. At the same time, the issue of the influence of the random nature of the occurrence of refusals with the justification of the strategy of their prevention is considered. The effect of temporary reservation of work of separate equipment of locomotives on its reliability is investigated. Calculation takes place taking into account different laws of distribution of time of work to the failure, time on recovery, time on temporary reservation.

This research is relevant because, in recent years, in our country gradually develops high-speed railway traffic. In the majority, the high-speed rolling stock (SRS) operating in the country, built abroad, and not always the mode of its operational loads meets the recommendations of suppliers of this technique. This leads to a breakdown in train traffic and great downtime, due to both the general condition of the railways and the intensity of the use of this SRS.

One more negative factor is the problem of organization of technical maintenance (TM) and current repair (CR) of this rolling stock. But not only for SRS there are such problems, because the current traction rolling stock has reached or exceeded the normative term of use, the repair base is updated slowly, technological processes TM and CR are not corrected during the life cycle. All this requires both practical and theoretical substantiation of the strategy and tactics of TM and CR of the transport rolling stock.

Therefore, there were formulated and scientifically substantiated methods for ensuring and improving the reliability of technique, on the basis of the analyzed functional relationships between the reliability indicators and the calculated ratios for reliability indicators of complex systems, which are is the traction rolling stock and locomotives.

It has been determined that the temporary reservation of the work of the locomotive systems significantly affects the time to the failure, recovery time and readiness factor and significantly improves these parameters, in contrast to the system performance without temporary reservation. It is also concluded that it is advisable to organize the recovery process in such a way that the distributions of time for recovery were close to gamma-distribution. And the value of the readiness factor depends significantly on the type of the law of distribution of exploitation to failure and the type of the law of distribution of time for recovery.

Keywords: *random distribution law, reservation, availability, average time, average recovery time.*

УДК 629.484.083

JEL Classification O 14, O 22, O 39, R 40

Надія Брайковська, к.т.н., проф.

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій)

Аліна Нечипорук, к.е.н.

(старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ВАГОНОРЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ВИКОРИСТАННЯ ГНУЧКИХ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ РЕМОНТУ ВАГОНІВ

В даній статті проаналізовано існуючі методи ремонту вагонів – стаціонарний та поточковий. Визначено основні особливості, переваги та недоліки цих методів. Обґрунтовано необхідність впровадження індустріальних методів ремонту, а саме застосування гнучких поточкових ліній. Визначено, що будівництво вагоноремонтних підприємств нового покоління, які будуть адаптовані до ремонту кожного конкретного вагону з використанням гнучких поточкових ліній, є основою подальшого розвитку вагонного господарства.

Ключові слова: вагоноремонтне підприємство, гнучкість потоку, поточкове виробництво, трудомісткість, ремонтна позиція, пропускна спроможність.

Вступ. Протягом останніх років індекс залізничної інфраструктури має тенденцію падіння, на відміну від портової та дорожньої, які хоч і посідають значно нижчі місця, але поступово покращуються. Зниження позиції пов'язане, в першу чергу, з неможливістю використання інфраструктурних об'єктів частини Донецької, Луганської областей та Автономної Республіки Крим. Загалом з рейтингу видно, що транспортна інфраструктура України потребує модернізації. За оцінками експертів, її знос складає 70-90 %. Загальна потреба в інвестиціях на 2019 рік оцінюється в 6,5-8 млрд дол. За оцінками UIF 1 дол. інвестицій в інфраструктуру дає 2-3 дол. приросту номінального ВВП, а створення 1 робочого місця у транспортному секторі призводить до створення 6 робочих місць в інших секторах [1].

За даними Державної служби статистики, у 2017 році вантажообіг транспорту України виріс на 5,8 % відносно 2016 року і склав 343 057,1 млн т·км. При цьому ріст відбувся на всіх видах транспорту. Максимальний ріст відбувся на авіаційному транспорті (+20,5 %), вантажообіг залізничного транспорту збільшився на 2,3 %.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-2

Однією з основних галузей залізничного транспорту є вагонне господарство, на частку якого припадає близько 20% основних фондів залізничного транспорту, 15% контингенту працівників і 11% поточних витрат. Безпосередня відповідальність вагонного господарства – деповський і капітальний ремонт вантажних вагонів, їх технічне обслуговування на шляху прямування, а також підготовка вантажних вагонів для навантаження.

За 2017 рік придбано та побудовано на власних виробничих потужностях 2 721 вантажний вагон, що перевищує показник 2016 року (придбано 1 048 вантажних вагонів). Це найкращий результат за останні 20 років.

Відремонтовано плановими видами ремонту у вагонних депо та на філіях 24 828 вантажних вагонів при плані 24 320 од., серед них відремонтовано 18 739 вагонів власності промислових підприємств деповським та капітальним ремонтом у ВЧД регіональних філій, зокрема капітальним ремонтом – 3 512, деповським ремонтом – 15 227. Придбано та введено в дію вагоноремонтними підприємствами понад 30 найменувань механізмів та технологічного обладнання, модернізовано механізмів понад 35 одиниць.

Основна задача вагоноремонтних підприємств полягає у підвищенні якості ремонту вагонів та зростанні продуктивності праці, що спричинить покращення безпеки руху поїздів, збільшення пропускної спроможності підприємств і скорочення часу перебування вагонів в ремонті. Проте на сьогоднішній день для покращення деповської вагоноремонтної бази необхідно не тільки матеріальні засоби, а й прогресивні технічні рішення і інноваційні технології.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Питанням вдосконалення технології ремонту та технічного обслуговування вагонів, а також загальними питаннями розвитку вагонного господарства і вагоноремонтних підприємств займалися багато спеціалістів, серед яких варто відмітити І.Д. Борзилов [2, 11], Копачов С.В. [3], В.Л. Дикань [4, 5], І.Е. Мартинов [6], В.В. Мямлін [7, 8, 9], Т.В. Нескуба [10] та інші. Проте дані питання потребують постійного обговорення та вдосконалення.

Мета і завдання дослідження є провести аналіз існуючих методів ремонту вагонів на вагоноремонтних підприємствах, розглянути особливості та недоліки існуючих методів та обґрунтувати перспективи розвитку організаційно-технологічних структур вагоноремонтних підприємств з використання гнучких потокових ліній.

Матеріали та методи дослідження. За останній період вагонне господарство України не тільки не здійснило інноваційного стрибка вперед, а й частково втратило свій потенціал. Деяким підприємствам уже більше 70 років, фізичний та моральний знос сягає близько 70%, більшість підприємств використовують стаціонарний метод ремонту вагонів, працюють по неповному ремонтному циклу, не мають сучасного високопродуктивного обладнання [11]. В таких умовах досягти високого рівня якості ремонту рухомого складу та відповідності європейським нормам та стандартам дуже важко.

Підвищення якості ремонту вагонів, скорочення часу перебування вагонів в ремонті, створення умов для постійного зростання продуктивності праці є найбільш важливими вимогами для вагоноремонтних підприємств в сучасних умовах. Тому перехід на використання індустріальних методів ремонту вагонів є однією з основних задач вагонного господарства, в основу яких покладено використання гнучких потокових ліній. Для цього типу потоку синхронізація часу виконання

операцій на ремонтних позиціях не актуальна, так як переміщення вагонів відбувається незалежно один від одного (індивідуально) [12]. Головною перевагою гнучких потокових ліній є те, що вони дозволяють адаптуватись до трудомісткості кожного вагону, а це досить позитивно відображається на загальному часі простоювання вагонів в ремонті. Гнучкі потоки дозволяють досягти декількох тисяч можливих варіантів шляху переміщення вагонів під час ремонту [13].

Будівництво вагоноремонтних підприємств нового покоління, які будуть адаптовані до ремонту кожного конкретного вагону з використанням гнучких потокових ліній є основою подальшого розвитку вагонного господарства.

На сьогоднішній день існує декілька важливих факторів, які негативно впливають на ефективну організацію традиційного поточного ремонту вагонів. Це трудомісткість ремонту, що має дуже широкий діапазон значень і має ймовірний характер, а також неможливість надійно та комфортно переміщувати вагони між позиціями поточної лінії. На рис. 1, 2 представлено графіки зміни трудомісткості робіт при деповському ремонті напіввагонів на ст. Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці. Аналіз проводився як за трьома видами ремонтних робіт окремо: слюсарними, газорізальними і електрозварювальними, так і за сумарною і повною трудомісткістю. Для кожного вагону на підставі виявлених дефектів і норми часу на кожен дефект обчислювався необхідний обсяг робіт. Норматив часу за дефектами, наприклад, для слюсарних робіт вибирався згідно з типовими нормами часу. Всього було обстежено 125 ($n = 125$) вагонів. Виконані статистичні дослідження наочно демонструють, що трудомісткості ремонту вагонів є випадковими величинами, що мають досить широкі відхилення.

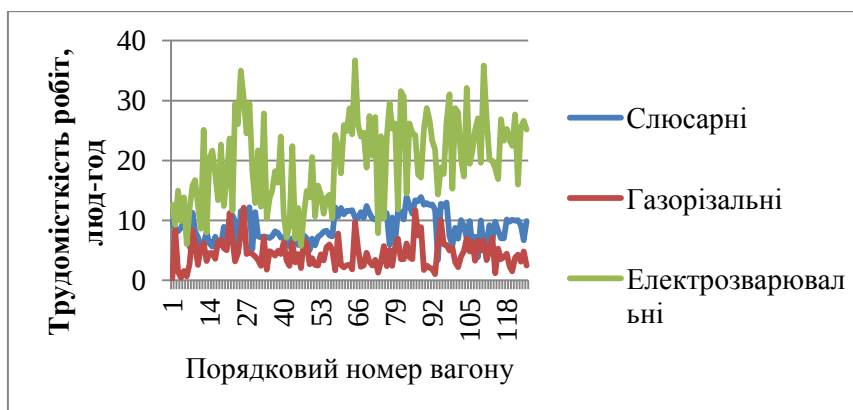


Рис. 1. Графік зміни трудомісткості основних видів робіт при деповському ремонті напіввагонів

Такі великі розбіжності трудомісткостей ремонтних робіт свідчать про те, що індустріальні методи ремонту вагонів, зокрема, ремонт вагонів на потокових лініях, вимагає особливого підходу до своєї організації. «Жорсткі» потоки не зможуть ритмічно і ефективно функціонувати в зв'язку з неможливістю повної синхронізації часу виконання робіт на різних позиціях. До того ж це підтверджують і результати вже впроваджених у виробництво потокових ліній. Постійний збій такту приводить

до того, що підприємства або повертаються до стаціонарного методу ремонту, або переходять до «напівжорсткого» потоку.

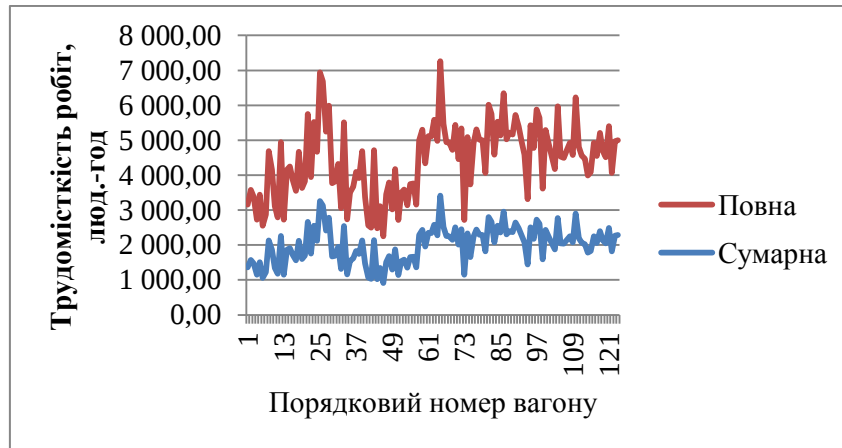


Рис. 2. Графік зміни повної та сумарної трудомісткості при депоєвському ремонті напіввагонів

Трудомісткість є одним із основних показників технологічності виробу, тому її зниження – одне з найважливіших завдань розробників. При ремонті вагонів цей показник безпосередньо впливає на дотримання регламентованого такту, що суттєво відображається на продуктивності потоку.

Вагони є досить громіздкими виробами, мають велику масу та габарити, що створює певні труднощі для їх переміщення по ремонтним позиціям. Тому часто застосовуються вантажні конвеєри, які переміщують певні об'єкти по направляючим рельсам на технологічних візках або самостійно. Але, як показує досвід багатьох депо, ці вантажні конвеєри знаходяться переважно в зоні ремонту знизу в підлозі цеху, що спричинює потрапляння різних сторонніх предметів, що часто стає причиною виходу цього обладнання зі строю. Тому переважно використовуються вони рідко, тому що їх ремонт є досить витратним. В депо часто користуються тяговими агрегатами або мостовими кранами, що не завжди відповідає нормам техніки безпеки та призводить до застосування стаціонарного методу ремонту, коли вагон знаходиться на одній ремонтній позиції, а всі операції відбуваються бригадою робітників. Цей метод є неефективним та трудомістким. Для впровадження високопродуктивних індустріальних методів ремонту таких як гнучкі поточкові лінії необхідною умовою є можливість переміщення вагонів між спеціалізованими позиціям, які призначені виключно для виконання визначеного об'єму роботи та оснащенні спеціальним технологічним обладнанням.

Для гнучких поточно-конвеєрних ліній ця умова достатньо виконується за допомогою трансбодерних візків, які самостійно здійснюють навантаження та вивантаження вагонів і переміщуються окремим транспортним коридором, що виключає потрапляння в механізм випадкових сторонніх предметів із ремонтної зони [14].

Асинхронні гнучкі поточкові лінії особливо потребують надійну та ефективну систему транспортування деталей між ремонтними позиціями. Транспортне

обладнання є головним робочим органом гнучкого вагоноремонтного потоку, від його надійної роботи залежить пропускна спроможність потоку в цілому [15].

Асинхронні гнучкі поточкові лінії мають завжди можливість адаптуватись до кожного вагону, що ремонтується, що полягає в можливості кожного окремого вагона реалізовувати свій індивідуальний такт і свій індивідуальний шлях переміщення. Асинхронний гнучкий потік ремонту вагонів є ефективним етапом у розвитку поточкового ремонтного виробництва, що може бути створений на основі трансформації класичних поточно-конвеєрних ліній за рахунок зміни їх структури і зв'язків між елементами. Він має більш високий рівень системності, порівняно з існуючими поточно-конвеєрними лініями та значно може розширити номенклатуру типів вагонів, що ремонтуються, та здійснити перехід від однопредметної спеціалізації до багатопредметної, що включає ремонт не тільки різних типів вагонів, а й різних видів ремонту (деповський, капітальний) [14]. На рис. 3 представлена схема шестипозиційного гнучкого вагоноремонтного потоку.

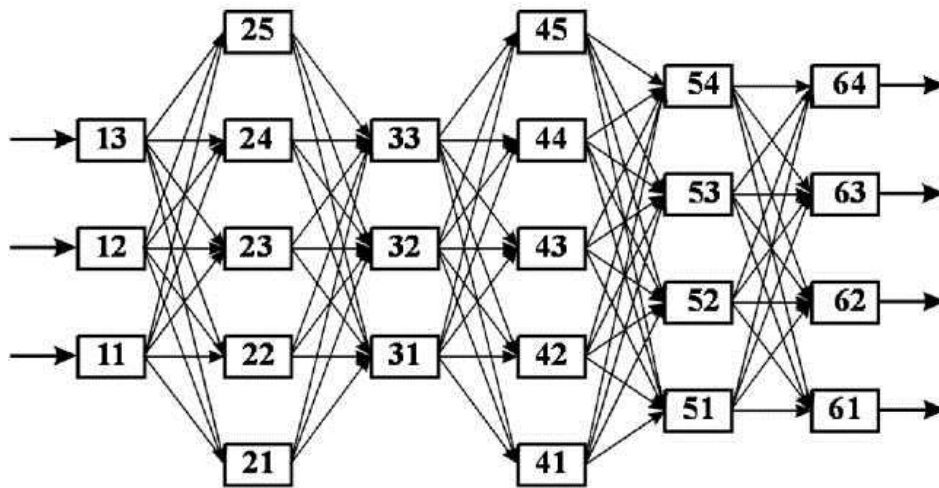


Рис. 3. Схема шестипозиційного гнучкого вагоноремонтного потоку

Варто зазначити, що асинхронність потоку свідчить про те, що вагони переміщуються з однієї ремонтної позиції на другу не всі одночасно через регламентовані проміжки часу, а поступово по мірі необхідності і можливості.

Гнучкість потоку – це інтегральне поняття, що характеризує можливість швидкого переходу до випуску продукції іншого типорозміру та моделі. У вагоноремонтному виробництві кожен наступний вагон є вже іншою моделлю через великі відмінності трудомісткості ремонтних робіт. Під гнучкістю потоку варто розуміти властивість, що дозволяє забезпечити потоку ефективне та якісне виконання ремонтних робіт, не змінюючи своєї організаційної структури. Основна перевага гнучкого потоку полягає в тому, що транспортна система між позиціями організована таким чином, що дозволяє переміщувати вагон з будь-якого ремонтного модуля i -ої позиції на вільний ремонтний модуль $(i+1)$ позиції.

Для вагоноремонтних підприємств нового покоління головний вагоноремонтний потік повинен складатися з трьох послідовно з'єднаних між собою ділянок, які будуть відрізнятися між собою не тільки за технологічною ознакою, а й за величиною трудомісткості ремонтних робіт: ділянка для підготовки вагонів до

ремонту, головна вагоноремонтна дільниця, де буде здійснюватися безпосередньо ремонт вагонів та малярна дільниця для проведення малярних робіт. Як показує практика, трудомісткості ремонтних робіт на ділянці підготовки вагонів до ремонту та малярній переважно стабільні, а головна вагоноремонтна дільниця, на якій проводиться весь комплекс ремонтних робіт, і є найбільш змінною за трудомісткості. Тому саме на цій дільниці так необхідно при проектуванні впроваджувати гнучкі асинхронні потокові лінії.

Трудомісткість ремонтних робіт навіть на вагонах одного типу дуже сильно відрізняється. Тому в умовах жорсткого та напівжорсткого переміщення вагонів потоком, коли відбувається одночасне та послідовне переміщення вагонів, вони стають дуже взаємозалежними, що значно впливає на переміщення один одного та знижує пропускну спроможність всього потоку в цілому. Так, якщо на i -ій позиції ремонтні роботи будуть уже завершені, а на $(i+1)$ позиції роботи на вагоні будуть ще продовжуватися, то, відповідно, переміщення вагона здійснити буде не можливо. Він буде продовжувати залишатися на i -ій позиції до тих пір, поки не звільниться місце на $(i + 1)$ позиції. Виходячи з великої кількості трудомісткостей ремонтних робіт на вагонах і застосування «жорсткої» транспортної системи, можна припустити, що така ситуація з переміщеннями вагонів в існуючих депо буде мати місце постійно. Маневровість вагонів на таких потоках дорівнює нулю, а можливих варіантів шляху переміщення вагонів тільки один. Таким чином, у вагонів, не дивлячись на їх різний технічний стан і очікуваний різний простір в ремонті, немає ніякого вибору варіанту шляху переміщення. Вагони знаходяться у єдиному зв'язку, що виключає будь-яку самостійність.

При гнучкому потоку ситуація складається зовсім іншим чином. Вагон з будь-якого модуля i -ої позиції може переміщуватись на будь-який модуль $(i+1)$ позиції. Це все свідчить про те, що в такій гнучкій системі, де є певна транспортна свобода та потенційна можливість вибору шляху переміщення вагона вздовж позицій потоку, пропускну спроможність значно збільшується, а простої вагона в ремонті зменшуються.

Структурна гнучкість – це кількість можливих варіантів шляхів переміщення вагонів між позиціями потоку, а наявність такої гнучкості потоку є важливою умовою функціонування вагоноремонтних потоків. Величина гнучкості є дискретною величиною та змінюється при зміні структури потоку.

Зазвичай під структурою системи розуміється стійка упорядкованість в просторі і в часі сукупності елементів і зав'язків між ними [10]. Елементами вагоноремонтного потоку будемо розглядати технологічні модулі. Структура жорсткого потоку ремонту вагонів визначається кількістю «ремонтних ниток», кількістю позицій на кожній «нитці» і кількістю місць, що розміщуються на одній позиції. Під структурою гнучкого вагоноремонтного потоку будемо вважати кількість позицій, кількість модулів на кожній позиції і технологічні зв'язки між ними. У загальному випадку структура гнучкого потоку залежить від програми ремонту, обраного технологічного процесу і номінального річного фонду часу роботи підприємства.

На різних дільницях генерального вагоноремонтного потоку через різне структурне компонування можуть бути прийняті різні системи переміщення вагонів. На дільниці підготовки вагонів до ремонту і малярській дільниці для переміщення вагонів уздовж позицій можуть бути передбачені звичайні вантажні конвеєри, що штовхають вагони по рейках. На головній вагоноремонтній дільниці

повинні бути передбачені спеціальні транспортні агрегати, що будуть переміщуватись в транспортному прольоті, які переставляють вагони між паралельно розташованими модулями [15]. У зв'язку з цим з'являються місця сполучення ділянок - «вузли», тобто ті позиції, які обслуговуються одночасно декількома типами транспортних систем.

З окремих ремонтних позицій формуються ділянки, а з ділянок – головний вагоноремонтний потік. Кількість позицій (фаз) на потоці має встановлюватись, виходячи з прийнятого технологічного процесу. Найголовнішою умовою організації вагоноремонтних потоків повинна стати спеціалізація ремонтних позицій, що рівнозначно диференціації всього технологічного процесу на окремі групи технологічних операцій, закріплених за позиціями. Переміщення вагонів між позиціями повинно носити індивідуальний характер і здійснюватися тільки після того, як буде виконано весь комплекс ремонтних робіт, що підтверджується широким спектром різних структур поточних ліній, наявних на сьогоднішній день в існуючих вагонних депо.

Багато, щоб середні терміни часу виконання робіт на позиціях збігалися б між собою. Тоді б кількість модулів на позиціях було б однаковою, що дозволило б отримати найбільшу кількість можливих варіантів шляху переміщення вагонів між модулями потоку (при заданому числі позицій). Але це ідеальний випадок. В реальних же технологічних процесах ремонту вагонів цього досягти практично неможливо, так як технологічний процес включає в себе дуже різноманітні групи операцій, які характеризуються різними часовими показниками. Тому середні тривалості часу виконання робіт на позиціях будуть істотно відрізнятися один від одного, і, відповідно, позиції будуть відрізнятися кількістю ремонтних модулів.

За кількістю можливих шляхів переміщення вагонів і кількістю станів гнучкого потоку можна стверджувати, що такі системи є динамічними, маневровими, адаптивними і найкраще підходять для використання їх в ремонтному виробництві.

Висновки. Проаналізувавши методи ремонту вагонів можна зробити висновок, що найбільш оптимальним варіантом організації ремонтного виробництва є застосування гнучких потоково-конвеєрних ліній. Цей вид поточного виробництва має ряд переваг перед іншими основними формами організації ремонтів, він дозволяє враховувати ймовірну природу вагоноремонтного виробництва. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновано значно ефективніші методи організації ремонту рухомого складу залізниць, які можуть бути покладені в основу при проектуванні, будівництві та реконструкції конкретних підприємств нового покоління з ремонту рухомого складу. Крім того, застосування гнучких поточних ліній було використано при виконанні проекту реконструкції вагонного депо на ст. Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці з переведенням його на повний цикл ремонту вантажних вагонів за гнучкою технологією

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтегрований звіт ПАТ «Укрзалізниця» за 2017 рік: Офіційний веб-сайт ПАТ «Укрзалізниця». Дата оновлення: 09.11.2018. URL: <https://goo.gl/tGBWBY> (дата звернення 11.06.2019)
2. Борзилов І. Д., Равлюк Н. Г., Князьков Н. С. Методика визначення граничних значень параметрів технічного стану вузлів вагонів швидкісного руху. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків, 2017. Вип. 173. С. 56-62.

3. Копачёв С. В. Совершенствование организации ремонта подвижного состава на основе математического моделирования трудоёмкости технологической подготовки производства: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.22. Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). Москва, 2012. 22 с.
4. Данько М. І., Дикань В. Л., Воловельська І. В. Вибір оптимальної інноваційної стратегії підприємств залізничного транспорту: монографія. Харків, 2013. 171 с.
5. Дикань В. Л. Підвищення ефективності функціонування вантажних вагонних депо у сучасних ринкових умовах. Вісник економіки транспорту і промисловості. Харків, 2013. Вип. 42. С. 122-125.
6. Мартинов І. Е. Вагоноремонтні машини та обладнання. Харків: УкрДАЗТ, 2013. 108 с.
7. Мямлин В. В., Мямлин С.В. Повышение надёжности работы вагоноремонтных потоков за счёт формирования их гибкости. Проблемы безопасности на транспорте: матер. VI-й Международной науч.-практ. конф. Гомель: БелГУТ, 2012. С.92-93.
8. Мямлин В. В. Теоретические основы совершенствования технологии ремонта вагонов. Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: Тезисы докладов VIII Международной науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 07.07.2013). СПб.: ПГУПС, 2013. С. 205-207.
9. Мямлин В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток - следующий уровень в организации ремонта грузовых вагонов. Вагонный парк. 2012. № 1. С. 8-11.
10. Нескуба Т. В. Розвиток потенціалу залізничного транспорту України в умовах глобалізації. Молодий вчений. 2015. № 2(6). С. 1269-1271.
11. Борзилов І.Д. Забезпечення якості ремонту вагонів в умовах реформування галузі. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2013. Вип. 139. С. 87-94.
12. Мямлин В. В. Главная задача в совершенствовании промышленных методов ремонта вагонов - адаптация потока к каждому отдельному вагону. 36. науч. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.: Тези допов. Міжнародної наук.-практ. конф.: Вагони нового покоління - із XX в XXI сторіччя. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 139. С. 311-312.
13. Мямлин В. В. Анализ различных структур гибких вагоноремонтных потоков. Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы докладов 74 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05-16.05. 2014). Д.: ДНУЖТ, 2014. С. 65-67.
14. Мямлин В.В. Теоретические основы создания гибких поточных производств для ремонта подвижного состава: монография. Дн-вск, 2014. 380 с.
15. Мямлин В. В., Мямлин С. В., Михальчук А. Н. Компоновка позиций гибкого вагоноремонтного потока и способ перемещения изделий между ними при помощи транспортного агрегата. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 42. С. 205-213.

REFERENCES

1. Intehrovanyi zvit PAT «Ukrzaliznytsia» za 2017 rik [Integrations sound PAT "Ukrzaliznitsya" for 2017] (n.d.). www.uz.gov.ua Retrieved from <https://goo.gl/tGBWBY> [in Ukrainian]
2. Borzylov I. D., Ravliuk N. H. &Kniazkov N. S. (2017) Metodyka vyznachennia hranychnykh znachen parametriv tekhnichnoho stanu vuzliv vahoniv shvydkisnoho rukhu [The methodology for determining the boundary value of the parameters of the technical camp in the carriage of the railroad]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*. Kharkiv, issue. 173. 56-62 [in Ukrainian]
3. Kopachev S. V. (2012). Sovershenstvovanie orhanyzatsii remonta podvyzhnoho sostava na osnove matematicheskoho modelirovaniia trudoemkosti tekhnolohycheskoi podhotovki proizvodstva [Improving the organization of repair of rolling stock based on mathematical modeling of the complexity of technological preparation of production]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva [in Russian]
4. Danko M. I., Dykan V. L. & Volovelska I. V. (2013). Vybir optymalnoi innovatsiinoi stratehii pidpriemstv zaliznychnoho transportu: monohrafiia [Choosing the optimal innovation strategy for railway undertakings: a monograph]. Kharkiv. [in Ukrainian]
5. Dykan V. L. (2013). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia vantazhnykh vahonnykh depo u suchasnykh rynkovykh umovakh [Improving the efficiency of freight wagon depots in today's market conditions]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti – Journal of economy and transport industry*. Kharkiv, issue. 42. 122-125. [in Ukrainian]

6. Martynov I. E. (2013). Vahonoremontni mashyny ta obladnannia [*Wagon repairing machines and equipment*]. Kharkiv: UkrDAZT. [in Ukrainian]
7. Miamlin V. V. & Miamlin S.V. (2012). Povyshenie nadezhnosti raboty vahonoremontnykh potokov za schet formirovaniia ikh hibkosti [Improving the reliability of car repair streams due to the formation of their flexibility.]. *Vehicle Safety Issues '12: mater. VI-y Mezhdunarodnoi nauch.-prakt. Konf – Proceedings of the 4th Scientific and Practical Conference* (pp.92-93). Homel: BelHUT [in Russian]
8. Miamlin V. V. (2013). Teoreticheskie osnovy sovershenstvovaniia tekhnologii remonta vahonov [The theoretical basis for improving the technology of car repair]. 21st Century Rolling Stock: Ideas, Requirements, Projects '13: Tezisy dokladov VIII Mezhdunarodnoi nauch.-tekhn. konf. (Sankt-Peterburh, 07.07.2013) – Abstracts of Papers of the 8th Scientific and Practical Conference (pp. 205-207). SPb.: PHUPS. [in Russian]
9. Miamlin V. V. (2012). Mulyfaznyi polikanalnyy mnohopredmetnyi asinkhronnyi potok - sleduiushchii uroven v orhanyatsii remonta hruzovykh vahonov [Multiphase multichannel multidisciplinary asynchronous flow is the next level in the organization of repair of freight cars]. *Vahonnyi park –Wagon park*, 1, 8-11. [in Russian]
10. Neskuba T. V.(2015). Rozvytok potentsialu zaliznychnoho transportu Ukrainy v umovakh hlobalizatsii [Development of railway potential of Ukraine in the conditions of globalization]. *Molodyi vchenyi – Young scientist*, 2(6), 1269-1271. [in Ukrainian]
11. Borzylov I.D. (2013). Zabezpechennia yakosti remontu vahoniv v umovakh reformuvannia haluzi [Ensuring the quality of wagon repair in the context of industry reform]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT – Collection of scientific works of UkrDAZT*. issue. 139, 87-94. [in Ukrainian]
12. Miamlin V. V. (2013). Hlavnaia zadacha v sovershenstvovanii industrialnykh metodov remonta vahonov - adaptatsiia potoka k kazhdomu otelnomu vahonu [The main task in improving industrial methods of car repair is to adapt the flow to each individual car]. *Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport '13: Tezy dopov. Mizhnarodnoi nauk.-prak. konf.: Vahony novoho pokolinnia - iz XX v XXI storichchia – Abstracts of Papers of the International Scientific and Practical Conference : The new generation wagons from the XX to the XXI century.* (pp. 311-312). Kharkiv: UkrDAZT, issue. 139. [in Russian]
13. Miamlin V. V. (2014). Analiz razlichnykh struktur hibkykh vahonoremontnykh potokov [Analysis of various structures of flexible car repair streams.]. Problems and prospects for the development of railway transport '14: Tezisy dokladov 74 Mezhd. nauch.-prakt. konf. (Dnepropetrovsk, 15.05-16.05. 2014) – Abstracts of Papers of the 74 All-Ukrainian Scientific and Practical Conference. (pp. 65-67). D.: DNUZhT. [in Russian]
14. Miamlin V.V. (2014). Teoretycheskie osnovy sozdaniia hibkikh potochnykh proizvodstv dlia remonta podvizhnogo sostava: monografiia [The theoretical basis for the creation of flexible in-line production for the repair of rolling stock: monograph]. Dn-vsk. [in Russian]
15. Miamlin V. V., Miamlin S. V. & Mikhalechuk A. N. (2012). Komponovka pozytsii hibkoho vahonoremontnoho potoka i sposob peremeshcheniia izdelii mezhdumimi pri pomoshchi transportnoho ahrehata [The layout of the positions of a flexible car repair stream and the method of moving products between them using a transport unit]. *Visnyk Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana – Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. (pp.205-2013). Dnipropetrovsk, issue. 42. [in Russian]

Надежда Брайковская, к.т.н., проф.

(профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий

Алина Нечипорук, к.э.н.

(Старший преподаватель каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБКИХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ РЕМОНТА ВАГОНОВ

В данной статье проанализированы существующие методы ремонта вагонов - стационарный и поточный. Определены основные особенности, преимущества и недостатки этих методов. Обоснована необходимость внедрения промышленных методов ремонта, а именно применение гибких поточных линий. Определено, что строительство вагоноремонтных предприятий нового поколения, которые будут адаптированы к ремонту каждого конкретного вагона с использованием гибких поточных линий, является основой дальнейшего развития вагонного хозяйства.

Ключевые слова: *вагоноремонтное предприятие, гибкость потока, поточное производство, трудоемкость, ремонтная позиция, пропускная способность.*

Nadiia Braikovska, PhD.Proff.

(Professor of the department «Cars and carriage facilities» State University of Infrastructure and Technologys)

Alina Nechyporuk, PhD

(Senior Lecturer of the Department ««Cars and carriage facilities», State University of Infrastructure and Technologys)

PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL STRUCTURES OF WASHING MACHINERY COMPANIES WITH THE USE OF CURRENT FLOW LINES OF WAGON REPAIR

In this article the modern state of railway transport and carriage economy is characterized, the main problems and ways of their development are determined. The existing methods of repairing wagons - stationary and flow - are analyzed. The main features, advantages and disadvantages of these methods are determined. The necessity of introduction of industrial methods of repair, namely the use of flexible flow lines, is substantiated. It is determined that construction of new generation wagon repair companies, which will be adapted for the repair of each specific wagon with the use of flexible flow lines, is the basis for further development of the carriage economy. The basic requirements to the new generation of car repair enterprises are substantiated,

such as improving the quality of car repairs, reducing the time spent in repairing cars, and creating conditions for the constant growth of labor productivity.

It has been determined that for the introduction of high-performance industrial repair methods, such as flexible flow lines, the necessary condition is the possibility of moving wagons between specialized positions, which are exclusively intended for a certain amount of work and equipped with special technological equipment. The asynchronous flexible flow of repairs of wagons is an effective stage in the development of stream repair production, which can be created on the basis of the transformation of classical flow-conveyor lines due to changes in their structure and ties between the elements. It has a higher level of systematic than existing current-pipelines and can significantly expand the range of types of repaired cars and make the transition from one-subject specialization to multi-purpose, which includes repair of not only different types of cars, but also different types of repairs (depot , capital).

The concept of flexibility and asynchronous flow is defined. Asynchronous flow indicates that wagons move from one repair position to another not all simultaneously at regular intervals, but gradually as needed and possible. Flow flexibility is an integral concept that characterizes the possibility of a quick transition to output of another type size and model.

When applying a flexible flow, where there is some transport freedom and the potential for choosing the route of carriage along the flow positions, the throughput is significantly increased, and the simple carriage in the repair is reduced.

Keywords: car repair company, flux flexibility, stream production, labor intensity, repair position, capacity.

УДК: 629.4.083

Ю. Г. Козік

(інженер, керівник технічних проєктів, ТзОВ «Прикладні залізничні технології»)

ОПТИМАЛЬНЕ ЗА ПИТОМИМИ ВИТРАТАМИ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ КОРПУСНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ

Розглядається задача про визначення ресурсу корпусної ізоляції і відповідних моментів її відновлення для тягового електродвигуна ЕД-118А. Критерієм в задачі служить мінімум сумарних питомих витрат на виконання ПР-3 і КР-1 протягом періоду від останнього проведення КР-2 до наступного КР-2. Враховується ступінь відновлення ізоляції. Моделювання ресурсу ізоляції і періодів відновлення ПР-3 засновано на даних вимірів зворотної напруги в залежності від пробігу.

Ключові слова: корпусна ізоляція, зворотна напруга, контроль стану ізоляції, система утримування тягового електродвигуна.

Вступ. Електричні машини (ЕМ) тягового рухомого складу (ТРС) відносяться до гранично навантаженого обладнання, і тому з позиції комплексного впливу на них теплових, електромагнітних, механічних і кліматичних чинників, незважаючи на постійні заходи конструктивно-технологічного характеру при виготовленні і ремонті, рівень пошкоджуваності їх в експлуатації залишається помітним.

У відповідності з «Державною програмою стратегічного розвитку залізниць України», що підготовлена Державним науково-дослідним центром залізничного транспорту України сумісно із фахівцями Укрзалізниці, розроблено галузеву Програму оновлення тягового рухомого складу залізниць на період до 2020 року, де вказано на необхідність створення сучасних систем обслуговування та ремонту ТРС нового покоління та розробка відповідної нормативної документації, [1].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Засоби і методи сучасного технічного обслуговування в змозі запобігти раптовому ушкодженню ізоляції тягового електродвигуна (ТЕД). Планування технічного обслуговування має життєво важливе значення для безпеки руху поїздів.

Робота [2] є фундаментальною роботою з теоретичних основ ремонтних впливів на надійність технічних об'єктів. В роботі сформульовано ряд задач по визначенню раціонального утримування технічних об'єктів. Запропонований в роботі підхід можна застосовувати як для окремих елементів рухомого складу, так і для об'єктів в цілому.

В роботі [2, с. 54] дається таке визначення загальної задачі раціонального

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-3

утримування технічних об'єктів: «необхідно визначити таку систему планових відновлень, щоб витрати коштів на проведення планових і аварійних відновлень були б мінімальними, а час перебування технічного об'єкта у всіх видах планових і аварійних відновлень не перебільшував наперед заданої величини». В роботі [2, с. 70-81] приводиться математична постановка задачі визначення раціональної системи утримування. В даній роботі використовується термін «раціональна» замість «оптимальна», розуміючи, що моделі, які використовуються при описі процесів відновлення, не можуть відображати усього різноманіття реальних ситуацій. Термін «оптимальна» використовується для характеристики розв'язання математичних задач.

Основними стратегіями профілактичного обслуговування ТЕД є: регламентне обслуговування (РО) і технічне обслуговування засноване на умовах експлуатації (ОУЕ) [3]. РО є основним методом обслуговування ізоляції. За РО обслуговування планується на основі заздалегідь певного вікового порога. Це, в свою чергу, має недоліки, такі як надмірне або недостатнє технічне обслуговування [4, 5].

Спираючись на статистичну обробку даних про відмови ізоляції, деякі дослідники намагалися встановити спільні оптимальні моделі РО і ОУЕ [6]. Такі моделі сьогодні є інноваційними, максимально використовують інформацію про «життєвий цикл» ізоляції і інформацію про її стан. Автори [7, 8], використовуючи авторегресію, запропонували модель для опису процесу деградації ізоляції. Автори [9] створили модель обслуговування ізоляції як системи з поступовими відмовами з урахуванням ефекту електричного ураження, в основу поклавши марковський процес. Деякі дослідники вдосконалили модель оптимального обслуговування «деградація-порог-удар», яка інтегрувала процес деградації ізоляції і ефекти руйнації, спираючись на стохастичні методи [10-13]. Як стверджують автори, інтегрована модель РО і ОУЕ остаточно не розроблена і визначення її є важливим завданням для дослідників.

У статті [14] аналізується надійність роботи тягових електродвигунів. Показано, що найбільшу кількість відмов припадає на ізоляцію обмотки якоря. Дослідження причин зносу ізоляції обмотки якоря проводилося з використанням динамічної теплової моделі електродвигуна. Перевірка моделі проводилася шляхом порівняння з результатами теплових випробувань електродвигунів серій НБ-406 і ЕД-118. В роботі показано, що ресурс електродвигуна в основному визначається зносом ізоляції.

Стаття [15] присвячена оптимальній стратегії обслуговування заснованій на умовах експлуатації ізоляції. Об'єднавши інформацію що отримана з періодичних перевірок з інформацією про стан ізоляції протягом експлуатації, в [15] запропонована комплексна математична модель технічного обслуговування. Запропоновано також модель, що заснована на пуассонівському потоці відмов (пробою) ізоляції. Вдосконалення систем утримування ТЕД, в тому числі і корпусної ізоляції, з необхідністю призводить до відповідних розробок пристроїв і систем діагностування, [16-18].

Як висновок може бути корисною публікація [19], в якій автори проводять поетапний вичерпний огляд однієї схеми ізоляції, і дають детальний звіт про стандарти, що пов'язані з системами ізоляції. У статті звертається увага на те, що жоден стандарт не може забезпечити гарантію на термін служби, і ніякі випробування ізоляції не включають всі робочі умови: термічні, механічні, вплив вологи і хімічний вплив. Як замовник, так і виробники будуть використовувати стандарти, знаючи, що такі документи не можуть повністю задовольнити їхні

побажання. Автори підкреслюють, що протягом 20-ти років спостерігаються тенденція поліпшення якості ізоляції і деякі досягнення в удосконаленні стандартів.

На сьогоднішній день РО залишається основною політикою в обслуговуванні ізоляції, яка передбачає періодичне оцінювання стану ефективності ізоляції, визначає заходи щодо профілактичного обслуговування, ініціалізує перевищення критичного віку або перевищення заданого порогу огляду. Оптимізаційні моделі РО орієнтовані на мінімізацію витрат на обслуговування за одиницю часу, враховуючи інтервали перевірки і критичний вік.

Моделі, що стосуються прогнозуванню ресурсу ізоляції ТЕД, дослідниками однозначно не визначаються. Ресурс (життєвий цикл) моделюється як напрацювання (час) між сусідніми неусувними відмовами. Вихідними даними, при цьому, є інформація про відмови протягом деякого часу експлуатації.

Моделі відновлення корпусної ізоляції, що пропонуються в проаналізованих публікаціях, базуються на випадкових потоках відмов (пробій ізоляції) і не враховують поточний стан ізоляції та ступінь відновлення (технологію відновлення).

Мета і завдання дослідження – покращення системи утримування ТЕД ЕД-118А за рахунок прогнозування ресурсу корпусної ізоляції та визначення моментів її відновлення з забезпеченням найменших питомих витрат на ПР-3 і КР-1 з врахуванням ступені відновлення, використовуючи дані про стан ізоляції за методом зворотної напруги [18] в процесі експлуатації.

Задачі дослідження:

- дослідження залежності максимального значення зворотної напруги від інтегрального показника [18] якості стану корпусної ізоляції;
- розробка математичної моделі побудови моментів відновлення корпусної ізоляції в об'ємі ПР-3 та КР-1 з урахуванням ступені відновлення та інтегрального показника якості стану корпусної ізоляції;
- прогнозування ресурсу корпусної ізоляції за математичною моделлю.

Матеріали та методи дослідження. Одним з ефективних неруйнівних методів контролю стану корпусної ізоляції ТЕД є метод, заснований на використанні явища абсорбції. Відомо, що про стан ізоляції і ступені її старіння судять по струму абсорбції. Контроль заряду абсорбції по струму абсорбції не дуже зручний, оскільки струм абсорбції малий і з цієї причини спотворюється оточуючими промисловими перешкодами. Тому на практиці застосовують метод вимірювання напруги саморозряду і зворотної напруги.

За вимірними значеннями напруги саморозряду і зворотної напруги можна судити про стан корпусної ізоляції безпосередньо. За рахунок різної поляризації шарів від джерела напруги до ізоляції протягом нетривалого часу протікає струм абсорбції. За рахунок струму абсорбції на кордоні розділу шарів накопичується об'ємний заряд внутрішнього поглинання (заряд абсорбції). Про процес абсорбції можна судити не тільки по струму абсорбції, але і по накопиченому (поглиненому) заряду абсорбції, який створює зворотну напругу.

Дослід, в якому спостерігається зворотна напруга, полягає в наступному. Неоднорідна ізоляція заряджається протягом деякого часу при постійній (номінальній) напрузі U_0 , щоб в ній накопичився заряд абсорбції. Потім ізоляція відключається від джерела постійної напруги і її електроди (провід та «корпус») замикаються на коротко на малий проміжок часу Δt , після чого знову розмикаються. За час Δt геометрична ємність ізоляції повністю розряджається, а

заряд абсорбції, накопичений на кордоні шарів, залишається практично незмінним. Цей заряд розподіляється на ємність ізоляції і заряджає її. Після розмикання зовнішніх електродів ізоляція буде розряджатися на опір своїх шарів. На ізоляції з'явиться напруга. Цю напругу і називають зворотною напругою U_{ret} [20]. В [18] наводиться пристрій, що дозволяє виміряти зворотну напругу ТЕД. На рис. 1 наведено приклад кривих зворотної напруги, що характеризують різні стани корпусної ізоляції ТЕД. За значенням і формою зворотної напруги можна судити про стан ізоляції.

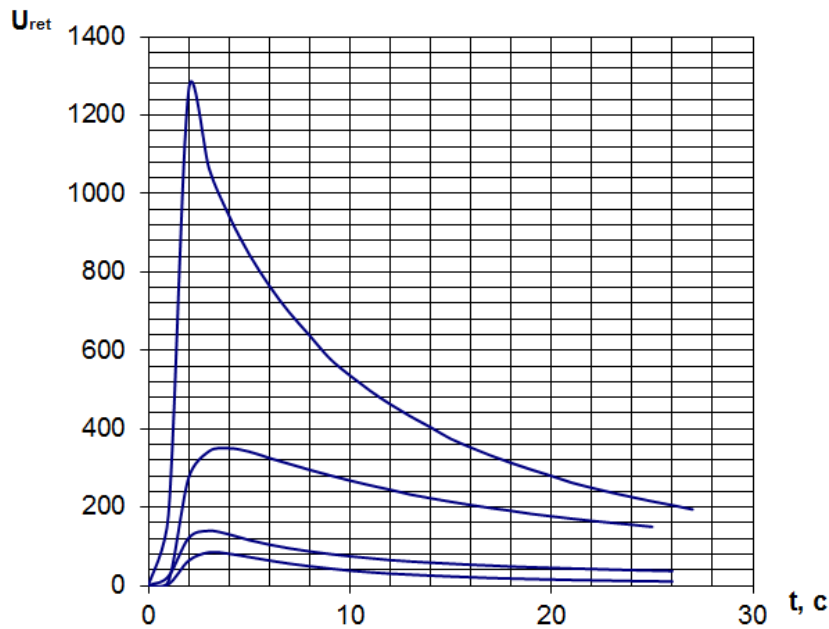


Рис. 1. Приклади вимірювань зворотної напруги. U_{ret} – зворотна напруга у вольтах, t – час в секундах. Верхня крива відповідає найкращому стану ізоляції, нижня – найгіршому стану

В якості оцінки стану корпусної ізоляції ТЕД ЕД-118А в роботі використовувались данні замірів значень зворотної напруги $U_{ret}(t)$, t – час, для різних значень пробігу локомотива.

Якість стану ізоляції будемо оцінювати показником $U_{ret}^{max}(l)$ – максимальне значення зворотної напруги в поточній процедурі вимірювання відповідно до пробігу локомотива l

$$U_{ret}^{max}(l) = \max_t U_{ret}(t), t \in [0, t_{eval}], \quad (1)$$

та інтегральним показником [18]

$$A(l) = \int_0^{t_{eval}} U_{ret}(t) dt, \quad t_{eval} = t_r + t_{midl}, \quad (2)$$

де l – пробіг локомотива, при якому виконується діагностування ТЕД;
 t_{eval} – час оцінювання зворотної напруги визначається з рівняння

$$U_{ret}(t_{eval}) = 0.5 \cdot U_{ret}^{max}(l), \quad (3)$$

де t_r – час наростання зворотної напруги до величини $U_{ret}^{max}(l)$;

t_{midl} – значення часу саморозрядження від часу t_r до величини зворотної напруги $0.5 \cdot U_{ret}^{max}(l)$.

Заміри величин зворотної напруги $U_{ret}(t)$, інтегральної оцінки $A(l)$ виконувались приладом [9]. Спостереження проводились для групи ТЕД, що встановлені на тепловозах серії 2ТЕ-116 депо «М» РФ «Придніпровська залізниця» при різних значеннях пробігу l (напрацювання).

Заміри зворотної напруги $U_{ret}(t)$ та відповідної величини інтегральної оцінки (2) проводилися для ТЕД, що проходили капітальний ремонт КР-1 на локомотиворемонтному заводі «Завод 1», електровозоремонтному заводі «Завод 2» та електромеханічному ремонтному заводі «Завод 3». Залежність значень $U_{ret}^{max}(l)$ для одного ТЕД від інтегральної оцінки $A(l)$ приведено на рис. 2. Залежність значень інтегральної оцінки $A(l)$ для одного ТЕД від пробігу приведено на рис. 3.

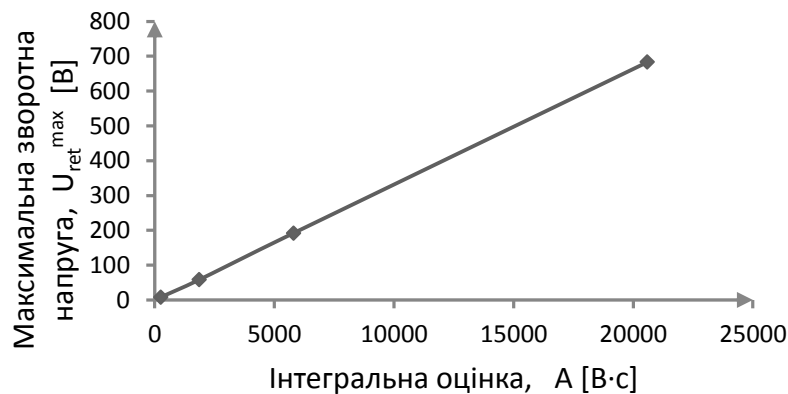


Рис. 2. Залежність значень вимірів $U_{ret}^{max}(l)$ від інтегральної оцінки $A(l)$ для одного ТЕД

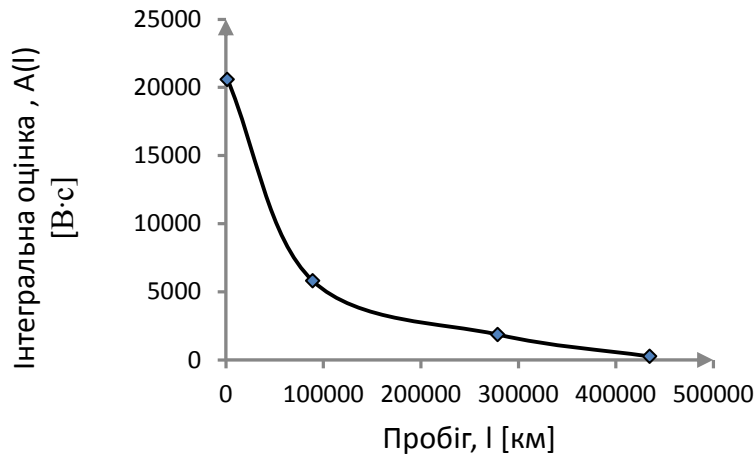


Рис. 3. Залежність значень інтегральної оцінки $A(l)$ від пробігу для одного ТЕД

Якщо величину зворотної напруги $U_{ret}^{max}(l)$ та інтегральну оцінку $A(l)$ розглядати як характеристики процесу старіння корпусної ізоляції (або як показники поступової відмови), то їх можна описати співвідношеннями аналогічно [21]

$$U_{ret}^{max}(l) = U_{ret}^{max}(0) \cdot e^{-a \cdot l}, \quad a = const; \quad (4)$$

$$A(l) = A(0) \cdot e^{-b \cdot l}, \quad b = const, \quad (4')$$

параметри a і b визначаються з задачі апроксимації експериментальних даних методом найменших квадратів.

Перевірка адекватності лінійної залежності між максимальними значеннями вимірів зворотної напруги $U_{ret}^{max}(l)$ від інтегральної оцінки $A(l)$ за даними спостережень виконувалась за критерієм Колмогорова-Смірнова при рівні значущості 0.05. Критерій нормальності Колмогорова-Смірнова володіє достатньою чутливістю навіть при малому числі вибірки. З цього факту слідує що стан корпусної ізоляції при проведенні її діагностування методом зворотної напруги можна характеризувати як максимальним значенням зворотної напруги $U_{ret}^{max}(l)$, так й інтегральним показником $A(l)$.

Відновлення якості корпусної ізоляції можливе в умовах локомотивного депо під час виконання поточного ремонту ПР-3 та в умовах локомотиворемонтного заводу при проведенні капітального ремонту КР-1, та капітального ремонту КР-2.

Якщо відновлення властивостей ізоляції буде здійснюватися після КР-2 (або коли ізоляція нова) під час виконання ПР-3 з періодом відновлення τ , то

інтегральна оцінка $A(l)$, з урахуванням ступеня відновлення корпусної ізоляції, буде описуватися функціональною залежністю в вигляді [2]

$$A(l) = A(0) \cdot e^{-b \left(l - \gamma \cdot \tau \cdot \left[\frac{l}{\tau} \right] \right)}, \quad (5)$$

де $\left[\frac{l}{\tau} \right]$ – ціла частина від $\left(\frac{l}{\tau} \right)$;

γ – коефіцієнт (число), що характеризує рівень відновлення ізоляції під час виконання ПР-3.

В подальшому вважаємо, що відлік напрацювання l починається від ремонту КР-2 (або з моменту початку напрацювання коли ізоляція нова).

Параметри залежності інтегральної оцінки A , зворотної напруги U_{ret}^{max} з урахуванням початкової якості ізоляції (або якості ремонту ТЕД ЕД-118А локомотиворемонтними заводами) наведено в табл. 1. Параметр b і значення величини $A(0)$ в табл. 1 визначались з розв'язання задачі апроксимації за даними спостережень величин інтегральних оцінок $A(l)$. В звичайній ситуації і в проведених експериментах справжнє значення величин $A(0)$ після відновлення КР-2 для ТЕД невідомо.

В табл. 1: $C_{ПР3}$ – витрати коштів на одне відновлення за ПР-3; $C_{КР1}$ – витрати коштів на відновлення за КР-1; g – коефіцієнт, що характеризує рівень відновлення ізоляції під час виконання КР-1. Величини $C_{ПР3}$ і $C_{КР1}$ це середні витрати на одне відновлення для певного заводу.

Первинно величина L_{ren1}^* напрацювання до КР-1 визначається з розв'язання рівняння

$$A(0) \cdot e^{-b \left(L_{ren1}^* - \gamma \cdot \tau \cdot \left[\frac{L_{ren1}^*}{\tau} \right] \right)} = A_{min2} \quad (6)$$

відносно L_{ren1}^* . В рівнянні (6) величина A_{min2} є значення інтегральної оцінки A , що відповідає обмеженню знизу для значень зворотної напруги U_{ret}^{max} . Остаточна величина напрацювання до КР-1 визначається як

$$L_{ren1} = \begin{cases} L_{ren1}^* \\ (n+1) \cdot \tau \end{cases}, \quad (7)$$

де n – кількість відновлень ПР-3 до моменту КР-1.

Значення $L_{ren1} = L_{ren1}^*$ приймається коли різниця $\theta = L_{ren1}^* - (n+1) \cdot \tau$ становить величину близьку до τ . Термін «близька» не означає «приблизно дорівнює» і залежить більше від людського фактору. Задача про прийняття рішення що стосується вибору значення L_{ren1} в статті не розглядається. Іншими словами: якщо величина пробігу θ економічно вигідна після проведення останнього ПР-3, то тоді $L_{ren1} = L_{ren1}^*$, в іншому випадку в момент напрацювання що відповідає останньому ПР-3 буде здійснено КР-1 і тоді $L_{ren1} = (n+1) \cdot \tau$.

Таблиця 1. Початкові данні: параметри залежності інтегральної оцінки $A(l)$ і витрати коштів на відновлення за ПР-3, КР-1

Завод	$A(0)$ [В·с]	γ	b	g	$C_{ПР3}$ [грн]	$C_{КР1}$ [грн]
«Завод 1»	20540	0,40	0,00000900	0,71	6520	12648
«Завод 2»	20900	0,55	0,00000947	0,78	6520	14055
«Завод 3»	21180	0,49	0,00001015	0,75	6520	16970

Моделювання моментів відновлення до КР-2 відбувається з урахуванням отриманих результатів моделювання відновлення до КР-1. Первинно величина напрацювання до КР-2 L_{ren2}^* визначається з розв'язання рівняння

$$A(0) \cdot e^{-b(L_{ren2}^* - L_{ren1} + \Delta l - \tau \cdot g \cdot m)} = A_{\min 2}, \quad (8)$$

відносно L_{ren2}^* . В рівнянні (8) m – кількість відновлень ПР-3 від моменту КР-1 до КР-2; Δl – прирощення по пробігу відповідно до рівня відновлення при виконанні КР-1 (залежить від коефіцієнту відновлення ізоляції g). Величина Δl визначається з розв'язання рівняння

$$A(0) \cdot e^{-b \cdot \Delta l} = g \cdot A(0) \quad (9)$$

відносно Δl . Остаточню величину напрацювання до КР-2 визначається як

$$L_{ren2} = \begin{cases} L_{ren2}^* \\ L_{ren1} + (m+1) \cdot \tau \end{cases} \quad (10)$$

Вираз (10) аналогічний виразу (7). Розглядається різниця $\delta = L_{ren2}^* - L_{ren1} - (m+1) \cdot \tau$. В цьому випадку, якщо величина пробігу δ

економічно вигідна після проведення останнього ПР-3 після КР-1, то $L_{ren2} = L_{ren2}^*$, в іншому випадку в момент напрацювання що відповідає останньому ПР-3 буде здійснено КР-2 і $L_{ren2} = L_{ren1} + (m+1) \cdot \tau$.

При фіксованій періодичності, коли $\tau=180000$ км, [22], та з врахуванням обмеження на зворотну напругу, значення можливого пробігу L_{ren2} (напрацювання до КР-2) по заводах наводяться в табл. 2.

При моделюванні моментів відновлення, табл. 2, вводиться обмеження знизу в вигляді зони (A_{min1}, A_{min2}), що є обмеженням значень інтегрального показника якості ізоляції в розрахунках. Величина $A_{min1} = 950[B \cdot c]$ відповідає величині зворотної напруги в 30 вольт, а величина $A_{min2} = 750[B \cdot c]$ – величині в 25 вольт. Величини A_{min1}, A_{min2} обирались виходячи з досвіду експлуатації, точки зору безпеки руху і досліджень [18].

Таблиця 2. Прогнозування напрацювання відновлення до КР-1 та до КР-2 по заводах при періодичності відновлення $\tau = 180000$ км за Правилами [22]

Завод відновлення ізоляції	Напрацювання до КР-1 $L_{ren1}, [км]$	Напрацювання до КР-2 $L_{ren2}, [км]$	Витрати коштів $C_{ПР3}(n,m) + C_{КР1}$ [грн]	Питомі витрати [коп/км]
«Завод 1»	513715	988164	38728	3,91
«Завод 2»	540000	1080000	40115	3,71
«Завод 3»	540000	1052015	43050	4,09

Як впливає з табл. 2 розрахунків, при однакових представлених періодах відновлення τ і кількості відновлень, на якість корпусної ізоляції впливає і прийнята технологія відновлення. Перед замовником (депо) виникає задача про прийняття рішення стосовно вибору виконавця для проведення відновлювальних робіт. Результати моделювання (послідовність відновлень та прогнозування ресурсу), що відповідають табл. 2, надано на рис. 4-6. На рисунках зображено функцію відновлень-зносу корпусної ізоляції. Функція відновлень-зносу являє собою залежність інтегрального показника стану ізоляції від напрацювання. У точках, що відповідають моментам відновлення, функція має розриви першого роду. На всіх рисунках прогнозування ресурсу корпусної ізоляції функція відновлень-зносу має синій колір, коридор з прямих ліній червоного та зеленого кольору відповідає прийнятому обмеженню в задачі оптимізації на величину зворотної напруги відповідно 25 В і 30 В.

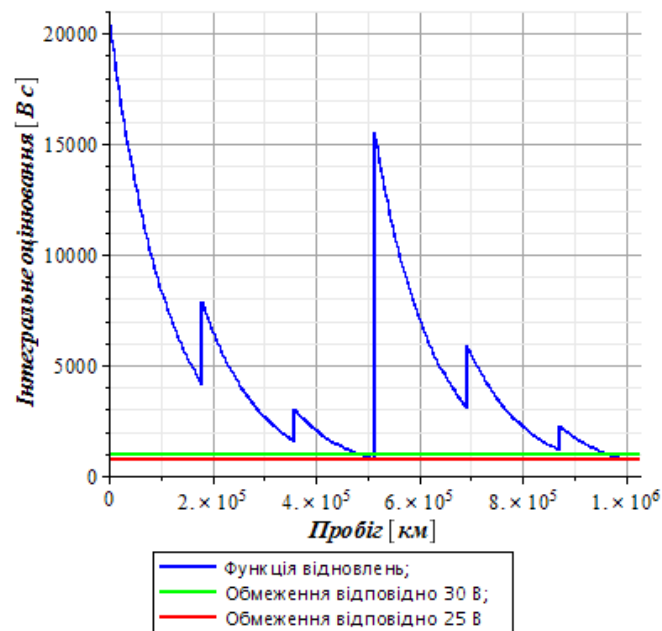


Рис. 4. Прогнозування ресурсу та моменти відновлень до КР-2 за Правилами [22], технологія відновлення «Завод 1». Моменти відновлення, км: 180000 – ПР-3; 360000 – ПР-3; 513715 – КР-1; 693715 – ПР-3; 873715 – ПР-3; 988164 – КР-2

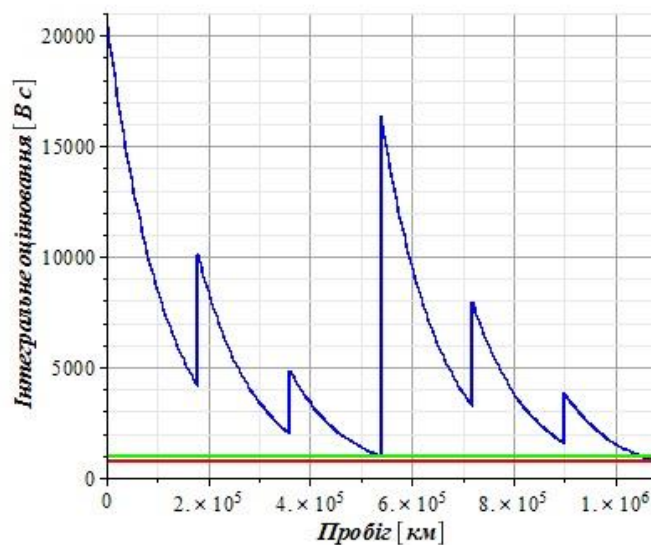


Рис. 5. Прогнозування ресурсу та моменти відновлень до КР-2 за Правилами [22], технологія відновлення «Завод 2». Моменти відновлення, км: 180000 – ПР-3; 360000 – ПР-3; 540000 – КР-1; 720000 – ПР-3; 900000 – ПР-3; 1080000 – КР-2

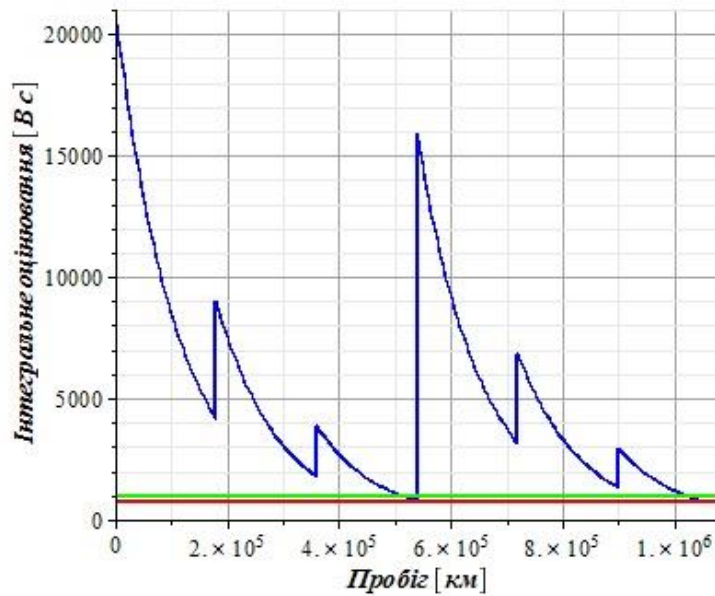


Рис. 6. Прогнозування ресурсу та моменти відновлень до КР-2 за Правилами [14], технологія відновлення «Завод 3». Моменти відновлення, км: 180000 – ПР-3; 360000 – ПР-3; 540000 – КР-1; 720000 – ПР-3; 900000 – ПР-3; 1052015 – КР-2

Рішення стосовно вибору моментів відновлення корпусної ізоляції і відповідного ресурсу визначимо з розв'язання наступної задачі оптимізації. Для ремонтних заводів визначимо варіанти відновлення такі, які мінімізують суму питомих витрат на відновлення ПР-3 та КР-1 за період експлуатації від КР-2 (або новий ТЕД) до наступного КР-2. Сформулюємо задачу. Нехай τ – період відновлення ізоляції, n – кількість відновлень ПР-3 до КР-1, m – кількість відновлень ПР-3 від КР-1 до КР-2, тоді

$$\min_{\tau, n, m} \frac{C(\tau, n, m)}{L_{ren2}(\tau, n, m)}, \quad \tau \in T, \quad n, m \in M, \quad (11)$$

при обмеженні

$$L_{ren2}(\tau, n, m) \geq L_{\min}, \quad (12)$$

де $C(\tau, n, m)$ – сума витрат на виконання відновлень всіх ПР-3 та КР-1;

M – обмежена безліч натуральних чисел;

T – безліч наперед заданих періодів відновлення ізоляції;

$L_{ren2}(\tau, n, m)$ – напрацювання ізоляції до КР-2;

$L_{\min}$ – мінімально допустимий пробіг (напрацювання) ТЕД, приймається відповідно [22] величиною 990000 км.

Функція цілі $C(\tau, n, m)$ є сума витрат на всі визначені при моделюванні відновлення всіх ПР-3 і КР-1 за період експлуатації від КР-2 (або новий ТЕД) до наступного КР-2. Мова йде про загальні питомі витрати на відновлення тільки корпусної ізоляції одного ТЕД.

В задачі прийнято $M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$; $T = \{\tau_i\}, i = \overline{1, K}$ – дискретна безліч періодів відновлення, τ_i – періоди відновлення ізоляції, що задаються наперед при розв'язанні задачі. Розв'язання задачі значно спрощується тим, що оптимізація виконується на рахункових, обмежених безлічах T і M . Дискретна безліч періодів відновлення вибрана в зв'язку з тим, що функція цілі $C(\tau, n, m)$ не є безперервною функцією, що ускладнює використання методів типу градієнтних при вирішенні поставленої оптимізаційної задачі. Значення періодів відновлення τ_i для різних ремонтних заводів відрізняються.

Оптимізація питомих витрат з прогнозуванням ресурсу корпусної ізоляції за технологією відновлення «Завод 1» проводилась для безлічі періодів відновлення $T[км] = \{180000, 150000, 120000, 250000, 300000, 320000, 350000, 360000\}$.

Отримано наступний результат з мінімізації питомих витрат: кількість відновлень ПР-3 $(n+m)=(1+1)$; напрацювання до КР-2 $L_{ren2} = 990430$ км; загальні витрати на відновлення $C(\tau, n, m) = 25688$ грн; найменші питомі витрати склали 2,59 коп/км; період відновлення $\tau = 360000$ км.

Оптимізація питомих витрат з прогнозуванням ресурсу корпусної ізоляції за технологією відновлення «Завод 2» проводилась для безлічі періодів відновлення $T[км] = \{180000, 250000, 150000, 350000, 120000, 300000, 240000, 360000\}$.

Отримано наступний результат з мінімізації питомих витрат: кількість відновлень ПР-3 $(n+m)=(1+1)$; напрацювання до КР-2 $L_{ren2} = 1108430$ км; загальні витрати на відновлення $C(\tau, n, m) = 25688$ грн; найменші питомі витрати склали 2,32 коп/км; період відновлення $\tau = 360000$ км.

Оптимізація питомих витрат з прогнозуванням ресурсу корпусної ізоляції за технологією відновлення «Завод 3» проводилась для безлічі періодів відновлення $T[км] = \{180000, 150000, 120000, 250000, 240000, 300000, 320000, 360000\}$.

Отримано наступний результат з мінімізації питомих витрат: кількість відновлень ПР-3 $(n+m)=(1+1)$; напрацювання до КР-2 $L_{ren2} = 1049730$ км; загальні витрати на відновлення $C(\tau, n, m) = 25688$ грн; найменші питомі витрати склали 2,45 коп/км; період відновлення $\tau = 360000$ км.

Варіанти оптимальних відновлень ізоляції, для поставленої задачі оптимізації, зведемо в загальну таблицю для подальшого аналізу, табл. 3.

Таблиця 3. Зведена таблиця аналізу оптимальних варіантів технологій відновлення корпусної ізоляції по заводам

Завод відновлення КР-1, КР-2	Періодичність відновлення τ , [км]	Кількість відновлень ПР-3 ($n+m$)	Напрацювання до КР-2 L_{ren2} , [км]	Питомі витрати [коп/км]
«Завод 1»	360000	1+1	990430	2,59
«Завод 2»	360000	1+1	1108430	2,32
«Завод 3»	360000	1+1	1049730	2,45

Порівнюючи, відповідно до поставленої задачі оптимізації, для величин питомих витрат на відновлення можна углядіти наступну тенденцію. На величини питомих витрат впливає технологія відновлення, що прийнята на відповідному заводі де відбувається відновлення. Як видно з табл. 3 найкращу технологією відновлення має «Завод 2». На рис. 7-9 відображено функції відновлень корпусної ізоляції для «Завод 1», «Завод 3», «Завод 2», що відповідають найменшим питомим витратам наданих в табл. 3.

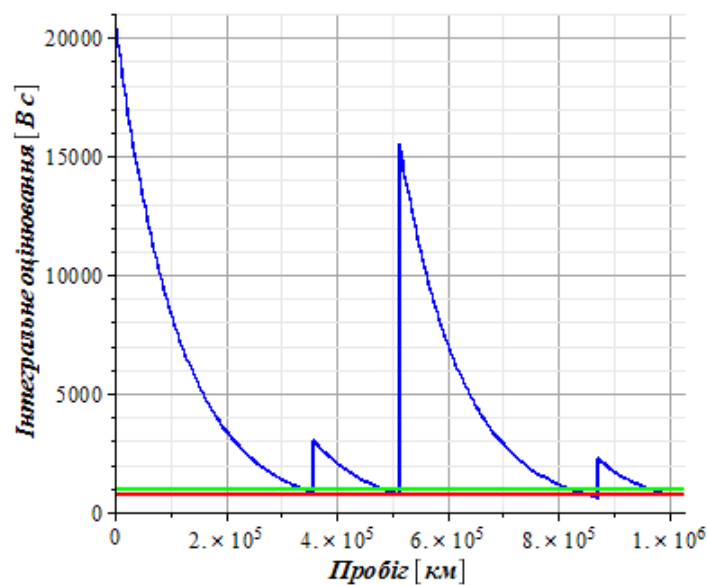


Рис. 7. Оптимальні за питомими витратами моменти відновлень до КР-2. Періодичність, $\tau=360000$ км, «Завод 1». Моменти відновлення, км: 360000 – ПР-3; 513715 – КР-1; 873715 – ПР-3; 990430 – КР-2 (L_{ren2}).

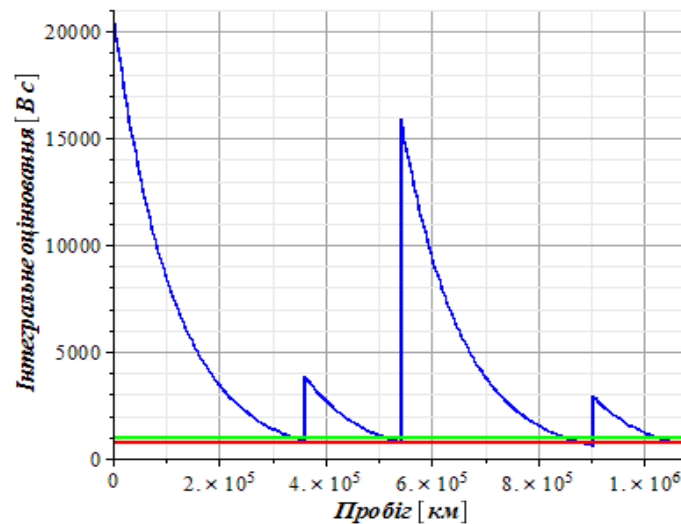


Рис. 8. Оптимальні за питомими витратами моменти відновлень до КР-2.
Періодичність, $\tau=360000$ км, «Завод 2». Моменти відновлення, км:
360000 – ПР-3; 542515 – КР-1; 902515 – ПР-3; 1049730 – КР-2 (L_{ren2})

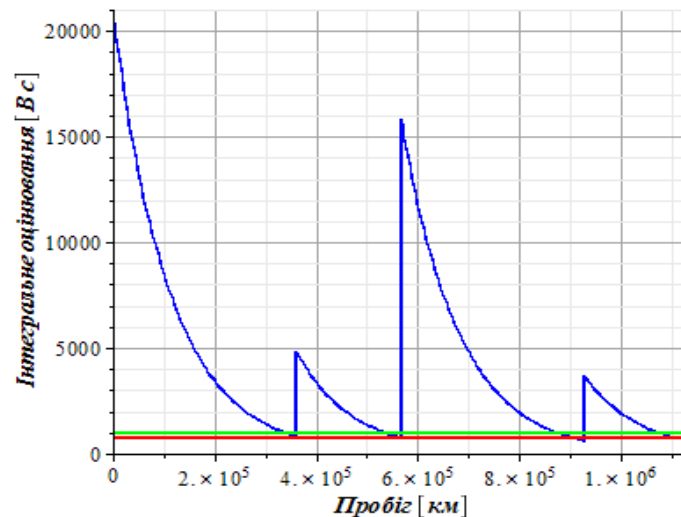


Рис. 9. Оптимальні за питомими витратами моменти відновлень до КР-2.
Періодичність, $\tau=360000$ км, «Завод 3». Моменти відновлення, км:
360000 – ПР-3; 567715 – КР-1; 927715 – ПР-3; 1108430 – КР-2 (L_{ren2})

Наведені результати розрахунків придатні для локомотивного депо «М», для якого була зібрана статистична інформація. Для інших локомотивних депо обчислення необхідно виконати заново.

Висновки. Визначено оптимальне напруження корпусної ізоляції ТЕД ЕД-118А за питомими витратами на відновлення як технічного об'єкта з поступовими відмовами з урахуванням технології відновлення. Отримано відповідні моменти відновлення. Моделювання моментів відновлення та прогнозування ресурсу корпусної ізоляції здійснювалося без урахування впливів випадкових відмов ізоляції. За статистичними даними та обраним методом прогнозування ресурсу визначено що найкращу технологією відновлення має «Завод 2». Отримані результати прийнятні до конкретних умов експлуатації. Важливо дотримання припущення, що умови експлуатації ТЕД не змінювалися зі зміною напруження. Останнє означає, що вагові норми, полігон обороту і організація руху за період спостереження і збору інформації не змінювалися.

При застосуванні описаного методу прогнозування ресурсу корпусної ізоляції необхідна велика кількість даних про стан корпусної ізоляції ТЕД, який експлуатується тривалий час. Крім того, час, протягом якого виконується оцінка стану ізоляції двигуна, досить великий.

Величини інтегрального показника $A(l)$ зміни зворотної напруги корпусної ізоляції в поточній процедурі вимірювання, де l – пробіг локомотива, при якому виконується діагностування ТЕД, можуть бути використані для прогнозування ресурсу та моделювання моментів відновлення ізоляції, рівно як і величини зворотної напруги $U_{ret}^{max}(l)$ – максимальне значення зворотної напруги в поточній процедурі вимірювання відповідно до пробігу локомотиву l .

Показники стану ізоляції $U_{ret}^{max}(l)$ і $A(l)$, які отримують при діагностуванні корпусної ізоляції методом зворотної напруги, еквівалентні.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.М. Самсонкін, О.М. Гончаров, С.Г. Грищенко та ін. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки. Укрзалізниця. К.:ДП ДНДЦ УЗ, 2009. 300 с.
2. А.А. Босов, П.А. Лоза. Теоретические основы рационального содержания подвижного состава железных дорог: Монография. Днепропетровск: Дриант, 2015. 252 с. ISBN 978-966-2394-15-3.
3. Asadzadeh, S.M., Azadeh, A., 2014. An integrated systemic model for optimization of condition-based maintenance with human error. *Reliability Engineering & System Safety*, 124:117-131. [doi:10.1016/j.ress.2013.11.008].
4. Lu, X.F., Liu, M., 2014. Hazard rate function in dynamic environment. *Reliability Engineering & System Safety*, 130:50-60. [doi:10.1016/j.ress.2014.04.020].
5. Shi, H., Zeng, J.C., 2014. Preventive maintenance strategy based on life prediction. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 20(5):1133-1140 (in Chinese).
6. Yin, H., Zhang, G.J., Zhu, H.P., et al., 2015. An integrated model of statistical process control and maintenance based on the delayed monitoring. *Reliability Engineering & System Safety*, 33:323-333. [doi:10.1016/j.ress.2014.09.020].
7. Tang, D.Y., Makis, V., Jafari, L., et al., 2015. Optimal maintenance policy and residual life estimation for a slowly degrading system subject to condition monitoring. *Reliability Engineering & System Safety*, 134:198-207. [doi:10.1016/j.ress.2014.10.015].
8. Shi, H., Zeng, J.C., 2014. Preventive maintenance strategy based on life prediction. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 20(5):1133-1140 (in Chinese).
9. Montoro-Cazorla, D., Pérez-Ocón, R., 2014. A reliability system under different types of shock governed by a Markovian process and maintenance policy K. *European Journal of Operational Research*, 235(3):636-642. [doi:10.1016/j.ejor.2014.01.021].
10. Lin, Y.H., Li, Y.F., Zio, E., 2014. Multi-state physics model for the reliability assessment of a component under degradation processes and random shocks. ESREL, Amsterdam, the Netherlands, p.1-7.

11. Lin, Y.H., Li, Y.F., Zio, E., 2015. Integrating random shocks into multi-state physics models of degradation processes for component reliability assessment. *IEEE Transactions on Reliability*, 64(1):154-166. [doi:10.1109/TR.2014. 2354874].
12. Caballé, N.C., Castro, I.T., Pérez, C.J., et al., 2015. A condition-based maintenance of a dependent degradationthreshold-shock model in a system with multiple degradation processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 134:98-109. doi:10.1016/j.res.2014.09.024].
13. Castro, I.T., Caballé, N.C., Pérez, N.C., 2015. A conditionbased maintenance for a system subject to multiple degradation processes and external shocks. *International Journal of Systems Science*, 46(9):1692-1704. [doi:10.1080/00207721.2013.828796].
14. Nefedov, Roman & Loginova, Elena., 2018. Investigation of wear of insulation of traction engines of locomotives in operation. ITM Web of Conferences. 18. 01006. [doi: 10.1051/itmconf/20181801006].
15. Jian ZHANG, Ji-en MA, Xiao-yan HUANG, et al., 2015. Optimal condition-based maintenance strategy under periodic inspections for traction motor insulations. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 16(8):597-606. [doi:10.1631/jzus.A1400311]
16. М.И. Капица, В. В. Лагута, Т. Н. Сердюк Определение системы диагностирования ТЭД с учетом выбора предпочтительных элементов с изменяющейся интенсивностью // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2017. № 4. Харків: Вид-во УкрДУЗТ. С. 9 –15.
17. Serdiuk T., Feliziani M., Serdiuk K., 2018. About electromagnetic compatibility of track circuits with the traction supply system of railway / Proc. of the 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2018. - Publisher: IEEE. Conference Location: Amsterdam, Netherlands. 27-30 Aug. 2018. Pages: 242 – 247. [DOI: 10.1109/EMCEurope.2018.8485034]
18. Michail Kapitsa, Vasiliy Laguta, Yuriy Kozik, «Selecting the Parameters of The Diagnosis of Frame Insulation Condition in Electrical Machines of Locomotives», *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (4.3) (2018), pp. 110-114. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19718.
19. Olivier Barré, Bellemain Napame. The Insulation for Machines Having a High Lifespan Expectancy, Design, Tests and Acceptance Criteria Issues. *Machines* 2017, 5(1), 7; <https://doi.org/10.3390/machines5010007>
20. Методи контролю ізоляції по возвратному напругенню і кривой саморазряда. Контроль ізоляції по возвратному напругенню. Режим доступа: <http://prp-toz.pf/tehnika-vyisokih-napryazheniy/126-metody-kontrolya-izolyacii-po-vozvratnomu-napryazheniyu-i-krivoy-samorazryada.html>
21. И. М Меламедов. Физические основы надежности . Л., Энергия , 1970. С. 132-138.
22. Правила ремонту електричних машин тепловозів. № ЦТ-0064: Наказ Укрзалізниці від 23.02.03 р. № 53-Ц. / К., ТОВ Видавничий дім „САМ“, 2003. 148 с.

REFERENCES

1. Samsonkin, V.M., Honcharov, O.M., Hryshchenko, S.H. ta in. (2009). Kompleksna prohrama onovlennia zaliznychnoho rukhomoho skladu Ukrainy na 2008 – 2020 roky [Comprehensive program of renovation of the railway rolling stock of Ukraine for 2008 - 2020]. Ukrzaliznytsia. – K.:DP DNDTs UZ. – 300 s. [in Russian]
2. Bosov, A. A., Loza, P. A. (2015). Teoretycheskiye osnovy ratsyonalnogo soderzhaniya podvyzhnogo sostava zheleznykh doroh [Theoretical bases of rational maintenance of rolling stock of railways]: Monohrafiya. –Dnepropetrovsk: Dryant, – 252 s. ISBN 978-966-2394-15-3. [in Russian]
3. Asadzadeh, S.M., Azadeh, A., 2014. An integrated systemic model for optimization of condition-based maintenance with human error. *Reliability Engineering & System Safety*, 124:117-131. [doi:10.1016/j.res.2013.11.008].
4. Lu, X.F., Liu, M., (2014). Hazard rate function in dynamic environment. *Reliability Engineering & System Safety*, 130:50-60. [doi:10.1016/j.res.2014.04.020].
5. Shi, H., Zeng, J.C., (2014). Preventive maintenance strategy based on life prediction. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 20(5):1133-1140 (in Chinese).
6. Yin, H., Zhang, G.J., Zhu, H.P., et al., (2015). An integrated model of statistical process control and maintenance based on the delayed monitoring. *Reliability Engineering & System Safety*, 33:323-333. [doi:10.1016/j.res.2014. 09.020].
7. Tang, D.Y., Makis, V., Jafari, L., et al., (2015). Optimal maintenance policy and residual life estimation for a slowly degrading system subject to condition monitoring. *Reliability Engineering & System Safety*, 134:198-207. [doi:10.1016/j.res.2014.10.015].
8. Shi, H., Zeng, J.C., (2014). Preventive maintenance strategy based on life prediction. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 20(5):1133-1140 (in Chinese).

9. Montoro-Cazorla, D., Pérez-Ocón, R., (2014). A reliability system under different types of shock governed by a Markovian process and maintenance policy *K. European Journal of Operational Research*, 235(3):636-642. [doi:10.1016/j.ejor.2014.01.021].
10. Lin, Y.H., Li, Y.F., Zio, E., (2014). Multi-state physics model for the reliability assessment of a component under degradation processes and random shocks. *ESREL*, Amsterdam, the Netherlands, p.1-7.
11. Lin, Y.H., Li, Y.F., Zio, E., (2015). Integrating random shocks into multi-state physics models of degradation processes for component reliability assessment. *IEEE Transactions on Reliability*, 64(1):154-166. [doi:10.1109/TR.2014.2354874].
12. Caballé, N.C., Castro, I.T., Pérez, C.J., *et al.*, (2015). A condition-based maintenance of a dependent degradation-threshold-shock model in a system with multiple degradation processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 134:98-109. doi:10.1016/j.res.2014.09.024].
13. Castro, I.T., Caballé, N.C., Pérez, N.C., (2015). A condition-based maintenance for a system subject to multiple degradation processes and external shocks. *International Journal of Systems Science*, 46(9):1692-1704. [doi:10.1080/00207721.2013.828796].
14. Nefedov, Roman & Loginova, Elena., (2018). Investigation of wear of insulation of traction engines of locomotives in operation. *ITM Web of Conferences*. 18. 01006. [doi: 10.1051/itmconf/20181801006].
15. Jian ZHANG, Ji-en MA, Xiao-yan HUANG, *et al.*, (2015). Optimal condition-based maintenance strategy under periodic inspections for traction motor insulations. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 16(8):597-606. [doi:10.1631/jzus.A1400311]
16. Kapytsa, M. I., Laguta, V. V., Serdiuk, T. N. (2017). Opredelenye systemy dyagnostirovaniya TED s uchetom vybora predpochtytelnykh elementov s yzmeniaushcheisya yntensyvnostiu otkazov [Determination of the system for diagnosis of TM, taking into account the choice of preferred elements with varying failure rates]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti. – 4. – Kharkov: Vyd-vo UkrDUZT. – S. 9 –15.* [in Russian]
17. Serdiuk T., Feliziani M., Serdiuk K., (2018). About electromagnetic compatibility of track circuits with the traction supply system of railway / *Proc. of the 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility -EMC EUROPE 2018. - Publisher: IEEE. Conference Location: Amsterdam, Netherlands. - 27-30 Aug. 2018. - Pages: 242 – 247. [DOI: 10.1109/EMCEurope.2018.8485034]*
18. Michail Kapitsa, Vasily Laguta, Yuriy Kozik, «Selecting the Parameters of The Diagnosis of Frame Insulation Condition in Electrical Machines of Locomotives», *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (4.3) (2018), pp. 110-114. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19718.
19. Olivier Barré, Bellemain Napame. (2017). The Insulation for Machines Having a High Lifespan Expectancy, Design, Tests and Acceptance Criteria Issues. *Machines*, 5(1), 7; <https://doi.org/10.3390/machines5010007>
20. Metody kontrolya yzoliatsyy po vozvratnomu napriazheniyu y kryvoi samorazriada. Kontrol yzoliatsyy po vozvratnomu napriazheniyu [Insulation control methods for the return voltage and the self-discharge curve. Isolation voltage control]. (n.d.). Retrieved from <http://prp-roz.pf/tehnika-vyisokih-napryazheniy/126-metody-kontrolya-izolyacii-po-vozvratnomu-napryazheniyu-i-krivoy-samorazryada.html> [in Russian].
21. Melamedov, I. M. (1970). *Fyzycheskiye osnovy nadezhnosti* [Physical basis of reliability]. – L., Enerhyia. –S. 132-138.
22. Pravyla remontu elektrychnykh mashyn teplovoziv [Rules for repairing electric locomotives]. № TsT-0064: Nakaz Ukrzaliznytsi vid 23.02.03 r. № 53-Ts. –K., TOV Vydavnychiy dim „SAM“, -2003. -148 s. [in Russian].

Юрий Козик,
(инженер, руководитель технических проектов, ООО «Прикладные железнодородные технологии»)

ОПТИМАЛЬНОЕ ПО УДЕЛЬНЫМ ЗАТРАТАМ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ

Рассматривается задача об определении ресурса корпусной изоляции и соответствующих моментов ее восстановления для тягового электродвигателя ЭД-118А. Критерием в задаче служит минимум суммарных удельных затрат на

выполнение ТР-3 и КР-1 на протяжении периода от последнего проведения КР-2 до следующего КР-2. Учитывается степень восстановления изоляции при выполнении ТР-3 и выполнении КР-1. Моделирование ресурса изоляции и периодов восстановления ТР-3 основано на данных измерений обратного напряжения в зависимости от пробега. Максимальное значение обратного напряжения и значение введенной интегральной оценки как показатели характеризующие состояние корпусной изоляции ТЭД эквивалентны. В качестве показателя состояния изоляции взята интегральная оценка, которая строится по замерам возвратного напряжения. Заводы, осуществляющие ремонт корпусной изоляции имеют разное качество ее восстановления, что влияет на удельные затраты восстановления и ресурс изоляции. Задача выбора локомотиворемонтного завода для восстановления изоляции рассматривалась именно в зависимости от качества восстановления без учета восстановления других элементов ТЭД. Совершенствование систем содержания ТПС нового поколения, и того, что находится в эксплуатации является актуальной задачей для железнодорожного транспорта Украины.

Ключевые слова: корпусная изоляция, обратное напряжение, контроль состояния изоляции, система содержания тягового электродвигателя

Yuriy Kozik,

(Engineer, Head of Technical Projects, LLC "Applied Railway Technologies")

OPTIMAL FOR UNIT COSTS FORECASTING THE RESOURCE OF FRAME INSULATION OF A TRACTION MOTOR OF LOCOMOTIVES

The aim of the research is to improve the maintenance system of a traction motor (TM) ED-118A by predicting the life of frame insulation and determining recovery moments while ensuring the lowest unit costs for performing major repairs of volume 1 (MjR-1) and permanent repair of volume 3 (PR-3), taking into account the degree of recovery, using data on the insulation state by the return voltage method operation. In the research, the optimization of the unit costs for the overhaul of the MjR-1 and the repair of the PR-3 to restore the insulation properties, with restrictions on the value of the return voltage and the insulation mileage to MjR-2, taking into account the degree of restoration when performing the PR-3 and MjR-1. A method is proposed for predicting the life of frame insulation and determining moments of its recovery, taking into account the recovery factor when performing PR-3 and performing MjR-1 and data on observations of the return voltage. Researches were carried out in accordance with the "State Program for the Strategic Development of Ukrainian Railways", prepared by the State Research Center for Railway Transport of Ukraine in conjunction with Ukrzaliznytsya specialists and the Program for the renewal of railway rolling stock for the period up to 2020, where indicated by need for creation of modern systems maintenance and repair of traction rolling stock of a new generation and the development of appropriate regulatory documents.

Keywords: frame insulation, return voltage, control of the insulation condition, traction motor maintenance system

УДК 629.423.1

*Плаксин С.В., д-р ф.-м. н.
(заведуючий відділом, Інститут транспортних систем і
технологій НАН України)*

*Житник Н.Е.
(науковий співробітник, Інститут транспортних систем і технологій
НАН України)*

*Левченко Р.Ю.
(інженер 1 категорії, Інститут транспортних систем і
технологій НАН України)*

ОБОСНОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА БАЛАНСИРОВКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

С целью повышения эффективности использования электрохимических накопителей энергии на транспортных средствах за счет сокращения длительности процесса зарядки и балансировки предлагается решение этой задачи путем индивидуальной балансировки аккумуляторов в импульсном режиме. Параметры зарядных импульсов определяются из параметров сигнала отклика каждого аккумулятора, адекватно отражающего его текущее состояние.

Ключевые слова: транспортное средство, электрохимический накопитель энергии, балансировка, импульсный метод, сигнал отклика.

Введение. Важной проблемой на транспорте является повышение энергетической эффективности перевозочного процесса. В современных условиях перспективными направлениями повышения эффективности электротранспортных комплексов являются разработка и внедрение новых технологий в области электроподвижного состава и систем тягового электроснабжения, повышающих эффективность преобразования энергии во всех элементах комплекса. Одним из таких направлений, развивающемся в нашей стране и за рубежом, является разработка и внедрение в транспортные комплексы новых видов источников энергии в виде накопителей энергии [1], позволяющих повысить эффективность использования энергии электроподвижным составом и способных придавать неавтономным транспортным средствам новые свойства, такие, например, как автономный ход. В ряде случаев накопитель энергии выполняет функции основной электросиловой установки, обеспечивающей электропривод транспортного средства.

Обзор научной литературы, выполненный автором [2], свидетельствует о том, что применение накопителей энергии на транспортных средствах различного

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-4

назначения с каждым годом становится все более распространенным. Исходя из обширной библиографии, предоставленной автором, значительные перспективы внедрения накопителей энергии имеет тяговый железнодорожный транспорт с резкопеременной нагрузкой, к которому также относятся гибридные и электромобили [3], поезда метрополитена [4], карьерные рудничные электровозы [5]. Авторы [6] на основании проведенного ими сравнительного анализа накопителей энергии различных видов сделали выводы, что в настоящее время для транспортных средств наибольшее распространение получили электрохимические накопители энергии на основе химических источников тока. Они обеспечивают длительное хранение накопленной энергии, имеют приемлемые массогабаритные и стоимостные показатели. Опыт эксплуатации накопителей на основе химических источников тока на транспортных средствах показал, что для повышения эксплуатационных характеристик и эффективности использования накопителей необходимо управлять зарядным и разрядным процессами накопителя с учетом текущих значений параметров входящих в его состав отдельных аккумуляторов.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. В процессе эксплуатации электрохимических накопителей энергии, состоящих из групп последовательно соединенных аккумуляторов, возникает разброс параметров отдельных аккумуляторов, негативно влияющий на энергетические характеристики и срок службы накопителя в целом. Основными причинами таких различий являются разница в уровнях заряда, разница в емкостях аккумуляторов, разница внутренних сопротивлений, разные температуры аккумуляторов (особенно характерны для литий-ионных аккумуляторов). Внешне это проявляется в различии уровней напряжения на отдельных аккумуляторах. С течением времени разброс параметров увеличивается, что впоследствии приводит к снижению энергоэффективности накопителя и в конечном итоге к преждевременному выходу его из строя. Чтобы свести степень дисбаланса заряженности батареи к минимуму, то есть, чтобы все аккумуляторы одновременно отдавали полную емкость при разряде, необходима система балансировки аккумуляторов.

Известные методы балансировки подразделяются на пассивные и активные. Их подробное описание приведено в [7] и в наглядном виде представлено на рис. 1.

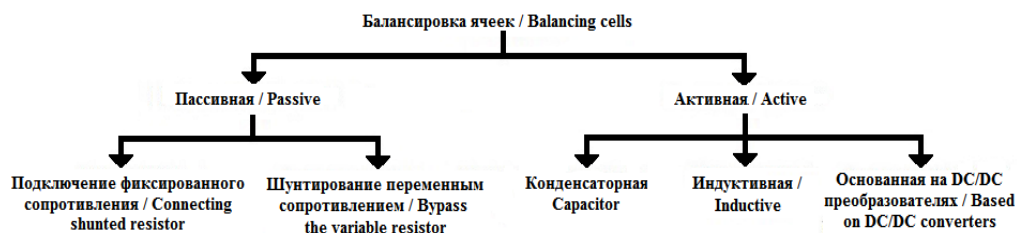


Рис. 1. Методы балансировки аккумуляторных батарей

При множестве вариантов схемотехнических решений методов зарядки и балансировки алгоритм их реализации в общем виде включает два этапа – гальваностатический и потенциостатический. На первом этапе производится зарядка аккумуляторов постоянным током заданной величины до достижения на них напряжения ограничения, затем на втором этапе производится зарядка аккумуляторов напряжением постоянной величины до достижения минимального

тока зарядки с одновременной балансировкой и выравниванием величины напряжения на аккумуляторах в заданном диапазоне. При этом балансировка пассивными методами осуществляется путем последовательного шунтирования балансировочными резисторами полностью заряженных аккумуляторов до завершения процесса зарядки всей батареи, а при использовании активных методов балансировка осуществляется путем перераспределения энергии от аккумуляторов с высоким уровнем заряда к аккумуляторам с более низким уровнем заряда, что позволяет снизить энергетические потери.

Вопросы балансировки и выравнивания заряда электрохимических накопителей энергии для транспортных средств, а так же пути их решения широко обсуждаются в научно-технической литературе, что подтверждает их практическую значимость. В работе [8] приведен обзор серийно выпускаемых активных устройств балансировки, предназначенных для тяговых аккумуляторных батарей в электрическом транспорте. Авторы работы отмечают их относительно высокую стоимость при ограниченном количестве аккумуляторов в системе балансировки, что сдерживает широкое практическое применение и вызывает необходимость разработки устройств балансировки для конкретного приложения. Например, авторы [9] для решения задач балансировки разработали систему контроля и управления многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареей, которая производит контроль значений напряжений, температуры отдельных аккумуляторных ячеек и протекающего тока через батарею. При достижении на одной из ячеек в процессе зарядки уровня максимального напряжения ограничения наступает стадия балансировки, заключающаяся в последовательном подключении к ячейкам с достигшими уровнями напряжения ограничения балластных резисторов. Определяющими параметрами балансировочного процесса являются значение тока заряда, сопротивление балластного резистора и количество циклов балансировки, при этом важной задачей является определение количества циклов заряд–балансировка. Авторами указанной статьи разработана методика выбора количества циклов балансировки и экспериментально проверена на многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батарее электропогрузчика емкостью 300 А·ч. Процесс зарядки и балансировки проводился по алгоритму, предусматривающему чередование балансировочных циклов с циклами зарядки. Графически алгоритм представлен на рис. 2.

По результатам экспериментов авторы пришли к выводу, что оптимальное количество балансировочных циклов равно шести. В экспериментах авторов на зарядку накопителя током 60 А было затрачено время 314 минут, а время разряда накопителя током 50 А составило 358 минут. Если исходить из иллюстративных результатов, приведенных на графике, время балансировки составляет примерно половину времени зарядки за один цикл, то есть, суммарное время, необходимое для зарядки и балансировки, примерно в полтора раза превосходит время, необходимое только для зарядки.

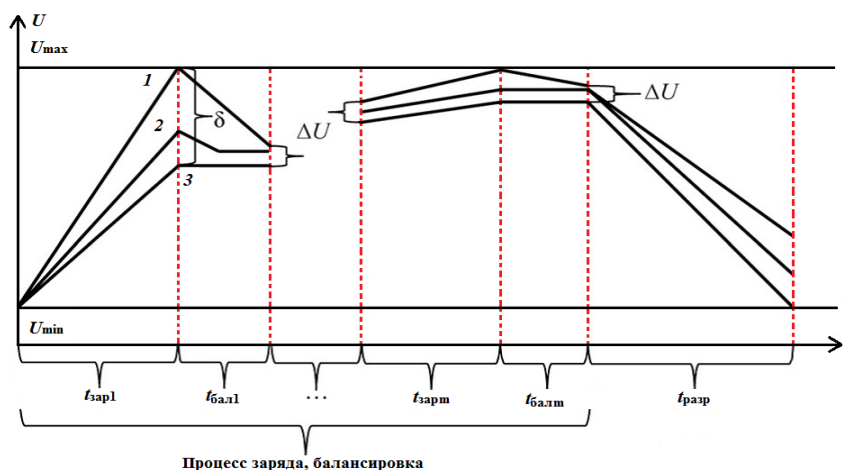


Рис. 2. Графіки напруження на трьох послідовно з'єднаних ячеек в процесі зарядки з використанням режиму балансування та подальшим розрядом

Автори [10] на основі результатів випробувань високопотужних літій-іонних акумуляторних батарей при їх застосуванні в перспективній лісозаготівельній і спеціальній техніці дійшли до висновку, що система контролю і управління, що містить елементи балансування, є невід'ємною частиною сучасних високопотужних літій-іонних акумуляторних батарей і призначена в першу чергу для забезпечення їх пожежо- і вибухобезпечності. При цьому схеми побудови системи контролю і управління і алгоритми їх функціонування, як правило, реалізуються індивідуально з урахуванням вимог конкретного споживача. Автори вказаної роботи в своїх дослідженнях використовують систему пасивного балансування.

Проблема моніторингу і балансування акумуляторних батарей на автономних транспортних засобах сільськогосподарського призначення обговорюється в роботі [11]. Автори вказаної роботи розглянули способи моніторингу і балансування акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно, при неможливості або нецелесообразності їх роз'єднання для індивідуального балансування і дійшли до висновку, що найбільш оптимальним, з точки зору збереження енергії і вартості, є активні методи, засновані на перерозподілі енергії між акумуляторами батареї за допомогою конденсаторів.

За результатами аналізу літературних джерел інформації, проведеного авторами цієї роботи, ефект дисбалансу найбільш характерний для накопичувачів на основі літій-іонних акумуляторів в силу особливостей протікаючих в них електрохімічних процесів. Однак досвід експлуатації накопичувачів на основі свинцево-кислотних акумуляторів на транспортних засобах показав, що в процесі їх експлуатації також спостерігається відхилення значень основних параметрів окремих акумуляторів в батареї від їх початкових значень, що знижує ефективність, надійність і термін служби накопичувача. Разом з тим відомо [6], що для більшості видів транспортних засобів найкращі показники за критерієм удільних енергетичних витрат мають накопичувачі на основі гелевих свинцево-кислотних акумуляторів, виготовлених за технологією AGM. Автори [12] розглянули питання

експлуатації послідовально підключених свинцево-кислотних акумуляторів в електромобілях при різних стилях вождения і обґрунтували необхідність їх балансування. По результатам проведених ними експериментів автори установили, що при експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів процес їх руйнування внаслідок майже непомітний, але потім розвивається лавинообразно. В критичний момент катастрофічний износ від 10% до 30% втрати ємкості розвивається не повільніше ніж за 40 – 50 циклів зарядки/розрядки. Автори вказаної роботи прийшли до висновку, що свинцево-кислотні акумулятори так же потребують додаткових балансувальних пристроїв і використовували для цих цілей систему управління батареєю з активної балансування на основі розробленого ними балансира, який відводить заряд від батареї з підвищеним напругою і повертає його батареї з пониженою напругою.

В відмінність від відомих, в тому числі вищеописаних методів автори [13] пропонують нову концепцію балансування і вирівнювання, в основу якої покладено поетапний процес зарядки і балансування акумуляторів в індивідуальному режимі. Схематически пропонувана авторами [13] концепція балансування і вирівнювання свинцево-кислотних акумуляторів в процесі їх зарядки представлена на рис. 3.

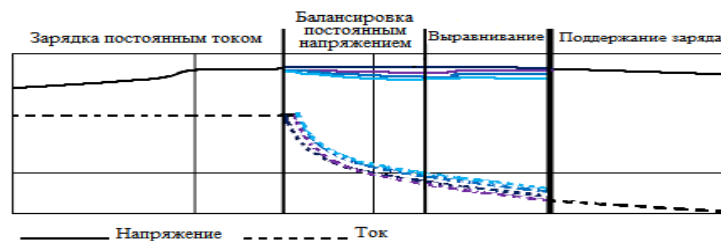


Рис. 3. Концепція балансування і вирівнювання свинцево-кислотних акумуляторів

Упрощено алгоритм реалізації концепції чотириетапної балансування і вирівнювання свинцево-кислотних акумуляторів можна описати наступним чином. На етапі зарядки постійним током батарея досягає 70 – 80% зарядженості. Середня тривалість етапу становить 5 – 6 годин. Далі на етапі зарядки постійним напругою акумулятори роз'єднуються і заряджаються кожен окремо з одночасною балансуванням по рівню напруги. За час зарядки постійним напругою досягаються залишкові 30 – 20% зарядженості, зарядний струм падає до мінімуму і в кінці етапу, який триває близько 6 – 7 годин, його значення становить близько 1 – 3% від максимального зарядного струму. По завершенні етапу балансування здійснюється контроль над процесом зарядки акумуляторів впродовж 2 годин, який називається етапом вирівнювання. По завершенні етапу вирівнювання всі акумулятори знову з'єднуються послідовно в батарею, і їх заряд підтримується на цьому рівні для запобігання саморозряду. Загальний час, необхідний для зарядки, балансування і вирівнювання свинцево-кислотних акумуляторів за пропонуваного авторами [13] методу становить в середньому 15 годин. Причиною такої відносно великої тривалості процесу зарядки і балансування є використання постійного струму, величина якого на

втором етапі зарядки зменшується до 1 – 3% від початкової величини зарядного струму. Відомо [14], що тривалість процесу зарядки свинцево-кислого акумулятора постійним струмом від розрядженого стану до досягнення 100%-ної ступені зарядженості становить в середньому 12 – 15 годин, при цьому найбільш тривале час, приблизно 7 – 10 годин, необхідно для досягнення 80 – 100%-ної ступені зарядженості. Ці результати узгоджуються з наведеними вище результатами авторів [13] при проведенні зарядки і балансування свинцево-кислих батарей постійним струмом, запропонованим ними поетапним методом. Автори [15] пояснюють таку закономірність тим, що при розряді і зарядці акумуляторів постійним струмом низької щільності в структурі пористих електродів формуються щільні, погано провідні шари, наявність яких суттєво підвищує внутрішній опір акумулятора. В літій-іонних акумуляторах це призводить до накопичення металічного літію, схильного до окислення, що є причиною виходу з ладу хімічного джерела струму. В свинцево-кислих акумуляторах при їх зарядці постійним струмом з низької щільності відбуваються структурні зміни активних мас електродів, які проявляються в утворенні на позитивному електроді шару оксиду свинцю з переважанням модифікації альфа-оксиду. Ця модифікація в відмінність від бета-модифікації має меншу удільну поверхню, а також ізоморфну з сульфатом кристалічну ґратку, що веде до утворенню щільного шару сульфата і є однією з причин дуже низької ефективності використання зарядного струму на другому етапі. Низький коефіцієнт використання зарядного струму, приблизно 5 – 10%, призводить до необґрунтованого тривалого часу проведення процесу зарядки і балансування на другому етапі і тим самим знижує ефективність використання, як самого накопичувача, так і транспортного засобу.

Таким чином, на основі проведеного аналізу останніх досліджень можна зробити висновок, що методи зарядки і балансування акумуляторів електрохімічного накопичувача енергії, засновані на використанні постійного струму, характеризуються порівняльно великою тривалістю процесу, що знижує ефективність використання накопичувача і час експлуатації транспортного засобу. Крім цього, при балансуванні акумуляторів шляхом вирівнювання на них величин напруги не дає уявлення про ступінь їх зарядженості. Якщо врахувати, що по досягненню рівня насичення напруги на всіх акумуляторах будуть рівні, то виникає питання про вибір критерію закінчення процесу балансування, що відображає енергетичний стан акумуляторів у вигляді ступені їх зарядженості. Тому удосконалення відомих і розробка нових підходів до процесу балансування накопичувачів на основі хімічних джерел струму, зокрема свинцево-кислих, і методів їх реалізації є актуальною науково-технічною задачею.

Ціль і задачі дослідження. Ціллю роботи є обґрунтування імпульсного методу зарядки і балансування електрохімічного накопичувача енергії для підвищення ефективності його використання в транспортних засобах.

Матеріали і методи дослідження. При розв'язанні поставленої задачі необхідно враховувати, що незалежно від типу електрохімічної системи і властивостей електродних матеріалів зовнішні впливи можуть суттєво змінювати параметри хімічних джерел струму. До числа таких впливів належать режими зарядки і розряду. Задача підвищення ефективності зарядки і

балансировки накопителей энергии на основе свинцово-кислотных химических источников тока может быть успешно решена применением импульсных методов, которые отличаются широким спектром воздействий на материалы и процессы, протекающие в химических источниках тока. Авторы [16] исследовали эффекты воздействия импульсного тока на процесс зарядки химических источников тока и показали, что зарядка импульсным током позволяет управлять восстановительными реакциями и структурными изменениями активных материалов электродов, получая в них кристаллы различных размеров и форм. Эти изменения способствуют увеличению суммарной пористости и действующей поверхности электродов, то есть увеличению площади поверхности взаимодействия электролита с активными материалами электродов, что облегчает условия диффузии и выравнивания концентрации электролита в приэлектродном слое и снижает поляризационное сопротивление аккумулятора. Увеличение суммарной пористости активных масс обеспечивает возможность повышения предельного тока зарядки, так как соотношение между ними есть величина постоянная. Это создает предпосылки для повышения коэффициента использования зарядного тока в процессе зарядки и балансировки аккумуляторов на втором этапе и тем самым сократить время проведения этого процесса. В результате этих структурных изменений в активных массах образуется более рыхлый сульфат свинца, который во время воздействия зарядного импульса дает большее количество активного PbO_2 . За счет превращения сульфата в диоксид свинца и металлический свинец повышается проводимость активных масс электродов и происходит разработка пор активных материалов (увеличение их пористости), улучшающая условия доступа электролита к глубинным слоям активных масс электродов, что способствует снижению внутреннего активного сопротивления аккумулятора и повышению коэффициента использования активных масс, непосредственно влияющего на величину запасаемой аккумулятором энергии в процессе зарядки. Отмеченные особенности воздействия импульсного тока на материалы и процессы, протекающие в химических источниках тока, позволяют использовать их для повышения эффективности зарядки аккумуляторов, что экспериментально подтверждено в работах многих авторов, в том числе и в работе авторов [17]. В приведенном в указанной работе примере время зарядки свинцово-кислотных аккумуляторных батарей импульсным током по разработанному авторами методу составляет в среднем пять часов в отличие от 7–10 часов при использовании комбинированного гальвано-потенциостатического метода зарядки постоянным током. Результаты экспериментальных исследований зарядки электрохимических накопителей импульсным током, опубликованные в работе [17], подтверждают возможность использования импульсных методов для балансировки электрохимических накопителей энергии в процессе их зарядки.

В основу предлагаемого импульсного метода зарядки аккумуляторов с одновременной их балансировкой положен подробно описанный в [18] импульсный гальваностатический метод автоматизированного контроля текущего состояния электрохимического накопителя энергии, новизна которого подтверждена патентом [19]. В предельно кратком изложении суть метода состоит в следующем. На химический источник тока подается тестовый зарядный импульс тока с заданными параметрами с последующей регистрацией сигнала отклика химического источника тока на импульс, отображающего функциональную зависимость напряжения на его клеммах от времени.

Типичная форма сигнала отклика аккумулятора на тестовый импульс с обозначением контролируемых параметров протекающего в нем электрохимического процесса приведена на рис. 4.

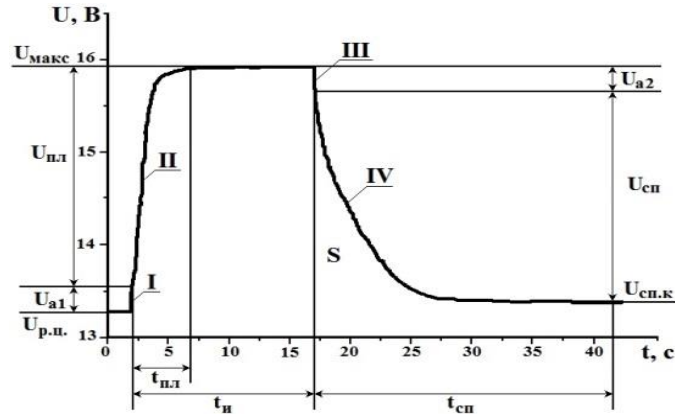


Рис. 4. Форма сигнала отклика накопителя на импульс тока с обозначением контролируемых параметров процесса

Обработка сигнала отклика разработанными авторами математическими методами позволяет определить значения следующих основных текущих параметров протекающего в накопителе электрохимического процесса: $U_{р.ц.}$ – напряжение разомкнутой цепи; $U_{а1}$ – падение напряжения на активном внутреннем сопротивлении накопителя в момент подачи импульса; напряжение поляризации $U_{пл}$; $U_{и} = U_{р.ц.} + U_{пл}$ напряжение на клеммах накопителя; $t_{пл}$ – время протекания поляризационной стадии процесса; $t_{и}$ – длительность тестового импульса; $t_{сп}$ – длительность спада потенциала с момента снятия импульса (время стадии депольаризации); $U_{спк}$ – конечное значение напряжения депольаризации; S – площадь под линией спада напряжения депольаризации после снятия импульса, отражающая запасенную накопителем энергию.

Информация, полученная в результате математической обработки сигнала отклика накопителя, содержит сведения о динамике протекающего в нем электрохимического процесса, который в достаточной мере характеризует текущее состояние накопителя, при этом параметры процесса могут быть использованы в качестве информационных и управляющих параметров.

Как следует из проведенного анализа последних исследований, балансировка аккумуляторов существующими методами производится по одному параметру – напряжению постоянного тока, величина которого с достаточной точностью измеряется приборными средствами различного исполнения.

В случае воздействия на аккумулятор импульса зарядного тока напряжение $U_{ак}$ на его клеммах с учетом параметров переходных процессов описывается выражением:

$$U_{ак}(t) = U_{р.ц.} + U_{а1} + U_{зх}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{зх}}}) + U_{к}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{к}}}) \quad (1)$$

где $U_{\text{эх}}$ – напряжение электрохимической поляризации; $U_{\text{к}}$ – напряжение концентрационной поляризации; $\tau_{\text{эх}}$ и $\tau_{\text{к}}$ – постоянные времени электрохимической и концентрационной поляризации соответственно.

Измерение динамических параметров импульса приборными средствами с последующим преобразованием результатов измерений из аналоговой формы в цифровую для получения необходимой для контроля и управления процессом зарядки и балансировки информации представляет сложную техническую задачу. Задача тем более усложняется при реализации автоматизированного контроля и управления процессом зарядки и балансировки.

При контроле текущего состояния накопителя предлагаемым методом информация о значениях всех входящих в выражение (1) членов содержится в сигнале отклика, и текущие параметры накопителя могут быть определены без применения приборных средств измерений и представлены в цифровой форме, удобной для последующей обработки полученной информации. Совмещение в полученных из сигнала отклика параметрах информационных и управляющих функций позволяет управлять процессом адаптивной зарядки и балансировки накопителя внешним воздействием и упрощает практическую реализацию предлагаемого метода.

В качестве внешних воздействий используются постоянный ток на этапе гальваностатической зарядки и импульсы зарядного тока на этапе импульсной зарядки и балансировки.

В общих чертах процесс зарядки и балансировки накопителей импульсным гальваностатическим методом можно описать следующим образом. На этапе гальваностатической зарядки контролируемые параметрами накопителя являются величины зарядного тока и напряжения ограничения. При этом величина зарядного тока определяется из выражения:

$$I_3 = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{р.н.}}}{R_{\text{а1}}}, \quad (2)$$

где U_{max} – максимально допустимое напряжение для данного типа накопителя; $U_{\text{р.н.}}$ – напряжение разомкнутой цепи накопителя; $R_{\text{а1}} = \frac{U_{\text{а1}}}{I_{\text{T}}}$; I_{T} – величина амплитуды тока тестового импульса, равная $0,1C_{20}$ А.

Величина напряжения ограничения определяется из соотношения $U_{\text{огр}} = U_{\text{р.н.}} + U_{\text{пл}}$. Напряжение поляризации аккумулятора $U_{\text{пл}}$ зависит от типа накопителя. Например, для накопителя на основе свинцово-кислотных химических источников тока величина напряжения ограничения равна 2,4 В на аккумулятор, для литий-ионных аккумуляторов она составляет 4,2 В.

При достижении на одном из аккумуляторов накопителе напряжения ограничения завершается первый этап зарядки этого аккумулятора с переходом ко второму этапу его зарядки импульсным током с одновременной зарядкой постоянным током остальных входящих в состав накопителя аккумуляторов до достижения на очередном из них напряжения ограничения. То есть, каждый последующий аккумулятор по достижении на нем значения напряжения ограничения переводится на индивидуальный режим импульсной зарядки без

нарушения схемы соединения аккумуляторов в батарее в отличие от индивидуальной зарядки разъединенных аккумуляторов по методу авторов [13]. По окончании этапа зарядки постоянным током напряжения на всех аккумуляторах будут равны величине напряжения ограничения и равны между собой, что в большинстве известных методов служит критерием окончания процесса балансировки, однако их степень заряженности может быть различной и еще не доведена до максимального значения. Максимальная степень заряженности всех аккумуляторов достигается в процессе импульсной зарядки с одновременной их балансировкой. На этапе импульсной зарядки и балансировки контролируемые параметрами каждого аккумулятора в отдельности являются напряжение на его клеммах $U_{ак}$, падение напряжения на активном внутреннем сопротивлении U_{a1} в момент подачи импульса и площадь S под линией спада напряжения деполяризации после снятия импульса, отражающая запасенную аккумулятором энергию, а управляющими параметрами являются параметры зарядных импульсов, подаваемых индивидуально на каждый аккумулятор накопителя. В свою очередь значения параметров зарядных импульсов определяются из значений соответствующих текущих параметров аккумулятора.

В первом приближении без учета потерь при воздействии на аккумулятор зарядного импульса тока его емкость увеличится на величину $Q_{зар} = I_{зи} \cdot t_{зи}$. Следовательно, при воздействии на него серии импульсов его емкость равна

$$Q_{зар} = I_{зи} \cdot t_{зи} \cdot U_{ак} \cdot f, \quad (3)$$

где $I_{зи}$ – величина тока зарядного импульса, $t_{зи}$ – длительность зарядного импульса, f – частота следования импульсов.

Для удобства контроля этой характеристики по сигналу отклика выразим емкость через энергию в виде

$$W_{зи} = Q_{зар} \cdot U_a = I_{зи} \cdot t_{зи} \cdot U_{ак} \cdot f = I_{зи}^2 \cdot R_a \cdot t_{зи} \cdot f. \quad (4)$$

Выражение (4) устанавливает связь между напряжением аккумулятора, параметрами зарядных импульсов, значения которых определяются из сигнала отклика и соответствуют его текущему состоянию, и частотой их следования. При этом используются следующие соотношения для определения значений параметров импульсов: $I_3 = U_{p.и.} + U_{nl} / R_a$, $t_u \approx t_{nl}$ и $t_n \approx t_{cn}$. Длительности импульсов равны времени протекания стадии поляризации $t_{nl} = t_{ax} + t_k$, в течение которого происходит частичное перемешивание электролита с выравниванием его концентрации в порах и межэлектродном пространстве. Таким образом, изменяя амплитуду, длительность и частоту следования зарядных импульсов, можно регулировать величину запасаемой аккумулятором емкости при воздействии на него серией импульсов и контролировать этот процесс по изменению величины напряжения $U_{ак}$ аккумулятора и площади S , значения которых определяются из сигнала отклика аккумулятора на тестовый импульс тока.

Процесс балансировки аккумуляторов в составе накопителя сводится к выравниванию значений напряжения на каждом аккумуляторе до уровня

$U_{iак} = (U_{max} + \Delta U)$, где U_{max} – напряжение на аккумуляторе с максимальным значением, ΔU – допустимая величина отклонения напряжений балансировки, и выравниванию значений величин площадей S до уровня $S_{iак} = (S_{max} + \Delta S)$, где S_{max} – площадь S на сигнале отклика аккумулятора с максимальным ее значением, ΔS – допустимая величина отклонения значений S . Операция выравнивания осуществляется изменением параметров поступающих отдельно на каждый аккумулятор зарядных импульсов с учетом текущего состояния отдельно взятого аккумулятора.

При использовании накопителя энергии на автономном транспортном средстве первоочередное внимание уделяется его основной энергетической характеристике – емкости. Поэтому в процессе балансировки наряду с напряжением аккумуляторов необходимо контролировать их емкость, а так же учитывать активное сопротивление, величина которого отражает состояние активных масс электродов. Такая операция не предусмотрена при балансировке аккумуляторов существующими методами. Предлагаемый метод позволяет достаточно просто, хотя и косвенно, оценивать эти важнейшие эксплуатационные параметры из формы сигнала отклика – емкость по величине площади S и активное сопротивление по величине падения напряжения U_{a1} на нем.

Использование многопараметрического контроля процесса балансировки путем введения дополнительных контролируемых параметров, в качестве которых используются активное сопротивление и запасенная каждым аккумулятором при зарядке энергия, повышает эффективность и достоверность балансировки электрохимических накопителей энергии предлагаемым методом по сравнению с известными.

Результаты исследований. Метод испытан на экспериментальном стенде [20] и апробирован на образцах свинцово-кислотных аккумуляторов. Программное обеспечение стенда выполняет математическую обработку формы сигнала отклика аккумуляторов для определения значений параметров электрохимического процесса с последующим их преобразованием в параметры аккумуляторов и осуществляет автоматизированный контроль их текущего состояния. Информация о значениях параметров выводится на экран монитора входящего в состав стенда персонального компьютера, что позволяет исследовать динамику состояния аккумуляторов по значениям их параметров. Исследовались процессы зарядки и балансировки аккумуляторов в двух вариантах – постоянным током и импульсным током. В обоих вариантах пары исследуемых аккумуляторов подбирались примерно с сопоставимыми по величине начальными параметрами, в том числе и по напряжению. В процессе зарядки контролировали величины площади S и активного сопротивления. В качестве примера на рис. 5 приведены снятые с экрана монитора графики изменения площади S под кривой спада напряжения на сигнале отклика и активных сопротивлений двух аккумуляторов в процессе их зарядки и балансировки постоянным током, а на рис. 6 – графики изменения аналогичных параметров двух аккумуляторов в процессе их зарядки и балансировки импульсным током. На графиках введены обозначения параметров в следующих единицах: время – в часах, величина площади под кривой спада – в относительных единицах, внутреннее сопротивление – в Омх.

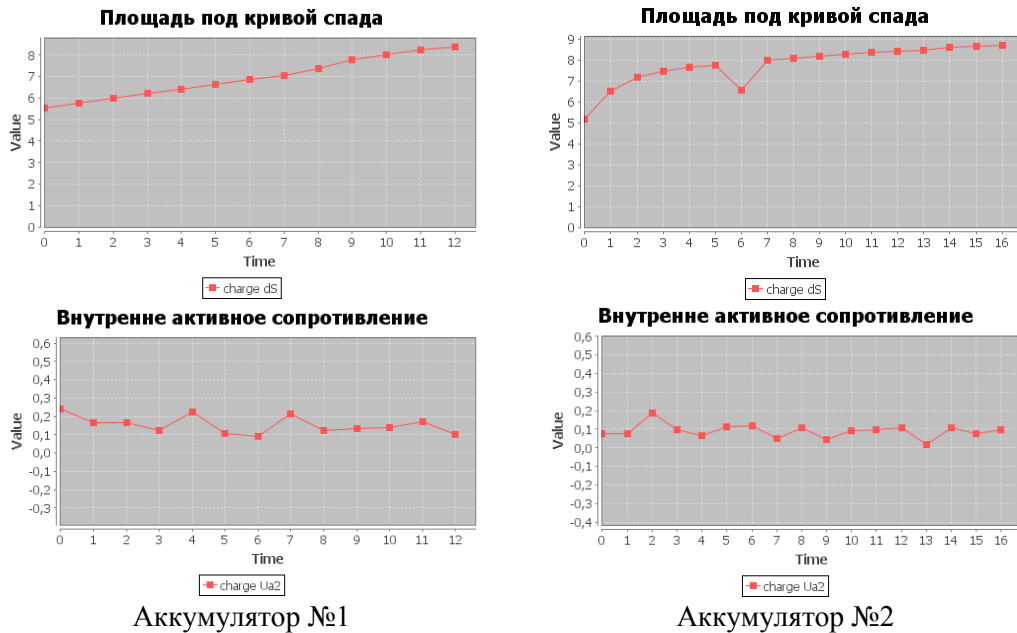


Рис. 5. Графики изменения площади под кривой спада напряжения и активных сопротивлений на сигнале отклика двух аккумуляторов в процессе зарядки и балансировки постоянным током

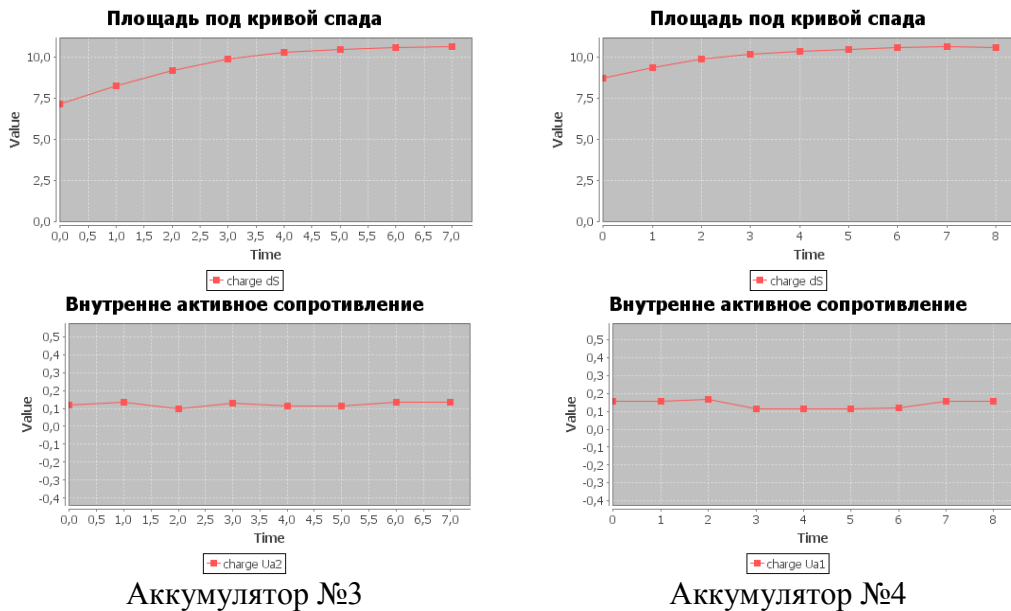


Рис. 6. Графики изменения площади под кривой спада напряжения и активных сопротивлений на сигнале отклика двух аккумуляторов в процессе зарядки и балансировки импульсным током

Сравнительный анализ полученных результатов показал как качественные, так и количественные их различия. В процессе зарядки и балансировки аккумуляторов №1 и №2 постоянным током по первому варианту отмечается различный характер изменения величин их площадей S , а так же нестабильность значений величин их активных сопротивлений, хотя начальные значения этих параметров были близки по величине. Причину таких отличий авторы видят в неуправляемом протекании процесса зарядки и балансировки. Нестабильность активного сопротивления, величина которого определяется сопротивлением активных масс электродов и концентрацией электролита в их порах, вызвана неравномерным изменением во времени концентрации электролита, а соответственно и зарядов, в порах активных масс. Продолжительность процесса зарядки аккумуляторов №1 и №2 с одновременной их балансировкой по критерию равенства активных сопротивлений и количеству запасенной энергии составляет около 16 часов. Зарядка аккумулятора №1 была прекращена через 12 часов при достижении степени полной заряженности, а зарядка аккумулятора №2 продолжалась до достижения степени заряженности аккумулятора №1 и длилась примерно 16 часов. При этом следует отметить, что напряжения на аккумуляторах выравнивались примерно через 5 часов по мере достижения на них уровня напряжения ограничения.

В процессе зарядки и балансировки аккумуляторов №3 и №4 импульсным током по второму варианту отмечается качественное сходство характера изменений величин площадей S при их равномерном увеличении и равномерный характер изменения активного сопротивления. Продолжительность процесса зарядки аккумуляторов №3 и №4 с одновременной их балансировкой по критерию равенства активных сопротивлений и количеству запасенной энергии составляет около 7 часов. При этом нужно отметить, что начальные величины площадей S аккумуляторов отличались примерно на две условные единицы, то есть их начальные емкости так же отличались на соответствующую величину. Сравнительный анализ экспериментальных результатов подтвердил эффективность и целесообразность совместного использования отмеченных в [16] эффектов воздействия импульсных токов на материалы и протекающие в химических источниках тока процессы и управления импульсным режимом зарядки и балансировки аккумуляторов предлагаемым методом.

Выводы. Таким образом, в работе обоснована возможность повышения эффективности использования электрохимических накопителей энергии в транспортных средствах путем сокращения времени их зарядки и балансировки импульсным гальваностатическим методом. Научная новизна метода состоит в том, что в качестве информационных и управляющих параметров при управлении процессом зарядки и балансировки используются параметры протекающего в аккумуляторах электрохимического процесса, значения которых отображают их текущее состояние и определяются из сигнала отклика на тестовый зарядный импульс. Балансировка аккумуляторов производится в индивидуальном импульсном режиме без нарушения схемы их соединения в батарее, при этом значения параметров зарядных импульсов определяются с учетом значений текущих параметров аккумуляторов. Предлагаемый метод позволяет осуществлять многопараметрический контроль процесса балансировки в отличие от известных методов, в которых контроль за процессом балансировки производится по одному параметру – напряжению аккумуляторов. Экспериментально показано, что совместное использования эффектов воздействия импульсных токов на материалы

и протекающие в химических источниках тока процессы и управления импульсным режимом зарядки и балансировки аккумуляторов предлагаемым методом повышает эффективность и целесообразность использования предлагаемого метода для зарядки и балансировки накопителей энергии на транспортных средствах.

Работа по совершенствованию метода, а так же разработка алгоритма и схемотехнического решения его реализации является предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черемисин, В.Т., Незевак В.Л., Шатохин А.П. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. № 10. С. 54–64.
2. Сулим, А.О. Перспективи застосування накопичувачів енергії на тяговому залізничному транспорті // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». 2017. Вип. 30. С. 32–51.
3. Смирнов, О.П. Науково-технічні основи підвищення ефективності експлуатації гібридних транспортних засобів: дис. ... д-ра техн. наук; 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Х., 2016. 426 с.
4. Логинова, Е.Ю., Коваленко А.В. Аккумуляторные накопители энергии на метропоездах // Мир транспорта. 2014. №1. С. 50–55.
5. Степаненко В.П., Белозеров В.И., Сорин Л.Н. Перспективы применения комбинированных накопителей энергии на карьерном железнодорожном транспорте // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 5. С. 317–322.
6. Любарский, Б.Г., Шайда В.П., Буряковский С.Г. Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств // Залізничний транспорт України. 2015. Вип. 6. С. 13–21.
7. Рыкованов, А.С., Беляев С.С. Активные и пассивные системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Компоненты и технологии. 2014. № 3. С. 121–124.
8. Варламов Д.О., Скворцов А.А., Хортов В.П. Обзор активных устройств балансировки, предназначенных для тяговых аккумуляторных батарей в электрическом транспорте // Журнал автомобильных инженеров. 2016. №4 (99). С.21–23.
9. Сердечный Д.В., Томашевский Ю.Б. Управление процессом заряда многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 3 (21). С.115–123.
10. Афанасьев А.С., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Суслов В.М., Котов Ю.Т., Вороницын В.К., Камусин А.А. Система контроля и управления высокоомощных литий-ионных аккумуляторных батарей // ИВУЗ. «Лесной журнал». 2019. № 1. С. 161–170.
11. Иншаков А.П., Федотов Ю.Б., Десяев С.С., Байков Д.В. Проблема мониторинга и балансировки аккумуляторных батарей транспортных средств // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, №1. С. 40–49.
12. Медведев В.В., Мищенко В.И., Абдураимов А.Э. Активная балансировка тяговых свинцовых аккумуляторов в электромотоциклах // Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2017. № 24 (100). С. 62–68.
13. Venkatesh Prasad K.S., Divakar B.P. A New Charge Balancing and Equalization Mechanism for Batteries // International Journal of Computer Applications (0975–8887). 2018. Vol. 180, №11. P. 16–26.
14. Каменев Ю.Б., Штомпель Г.А. Ускоренный метод заряда свинцово-кислотного аккумулятора. 3. Импульсный заряд // Электрохимическая энергетика. 2013. Т. 13, № 2. С. 77–82.
15. Герасимов С.Б., Семенов А.Г., Скutelъник В.В., Маломыжев О.Л. Ограничение сроков службы химических источников тока транспортных средств и возможности их восстановления // Вестник ИрГТУ. 2017. Т. 21, № 6. С. 135–141.
16. Колосовский В.В., Поликарпова В.В. Влияние амплитуд и частоты токов на характеристики аккумуляторов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. Вып. 5. С. 259–264.
17. Дзензерский В.А., Житник Н.Е., Плаксин С.В., Лисунова В.В. Управление процессом зарядки электрохимического накопителя энергии // Електротехніка та електроенергетика. 2018. №1. С. 40–51.

18. Дзензерский В.А., Житник Н.Е., Плаксин С.В., Лисунова В.В. Импульсный метод автоматизированного контроля электрохимических накопителей энергии // Гірнична електромеханіка та автоматика. 2016. Вып. 96. С. 31–36.
19. Пат. 112384 Україна, МПК H01M 10/48(2006.01), G01R 31/36(2006.01). Спосіб автоматизованого контролю поточного стану акумулятора / Дзензерський В.О., Житник М.Я., Плаксин С.В., Лисунова В.В., Ширман О.І.; заявник Інститут транспортних систем і технологій Національної академії наук України «Трансмаг». № а 2015 05908; заявл. 15.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.
20. Плаксин С.В., Житник Н.Е., Ширман О.И. Экспериментальный стенд для автоматизированного контроля состояния химических источников тока импульсным методом // Гірнична електромеханіка та автоматика. 2012. Вып. 89. С. 58 – 63.

REFERENCES

1. Cheremisin, V.T., Nezevak, V.L. & Shatohin, A.P. (2015) Povyishenie energeticheskoy effektivnosti sistemyi tyagovogo elektrosnabzheniya v usloviyah raboty postov sektionirovaniya s nakopitelyami elektricheskoy energii [Increasing the energy efficiency of the traction power supply system in the conditions of work of the sectioning posts with the electric energy storage]. Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring geosursov. – News of Tomsk Polytechnic University. Geo-engineering, 10, 54–64. [in Russian].
2. Sulym, A.O. (2017) Perspektyvy zastosuvannya nakopychuvachiv enerhii na tiahovomu zaliznychnomu transporti [Prospects for the use of energy storage on traction rail]. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tehnolohichnoho universytetu transportu. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii». – Collection of scientific works of the State Economic and Technological University of Transport. Transport Systems and Technologies Series, 30, 32–51 [in Ukrainian].
3. Smyrnov, O.P. (2016) Naukovo-tehnichni osnovy pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii hibrydnykh transportnykh zasobiv [Scientific and technical basics of increasing the efficiency of operation of hybrid vehicles]. Doctor's thesis. Kharkiv [in Ukrainian].
4. Loginova, E.Yu. & Kovalenko, A.V. (2014) Akkumulyatornyie nakopiteli energii na metropoezdah [Metro train storage batteries]. Mir transporta. – World of transport, 1, 50–55. [in Russian].
5. Stepanenko, V.P., Belozarov, V.I. & Sorin, L.N. (2015) Perspektivy primeneniya kombinirovannykh nakopiteley energii na karenom zheleznodorozhnom transporte [Prospects for the use of combined energy storage in railway transport]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. – Mining informational and analytical bulletin, 5, 317–322 [in Russian].
6. Lyubarskiy, B.G., Shayda, V.P. & Buryakovskiy, S.G. (2015) Sravnitelnyiy analiz nakopiteley energii dlya transportnykh sredstv [Comparative analysis of energy storage for vehicles]. Zallznicniy transport Ukrainy. – Railway transport of Ukraine, 6, 13–21 [in Ukrainian].
7. Ryikov, A.S. & Belyaev, S.S. (2014) Aktivnyie i passivnyie sistemyi balans Li-ion akkumulyatornykh batarey [Active and passive Li-ion battery balance systems]. Komponenty i tehnologii. – Components and technologies, 3, 121–124 [in Russian].
8. Varlamov, D.O., Skvortsov, A.A. & Hortov, V.P. (2016) Obzor aktivnykh ustroystv balansirovki, prednaznachennykh dlya tyagovykh akkumulyatornykh batarey v elektricheskoy transporte [An overview of active balancing devices designed for traction batteries in electric vehicles]. Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov. – Zurnal AAI, 4(99), 21–23 [in Russian].
9. Serdechnyy, D.V. & Tomashevskiy, Yu.B. (2017) Upravlenie protsessom zaryada mnogoelementnykh litiy-ionnykh akkumulyatornykh batarey [Control of multi-cell lithium-ion battery charging process]. Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol. – Measuring. Monitoring. Management. Control, 3(21), 115–123 [in Russian].
10. Afanasev, A.S., Boldyrev, M.A., Vorontsov, P.S., Suslov, V.M., Kotov, Yu.T., Voronitsyn, V.K. & et. al. (2019) Sistema kontrolya i upravleniya vyisokomoschnykh litiy-ionnykh akkumulyatornykh batarey [System for monitoring and control of high-power lithium-ion batteries]. IVUZ. «Lesnoy zhurnal». – BHEI. Forestry Journal, 1, 161–170 [in Russian].
11. Inshakov, A.P., Fedotov, Yu.B., Desyaev, S.S. & Baykov, D.V. (2016) Problema monitoringa i balansirovki akkumulyatornykh batarey transportnykh sredstv [The problem of monitoring and balancing vehicle batteries]. Vestnik Mordovskogo universiteta. – Bulletin of the Mordovian University, Vol. 26, 1, 40–49. [in Russian].
12. Medvedev, V.V., Mischenko, V.I. & Abduraimov, A.E. (2017) Aktivnaya balansirovka tyagovykh svintsovykh akkumulyatorov v elektromobilyah [Active balancing of traction lead batteries in electric cars]. Elektrotehnichni ta komp'yuterni systemy. – Electrical and computer systems, 24(100), 62–68 [in Ukrainian].

13. Venkatesh Prasad, K.S. & Divakar, B.P. (2018) A New Charge Balancing and Equalization Mechanism for Batteries. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Vol. 180, 11, 16–26.
14. Kamenev, Yu.B. & Shtompel, G.A. (2013) Uskorennyiy metod zaryada svintsovo-kislotnogo akkumulyatora. 3. Impulsnyiy zaryad [The accelerated method of charging a lead-acid battery. 3. Impulse charge]. Elektrokhimicheskaya energetika. – Electrochemical power, Vol. 13, 2, 77–82 [in Russian].
15. Gerasimov, S.B., Semenov, A.G., Skutelnik, V.V. & Malomyizhev, O.L. (2017) Ogranichenie srokov sluzhbyi himicheskikh istochnikov toka transportnykh sredstv i vozmozhnosti ih vosstanovleniya [Limiting the life of chemical current sources of vehicles and the possibility of their restoration]. Vestnik IrGTU. – Proceedings of ISTU, Vol. 21, 6, 135–141 [in Russian].
16. Kolosovskiy, V.V. & Polikarpova, V.V. (2018) Vliyaniye amplitud i chastoty tokov na harakteristiki akkumulyatorov [Influence of amplitudes and frequency of currents on battery characteristics] // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Bulletin of Saint-Petersburg State Agrarian University, 5, 259–264 [in Russian].
17. Dzenzerskiy, V.A., Zhitnik, N.E., Plaksin, S.V. & Lisunova, V.V. (2018) Upravleniye protsessom zaryadki elektrokhimicheskogo nakopitel'ya energiy [Controlling the electrochemical energy storage charging process]. Elektrotehnika ta elektroenergetika. – Electrical engineering and power engineering, 1, 40–51 [in Ukrainian].
18. Dzenzerskiy, V.A., Zhitnik, N.E., Plaksin, S.V. & Lisunova, V.V. (2016) Impulsnyiy metod avtomatizirovannogo kontrolya elektrokhimicheskikh nakopiteley [The pulse method of automated control of electrochemical energy storage]. Gornicha elektromekhanika ta avtomatyka. – Mining Electrical and Automation, 96, 31–36 [in Ukrainian].
19. Dzenzerskiy VA, Zhitnik NE, Plaksin SV, Lisunova VV, Shyrman OI, inventors; Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine, assignee (2015). Sposib avtomatyzovanoho kontroliu potочноho stanu akumuliyatora [A method of automated monitoring of the current state of the battery]. Ukrainian patent, no. 112384.
20. Plaksin, S.V., Zhitnik, N.E., & Shyrman, O.I. (2012) Eksperimentalnyy stand dlya avtomatizirovannogo kontrolya sostoyaniya himicheskikh istochnikov toka impulsnym metodom [Experimental bench for automated monitoring of the state of chemical current sources using the pulsed method]. Gornicha elektromekhanika ta avtomatyka. – Mining Electrical and Automation, 89, 58–63 [in Ukrainian].

Плаксі́н С.В., д-р ф.-м. н.

(завідуючий відділом, Інститут транспортних систем та технологій НАН України)

Житник М.Я.

(науковий співробітник, Інститут транспортних систем та технологій НАН України)

Левченко Р.Ю.

(інженер 1 категорії, Інститут транспортних систем та технологій НАН України)

ОБҐРУНТУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ БАЛАНСУВАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті розглянуті сучасні методи балансування електрохімічних накопичувачів енергії на транспортних засобах і виділені властиві їм недоліки, серед яких особливу увагу приділено тривалості процесу зарядки і балансування, яка знижує енергоефективність як самого процесу, так і процесу експлуатації транспортного засобу. Запропоновано і теоретично обґрунтовано рішення цього завдання шляхом використання імпульсного методу зарядки і балансування електрохімічних накопичувачів. Показано принципову відмінність запропонованого методу від існуючих, яка полягає в контролі параметрів акумуляторів по сигналу

відгуку без застосування приладових засобів вимірювань і їх балансуванні по напрузі і кількості накопиченої енергії, що підвищує достовірність і ефективність процесу балансування, а також підтверджує доцільність використання запропонованого методу.

Ключові слова: транспортний засіб, електрохімічний накопичувач енергії, балансування, імпульсний метод, сигнал відгуку.

Plaksin S., Dr. Sci.

(Head of Department, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine)

Zhytnyk M.

(Senior Researcher, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine)

Levchenko R.

(Engineer of 1-st Category, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine)

SUBSTANTIATION OF THE PULSE METHOD OF BALANCING ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE FOR TRANSPORT FACILITIES

The article discusses modern methods of balancing electrochemical energy storage devices on transport facilities and highlights their inherent disadvantages, among which special attention is paid to the duration of the charging and balancing process, which reduces the energy efficiency of both the process itself and the transport facility operation process. A solution to this problem is proposed and theoretically justified by using the pulse method of charging and balancing electrochemical storage. The fundamental difference of the proposed method from the existing ones is shown, which consists in monitoring the parameters of the batteries by the response signal without the use of instrumentation and balancing them by voltage and the amount of stored energy, which increases the reliability and efficiency of the balancing process, and also confirms the appropriateness of using the proposed method.

Keywords: transport facilities, electrochemical energy storage, balancing, pulse method, response signal.

УДК 629.4.07

Олександр Горобченко, д.т.н.
(професор кафедри тягового рухомого складу Державного
університету інфраструктури та технологій);
Максим Слободянюк, к.т.н., доцент;
Олександр Неведров
(аспірант кафедри тягового рухомого складу Державного
університету інфраструктури та технологій)

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОЇЗНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ КЕРУВАННІ ЛОКОМОТИВОМ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Виконано аналіз впливів на машиніста локомотива при керуванні поїздом, запропоновано методи нечіткої математики для опису поїзних ситуацій. Поточна поїзна обстановка представляється у вигляді нечіткої ситуації, що порівнюється з усіма типовими ситуаціями, що знаходяться в пам'яті інтелектуальної системи. Визначається типова ситуація, що є найбільш близькою до вхідної.

Ключові слова: керування поїздом, нечітка ситуація, машиніст, інтелектуальна система.

Вступ. При розробці інтелектуальних систем керування тяговим рухомих складом розробники стикаються з завданням описати ситуації, що при цьому виникають. Машиніст локомотива постійно оцінює поточну обстановку та приймає керуючі рішення, що відповідають його основному завданню – безпечному та ефективному веденню поїзда. Інтелектуальна діяльність людини при цьому достатньо складна і не може бути точно описана у виразах класичної математики. Але існує підхід, при якому людина-оператор представляється у вигляді «чорної скрині» [1], на вхід якої подаються зовнішні сигнали, а на виході маємо керуючі дії [2,3].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Процеси, що відбуваються всередині такої «чорної скрині» можливо описати за допомогою теорії розпізнавання образів та теорії прийняття рішень [4,5]. Для випадку керування локомотивом процес прийняття рішень машиністом докладно описано в роботах [6–8]. Але недостатньо висвітленим залишається питання формалізації тієї інформації, що надходить до машиніста при керуванні поїздом. Складність тут полягає у різноманітності інформаційних сигналів, їх неоднорідності, деколи неоднозначності та залежності від широкого кола факторів [9].

Мета і завдання дослідження Таким чином постає завдання визначення теоретичного підґрунтя для найбільш якісного опису станів, в яких знаходиться машиніст локомотива, рухомий склад та оточуюче середовище. Модель повинна враховувати як кількісні, так і якісні показники оточуючого середовища та поїзда,

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-5

що рухається. Також необхідно врахувати, що поїзд є об'єктом керування з підвищеною небезпекою, а визначення його поточного стану необхідно проводити у найкоротші терміни, значно менше секунди. Тому математичний апарат не повинний перевантажувати бортову локомотивну систему керування та водночас дозволяти визначати будь-які ситуації, що можуть виникнути на шляху прямування.

Матеріали та методи дослідження. При моделюванні інтелектуальної системи керування будемо спиратись на реальні ситуації та їх ознаки і характеристики, що виникають під час ведення поїзду. Встановимо укрупнену схему роботи машиністів (рис. 1).

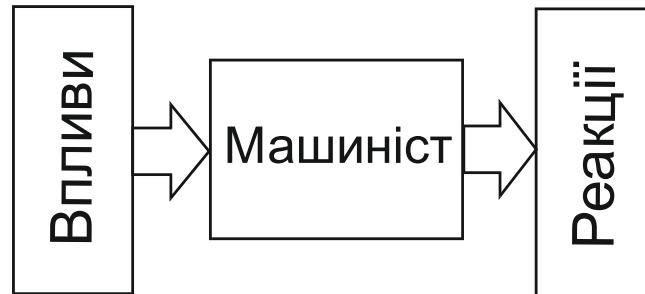


Рис. 1. Укрупнена схема перетворення інформації машиністом як людиною-оператором

Впливи на машиніста відбуваються за різними каналами, мають різну природу та різні наслідки [10]. Крім того необхідно відмітити, що момент початку та час дії деяких впливів визначається самим машиністом локомотива. В залежності від обставин він може зосередитись або над контролем ділянки колії попереду (при проходженні небезпечних місць), або над визначенням поточного стану локомотива, або над контролем параметрів руху поїзда для прийняття керуючих рішень і т. і. Необхідно виконати аналіз всіх впливів, для чого спочатку проведено їх класифікацію (рис. 2).



Рис. 2. Класифікація всіх впливів на локомотивну бригаду під час ведення поїзда

Всю інформацію, що надходить до машиніста локомотива, можливо розбити на дві множини: чіткі та нечіткі сигнали [11,12]. Прикладами чітких сигналів може бути сигнал світлофора, наявність обмеження швидкості, положення штурвалу контролера та інше. До нечітких сигналів відносяться оцінки машиністом за даних умов швидкості руху (швидко, дуже швидко, повільно і т. і.), відстані до сигналу (дуже далеко, близько і т. і.), ефективності гальмування, можливості використання кінетичної енергії поїзда та інші види інформаційних впливів.

Таким чином необхідно формалізувати визначення загального впливу на машиніста під час керування поїздом. Урахування як чітких, так і нечітких змінних дозволить більш якісно оцінити умови прийняття керуючих рішень машиністом та точніше змодельовати роботу інтелектуальної системи керування поїздом.

Стан поїзда, як об'єкта керування, можливо оцінювати за значенням набору ознак, що належать до нього [13]. Також набором ознак можемо охарактеризувати стан локомотива та оточуючого середовища (поїзну обстановку). Повністю ситуація може бути описана набором значень всіх ознак при керуванні поїздом в поточний момент часу. При моделюванні інтелектуальної системи керування можливо використати таблицю, що приводить у відповідність всі можливі ситуації і деякий набір керуючих рішень. Розмір таблиці визначається числом ситуацій, яке залежить від ступеню конкретизації значень ознак. Якщо p — число ознак, m_i — число значень ознаки $y_i \in Y(i \in J = \{1, 2, \dots, p\})$, то число можливих ситуацій не перевищує $m_1 \times m_2 \times \dots \times m_p$.

Формалізуємо поняття «нечіткої поїзної ситуації», що характеризує вплив на машиніста та спонукає його до прийняття рішень [14]. Нехай множина, що складається з підмножин групових ознак

$$Z = \{ Y_1, Y_2, Y_3 \}, \quad (1)$$

де Y_1, Y_2, Y_3 — відповідно підмножини ознак поїзної обстановки, стану поїзду та стану локомотива.

Підмножина ознак, значеннями яких описується i -та група впливів

$$Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ip}). \quad (2)$$

де y_{ij} ($i \in I = \{1, 2, 3\}; j \in J = \{1, 2, \dots, p\}$) — ознака, що може бути представлена чіткою або нечіткою змінною.

У випадку представлення ознаки в нечіткому вигляді найбільш відповідною формою є лінгвістичні змінні. Вони можуть бути отримані шляхом інтерв'ю з експертом (машиністом), а також при їх використанні забезпечується наочність та логічність опису ситуації.

Лінгвістичні змінні [15] описуються трійкою

$$\langle y_{ij}, T_{ij}, D_{ij} \rangle, \quad (3)$$

де $T_{ij} = \{ T_{ij}^1, T_{ij}^2, \dots, T_{ij}^m \}$ — терм-множина лінгвістичної змінної y_{ij} (набір лінгвістичних значень ознаки, m — кількість значень ознаки);

D_{ij} — базова множина ознаки y_{ij} ;

Для опису термів $T_{ij}^s (s \in S = \{1, 2, \dots, m\})$, що відповідають значенням ознаки y_{ij} , використовуються нечіткі змінні $\langle T_{ij}^s, D_{ij}, C_{ij}^s \rangle$, тобто значення T_{ij}^s описується нечіткою множиною C_{ij}^s в базовій множині D_{ij} :

$$C_{ij}^s = \{ \langle \mu_{C_{ij}^s}(d) / d \rangle, d \in D_{ij} \}. \quad (4)$$

Тут $\mu_{C_{ij}^s}(d) / d$ - функція приналежності нечіткої множини C_{ij}^s , приймає визначене значення з інтервалу $[0;1]$, що є ступенем приналежності елемента d нечіткій множині C_{ij}^s

Враховуючи вищевизначене, нечіткою поїзною ситуацією Y_i пропонується вважати нечітку множину другого порядку

$$Z = \{ (\mu_Z(y_{1j}) / y_{1j}), (\mu_Z(y_{2j}) / y_{2j}), (\mu_Z(y_{3j}) / y_{3j}) \}, \quad y_{1j} \in Y_1, y_{2j} \in Y_2, y_{3j} \in Y$$

де

$$\mu_Z(y_{ij}) = \{ \langle \mu_{\mu_Z(y_{ij})}(T_{ij}^s) / T_{ij}^s \rangle, \quad s \in S, i \in I, j \in J \} \quad (5)$$

Таким чином теоретично обґрунтовується підхід до опису та об'єктивного порівняння поїзних ситуацій, що складаються при керуванні локомотивом.

Висновки. Отриманий вираз дозволяє використати обмежений набір нечітких ситуацій для опису практично нескінченного числа комбінацій впливів на машиніста локомотива під час керування поїздом. Поточна поїзна обстановка представляється у вигляді нечіткої ситуації. Отримана вхідна нечітка ситуація порівнюється з усіма типовими ситуаціями, що знаходяться в пам'яті інтелектуальної системи. Визначається типова ситуація, що є найбільш близькою до вхідної, та система приймає рішення, що відповідає визначеній типовій ситуації.

Такий підхід дозволяє реалізувати найшвидший та нескладний алгоритм визначення стану поїзда під час руху для інтелектуальної системи керування. Швидкість тут досягається за рахунок достатнього запасу обчислювальних потужностей бортової системи для виконання запропонованих операцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shankar S. Looking into the Black Box: Holding Intelligent Agents Accountable //NUJS L. Rev. 2017. Т. 10. 451 p.
2. Russell S. J., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia; Pearson Education Limited, 2016. 254 p.
3. Hopgood A. A. Intelligent systems for engineers and scientists. CRC press, 2016. 412 p.
4. Chen C. Handbook of pattern recognition and computer vision. World Scientific, 2015. 215 p.
5. White D. J. Decision theory. Routledge, 2018. 401 p.
6. Tartakovskiy E., Gorobchenko A., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. №. 5 (3). С. 4-11.
7. Gorobchenko O. et al. Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment //2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). IEEE, 2018. P. 239-243.
8. Бутько Т. В., Горобченко О. М. Моделювання керуючої діяльності машиніста локомотива за допомогою теорії нечітких графів //Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2015. №. 2 (56). С. 88-96.

9. Горобченко О. М. Формалізація задачі поточної оцінки безпеки руху при управлінні локомотивом //Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Сер.: Транспортні системи і технології. 2014. №. 24. С. 214-221.
10. Cheng Y. H., Tian H. N. Train drivers' subjective perceptions of their abilities to perceive and control fatigue //International journal of occupational safety and ergonomics. 2019. P. 1-17.
11. Cao Y., Ma L., Zhang Y. Application of fuzzy predictive control technology in automatic train operation //Cluster Computing. 2018. P. 1-10.
12. Zhang D. High-speed Train Control System Big Data Analysis Based on Fuzzy RDF Model and Uncertain Reasoning //International Journal of Computers, Communications & Control. 2017. T. 12. №. 4.
13. Tanaka K., Wang H. O. Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach. – John Wiley & Sons, 2004.
14. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, Гл. ред. физ. - мат. лит.,1990. 273 с.
15. Broumi S., Ye J., Smarandache F. An extended TOPSIS method for multiple attribute decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables. Infinite Study, 2015.

REFERENCES

1. Shankar, S. (2017). Looking into the Black Box: Holding Intelligent Agents Accountable. NUJS L. Rev., 10, 451.
2. Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia; Pearson Education Limited.,
3. Hopgood, A. A. (2016). Intelligent systems for engineers and scientists. CRC press.
4. Chen, C. H. (2015). Handbook of pattern recognition and computer vision. World Scientific.
5. White, D. J. (2018). Decision theory. Routledge.
6. Tartakovskyi, E., Gorobchenko, A., & Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, (5 (3)), 4-11.
7. Gorobchenko, O., Fomin, O., Gritsuk, I., Saravas, V., Grytsuk, Y., Bulgakov, M., & Zinchenko, D. (2018, September). Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment. In 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) (pp. 239-243). IEEE.
8. Butko, T., & Gorobchenko, O. (2015). Modelyuvannya keruyuchoyi diyalnosti mashinista lokomotiva za dopomogoyu teoriyi nechitkih grafiv. [Modeling of controlling activity of locomotive driver by the theory of fuzzy graphs] Science and transport progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, (2 (56)).
9. Gorobchenko, O. (2014). Formalizatsiya zadachi potочноy otsinki bezpeky ruhu pri upravlinni lokomotivom. [Formalization of the task of the current estimation of traffic safety in the control of the locomotive] Zb. nauk. prats Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo unIversitetu transportu. Ser.: Transportni sistemi i tehnologiyi, (24), 214-221.
10. Cheng, Y. H., & Hui-Ning, T. (2019). Train drivers' subjective perceptions of their abilities to perceive and control fatigue. International journal of occupational safety and ergonomics, (just-accepted), 1-38.
11. Cao, Y., Ma, L., & Zhang, Y. (2018). Application of fuzzy predictive control technology in automatic train operation. Cluster Computing, 1-10.
12. Zhang, D. (2017). High-speed Train Control System Big Data Analysis Based on Fuzzy RDF Model and Uncertain Reasoning. International Journal of Computers, Communications & Control, 12(4).
13. Tanaka, K., & Wang, H. O. (2004). Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach. John Wiley & Sons.
14. Melikhov A.N., Bershteyn L.S., Korovin S.Ya. (1990). Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoy logikoy [Situational advising system with fuzzy logic]. М.: Nauka, Gl. red. fiz. - mat. lit., 272 p.)
15. Broumi, S., Ye, J., & Smarandache, F. (2015). An extended TOPSIS method for multiple attribute decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables. Infinite Study.

*Александр Горобченко, д.т.н., доцент
(профессор кафедры тягового подвижного состава железных дорог
Государственного университета инфраструктуры и технологий);
Максим Слободянюк, к.т.н., доцент;
Александр Неведров
(аспирант кафедры тягового подвижного состава железных дорог
Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОЕЗДНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЛОКОМОТИВОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Выполнен анализ влияния на машиниста локомотива при управлении поездом, предложены методы нечеткой математики для описания поездных ситуаций. Текущая поездная обстановка представляется в виде нечеткой ситуации, сравнивается со всеми типичными ситуациями, которые находятся в памяти интеллектуальной системы. Определяется типичная ситуация, является наиболее близкой к входной.

***Ключевые слова:** управление поездом, нечеткая ситуация, машинист, интеллектуальная система.*

*Oleksandr Gorobchenko, Doct. of tech. sciences, Associate Professor
(Professor of the Department of Traction Rolling Stock of the State University of
Infrastructure and Technology);
Maksym Slobodianiuk, Ph.D., Associate Professor;
Oleksandr Nevedrov
(graduate student of the Department of Traction Rolling Stock of the State
University of Infrastructure and Technology)*

FORMALIZATION SITUATIONS AT TRAIN LOCOMOTIVE MANAGEMENT ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC

The locomotive driver constantly evaluates the current situation and makes managerial decisions that are in line with his main task - safe and efficient driving. Intellectual activity of the person at the same time is rather complex and can not be accurately described in the expressions of classical mathematics. The analysis of the effects on the locomotive driver in the control of the train is carried out, methods of fuzzy mathematics for the description of the train situations are offered. The current train situation is presented in the form of a fuzzy situation, which is compared with all typical situations that are in the memory of the intellectual system. A typical situation is determined which is closest to the input and the system makes a decision that corresponds to a certain typical situation. This approach allows us to implement the fastest and most straightforward algorithm for determining the state of the train while driving for an intelligent control system.

***Keywords:** train control, fuzzy situation, driver, intellectual system.*

УДК 621.629.4.083

*Наталія Чигирик, к.т.н.,
(доцент кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)
Андрій Сумцов, к.т.н.,
(старший викладач кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)
Іван Вихопень,
(аспірант кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)
Дмитро Яценко, студент
(магістрант кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)*

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

У роботі представлені результати застосування методу дистанційної діагностики високовольтного устаткування тягового електрорухомого складу. Приведені принципи і критерії визначення дефектності високовольтної апаратури. Проведені роботи по апробації методики на прикладі діагностування чотирьох контакторів головного контролера електровоза. Отримані результати дозволяють позитивно оцінити перспективу застосування даного методу діагностики.

Ключові слова: *тяговий електрорухомий склад, діагностика, високовольтне устаткування, головний контролер, електромагнітне випромінювання, енергетичний спектр, міра дефектності*

Вступ. Великий об'єм наукових розробок в області діагностики високовольтного електротехнічного устаткування (ВУ), встановленого на різного виду силових підстанціях, дозволили значно підвищити надійність і безаварійність його роботи. Нині особлива увага приділяється розробці методів, що забезпечують контроль стану під робочою напругою. На відміну від [1], де пропонується динамічний інтегрований метод діагностики несправностей, що ґрунтується на байєсовській мережі, існує безперервний, а частіше і автоматичний контроль, який забезпечується шляхом аналізу розчинених газів, реєстрацією фізико-хімічних характеристик ізоляції, виміром рівнів часткових розрядів, параметрів електроенергії [2, 3, 4, 5, 6] і т.п.

Надійність діагностування істотно підвищується при використанні декількох незалежних параметрів, що мають детерміновану цінність.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-6

До їх переліку відноситься і метод діагностики, що ґрунтується на аналізі спектрів власного електромагнітного випромінювання устаткування.

Ця робота представляє результати апробації використання методики діагностики високовольтного устаткування електрорухомого складу по спектру власного електромагнітного випромінювання під навантаженням, з демонстрацією кореляційної залежності між дефектом і флуктуаціями в спектрі випромінювання.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У зв'язку з ускладненням конструкції електроустаткування тягового електрорухомого складу, питання забезпечення працездатності електротехнічних пристроїв, що виконують важливі функції, усе більш актуалізуються.

Відмови і некоректна робота апаратів високої напруги (АВН) служать істотною причиною виведення із експлуатації тягового рухомого складу, що, у свою чергу, веде до великих економічних витрат, а частіше є причиною аварійних ситуацій. Підтримка необхідної міри працездатності високовольтного устаткування в процесі його експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування і ремонтів.

Традиційно ця система базується на періодичному проведенні планових профілактичних робіт і є системою обслуговування за часом напрацювання. Перспективнішим є перехід до технічного обслуговування за поточним станом устаткування. Це обумовлено тим, що аварійні ситуації, пов'язані з відмовою АВН, досить часто безпосередньо не пов'язані з їх напрацюванням.

Вони є наслідком незначної поломки (несправності), раннє виявлення якої могло б захистити апаратуру і усе електроустаткування від відмови. Крім того, обслуговування АВН за часом обробки приводить до невиправданих відключень працездатного устаткування. Таким чином, єдиним надійним способом захисту від відмов є діагностування АВН в реальному часі і під навантаженням [7]. Уперше на можливість діагностики точкових джерел електромагнітних шумів було вказано в роботі [8]. У ній викладені принципи побудови діагностичної моделі і еквівалентних схем виміру шумів, а також приведені рівняння, що описують рішення задачі діагностики. Подальший розвиток теорія діагностики за спектрами електромагнітного випромінювання отримала в роботах [9, 10, 11], у яких сформульовано положення про те, що діагностична інформація міститься в інформативних частотних смугах спектрів власного електромагнітного випромінювання устаткування, що визначається розмірами випромінюючих елементів конструкції. Опис фізики шумових процесів, а також методичних аспектів шумової діагностики знайшло своє відображення в роботах [12-14].

Показано, що шум може бути обумовлений як самими процесами протікання електричного струму, так і хаотичними змінами інших неелектричних параметрів устаткування, які перетворюються в зміни величин струмів і напруги. Методика діагностування, що базується на шумовій випромінюючій моделі, дозволяє оцінювати стан зовнішніх і внутрішніх конструктивних елементів, тим самим істотно поглиблюючи і підвищуючи надійність діагностування.

Мета і завдання дослідження. Метою проведених досліджень є визначення можливості застосування аналізу спектрів власного електромагнітного випромінювання високовольтного устаткування тягового електрорухомого складу для діагностики його технічного стану в процесі експлуатації під навантаженням.

Поставлена мета досягається рішенням таких основних завдань:

- аналіз основних положень електромагнітного способу оцінки технічного стану високовольтного устаткування на основі реєстрації і аналізу спектрів його власного електромагнітного випромінювання (ЕМВ);
- проведення натурних випробувань на устаткуванні тягового електрорухомого складу з метою підтвердження правомірності основних положень електромагнітного способу ранньої діагностики високовольтного устаткування;
- розробка принципів формування архівів і бази даних спектрів власного ЕМВ високовольтного устаткування.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш логічним напрямом розвитку засобів контролю, покликаних давати оцінку поточного стану експлуатованих машин і механізмів є перехід на технології моніторингу [15]. Головний принцип моніторингу - відстеження змін контрольованих параметрів в часі з кількісною оцінкою природних флуктуацій і трендів, для чого необхідно накопичувати велику кількість результатів послідовних вимірів цих параметрів.

Межі (зону) допустимих змін цих параметрів можна визначати по природних флуктуаціях, а параметр вважати діагностично значимим для конкретного виду дефекту (групи дефектів), якщо при небезпечному зростанні величини дефекту, значення цього параметра виходить із зони допустимих значень. Так що завжди можна почати впроваджувати технологію моніторингу на основі найзагальнішої інформації про те, на які параметри контрольованих процесів можуть впливати типові дефекти.

Початкові межі при моніторингу ЕМВ визначаються за первинними оцінками природних флуктуацій рівня ЕМВ в частотних смугах, забезпечуючи розумну величину вірогідності неправдивого виявлення дефекту.

Виміри величини електромагнітного випромінювання в частотних смугах при моніторингу технічного стану високовольтної апаратури (ВА) необхідно проводити досить часто, тому система моніторингу має бути або стаціонарною, або переносні засоби виміру мають бути доступні черговому персоналу, що обслуговують контрольовані агрегати і мають мінімальну підготовку по виконанню операцій виміру.

У випадку з тяговим електрорухомим складом доцільно розглядати розробку і впровадження стаціонарних стендів з діагностування ВА, що використовують метод аналізу власного ЕМВ.

Проведення діагностики, наприклад, головного контролера, з певною періодичністю в стаціонарних повторюваних умовах, дозволить спостерігати динаміку зміни в спектрах власного ЕМВ апарату, тим самим визначати розвиток того або іншого дефекту (групи дефектів). Важлива та обставина, що з кожною процедурою діагностики, попередня накопичена і проаналізована інформація, дозволяє все з більшою достовірністю виносити рішення про технічний стан устаткування.

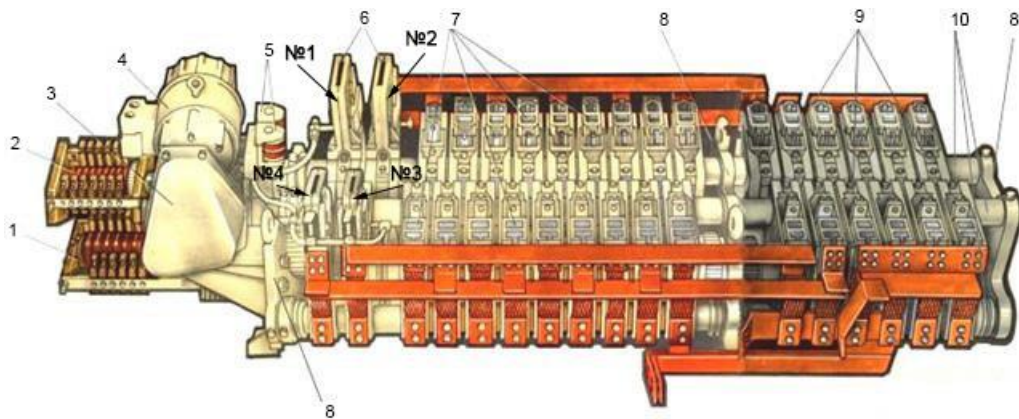
Кореляційна залежність між видом дефекту і певною флуктуацією в одній з частотних смуг ЕМВ визначається або шляхом зняття спектрограми ЕМВ з подальшою дефектацією деталей і складальних одиниць апарату в процесі традиційного розбирання і підготовки до ремонту, або шляхом примусового впровадження дефекту у ВА, що діагностується, з подальшим його визначенням в картині спектру власного ЕМВ.

В остаточному варіанті для кожного виду ВА має бути відомий увесь список типових дефектів і їх ознак, задані межі спектру, в яких ведеться їх пошук в сигналі ЕМВ.

За наявності великих об'ємів інформації про діагностику конкретного високовольтного апарату перспективним напрямом в обробці і аналізі спектру є впровадження штучних нейронних мереж (ШНМ). Здатність ШНМ до самонавчання дозволить в разі збільшити достовірність ухваленого рішення про поточний технічний стан, конкретно взятого ВА.

В порядку накопичення досвіду робіт в діагностиці високовольтного устаткування рухомого складу електротяги під навантаженням, проведені початкові дослідження спектрів власного ЕМВ конструктивних елементів головного контролера ЕКГ-8Ж електровозу ВЛ80.

Головний контролер (рис. 1) служить для перемикання під навантаженням тягових вторинних обмоток трансформатора, з метою зміни напруги, що підводиться до ТЕД електровоза.



- 1 – блокувальний пристрій контролера (17 контактів); 2 – блокувальний пристрій приводу (14 контактів); 3 – редуктор; 4 – сервомотор;
5 – електропневматичний вентиль; 6 – контактор з дугогасінням (4 шт.);
7 – контактор перемикача ступенів (18 шт.); 8 – підстави несучих рам;
9 – контактор перемикача обмоток; 10 – ізолювані труби

Рис. 1. Головний контролер

Виходячи з документації про відмови і несправності досліджуваного контролера, основними несправностями в його роботі стали:

- прохід фіксованого положення або відсутність фіксації на позиціях – 5 випадків. Ймовірна причина - відсутність гальмівного кола привідного двигуна за рахунок поганого стану контактних з'єднань і контактів пускового контактора;
- підвищений знос кулачків граничної муфти редуктора —2 випадки. В першому випадку через відсутність розмикання кінцевих блокувань ГПО-32, ГПП1-33 і ГП1 при повертанні валів за крайні позиції до упору, у другому – порушення включення кінцевих блокувань;
- збільшений люфт контактного важеля силових контакторів відносно привідного важеля – 10 випадків, через підвищений знос гумової втулки;
- підгоряння основних контактів контакторів з дугогасінням -7 випадків, внаслідок відсутності розхилу основних контактів у момент торкання дугогасильних контактів, послаблення кріплень дугогасильних контактів.

Дослідження головного контролера методом аналізу спектру власного електромагнітного випромінювання під навантаженням проведені в умовах цеху по ремонту електроустаткування. У зв'язку із складною конструкцією високовольтного апарату об'єктами дослідження на першому етапі вибрані чотири контакти з дугогасінням. Виміри проведені на відстані 100 мм від кожного з них.

Виміри ЕМВ здійснювалися аналізатором спектру SPECTRAN V5 модель HF – 8060 VS (компанія Agoria, Німеччина), який розраховано на роботу у діапазоні частот від 9 кГц до 6 ГГц з інтервалом вимірів рівня потужності від мінус 200 до плюс 100 дБм.

Аналізатор працював в режимі "самописця", при якому у файл записувалися вимірювані приладом значення рівня потужності сигналу в найбільш інформативній смузі частот від 10 до 200 МГц [15].

Згідно методики викладеної в [15], оцінка технічного стану ЕКГ-8Ж базується на розрахунку інтегральної потужності спектрів власного електромагнітного випромінювання у виділеній інформативній смузі за формулою

$$P_{int} = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S^2(f) df, \quad (1)$$

де P_{int} – інтегральна потужність випромінювання в статкуванні в смузі частот $f_{min} \leq f \leq f_{max}$;

$S(f)$ – щільність інтегральної потужності випромінювання частоти f .

Дані із записаної бази оброблені програмою, що дозволяє порівнювати спектри власних ЕМВ, проводити розрахунок коефіцієнта інтегральної потужності, визначуваного за формулою

$$K_{int} = 10 \lg (P_{int} / P_{int \text{ етал}}), \quad (2)$$

де P_{int} – інтегральна потужність електромагнітного випромінювання, що зареєстрований поблизу устаткування в межах частотної смуги;

$P_{int \text{ етал}}$ – еталонне значення інтегральної потужності електромагнітного випромінювання в межах частотної смуги.

Значення ефективного коефіцієнта інтегральної потужності $K_{эф}$ (дБ) для кожної одиниці устаткування, виражені в дБ, обчислюються як сума коефіцієнтів інтегральної потужності в усіх даних інформативних частотних смугах

$$K_{эф(дБ)} = \int_{n=1}^{n=m} K_{n_i(дБ)}, \quad (3)$$

де m – число інформативних частотних смуг, використовуваних для контролю устаткування.

Висновки про міру дефектності устаткування робиться на підставі розрахованих значень $K_{\text{эф(дБ)}}$; якщо значення $K_{\text{эф(дБ)}}$ лежать в межах від 1 до 3 дБ, то вважається, що устаткування має слабку дефектність; від 3 до 8 дБ - помірну дефектність; від 8 і вище - сильну дефектність [15].

На першому етапі експерименту проведені виміри власного ЕМВ поперемінно кожного з чотирьох контакторів з дугогасінням в процесі їх включення під навантаженням.

Для прикладу на рис. 2 приведена ділянка спектру власного ЕМВ для контактора №3. Усі контактори з дугогасінням оглянуті, почищені і відрегульовані згідно технології ремонту в умовах локомотивного депо. Назвемо їх еталонними.

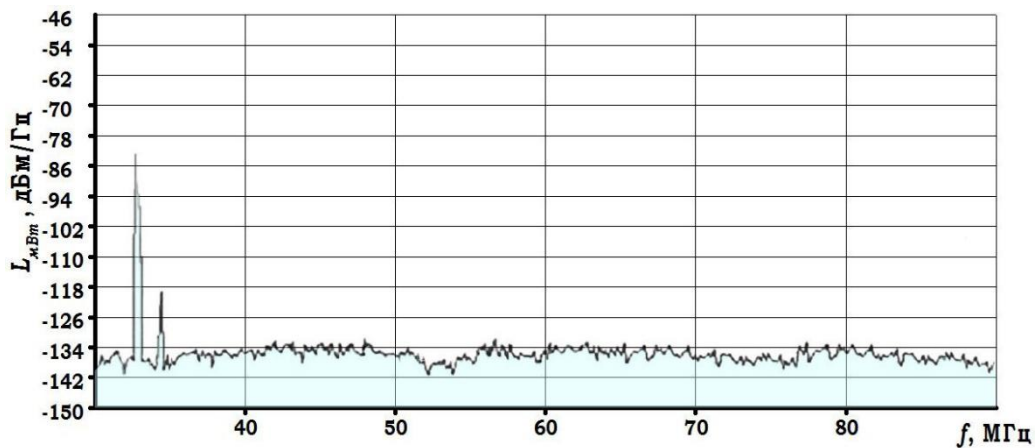


Рис. 2. Ділянка спектру власного ЕМВ для контактора №3 без дефектів (еталон)

На графіку $L_{\text{МВт}}, \text{дБм/Гц}$ – це рівні спектральної щільності потужності - "децибельний" аналог одиниці мВт/Гц (потужність на номінальному навантаженні в смузі частот 1 Гц з центром на заданій частоті - тут опорний рівень 1 мВт/Гц).

Як видно з рисунку 2, при замиканні контактора спостерігається невеликий сплеск коливань до - 88 дБ з подальшою стабілізацією рівня випромінювання в межах -142 ... - 133 дБ.

Для з'ясування реакції спектру власного ЕМВ на наявність дефекту в роботі контактора проведені роботи з послаблення кріплень дугогасильних контактів в усіх чотирьох контакторах. Міра послаблення для кожного контактора різна, що дасть нам розуміння як рівень важкості одного і того ж дефекту відбивається у флуктуаціях спектру власного ЕМВ, і в яких частотних смугах.

Проведені виміри показали дійсну зміну в картині спектру ЕМВ, виражену у виникненні, ймовірно характерних для цього дефекту, сплесках рівня і в незначному зростанні спектральної щільності потужності. Подальші виміри з накопиченням у базі даних і їх аналіз дозволить з більшою достовірністю описати картину спектру ЕМВ при виникненні такого дефекту.

На рис. 3 приведений графік спектральної потужності контактора №3 зі свідомо впровадженим в нього дефектом.

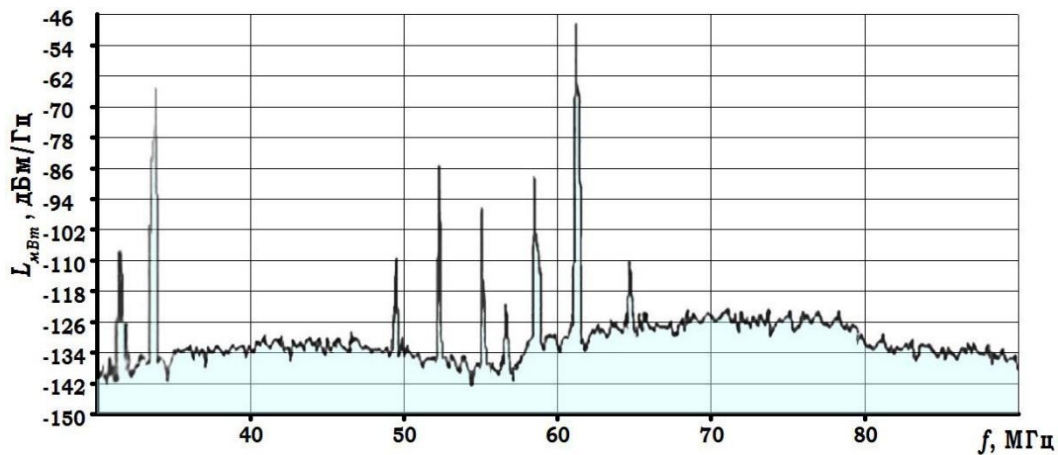


Рис. 3. Ділянка спектра власного ЕМВ для контактора №3 зі свідомо впровадженим в нього дефектом

Результати розрахунку величини значень ефективного коефіцієнта інтегральної потужності $K_{\text{эф(дБ)}}$ наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Значення ефективного коефіцієнта інтегральної потужності $K_{\text{эф(дБ)}}$

№ контактора	$\int_{j=1}^{j=m} P_{ij(\text{дБ})}, \text{дБм/Гц}$		$K_{\text{эф(дБ)}}$
	еталоний	з дефектом	
1	-132	-95	1,34
2	-148	-102	1,45
3	-129	-125	1,04
4	-138	-124	1,11

Як видно з проведених вимірів введені дефекти безумовно міняють картину спектру власних ЕМВ, а за рівнем дефектності згідно методики [15] контактори можна віднести до слабodefektnix.

Висновки. Діагностика з використанням аналізу спектрів власного електромагнітного випромінювання високовольтного устаткування, що працює під навантаженням, є ефективним інструментом для оцінки технічного стану.

Глибина і ефективність діагностування істотно розширюються при ретельному обліку інформації в усіх складових спектрів, а також при обліку стану зовнішніх і внутрішніх конструктивних елементів

Основним напрямом, що визначає підвищення якості інформаційних технологій контролю і оцінки технічного стану, слід вважати інтелектуалізацію процесів обробки діагностичної інформації з використанням теорії штучних нейронних

мереж, які здатні забезпечити підвищення якості розпізнавання і прогнозування технічного стану і ресурсу об'єкта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wensheng G., Cuifen B., Tong L. A Dynamic Integrated Fault Diagnosis Method for Power Transformers. *The Scientific World Journal*. 2015, Vol. 15, article ID 459268, 8 P.
2. Peimankar A., Weddell S.J., Jalal T., Lapthorn A.C. Evolutionary multi-objective fault diagnosis of power transformers. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2017. Vol. 36, P. 62–75.
3. Sikorski W., Walczak K., Przybylek P. Moisture Migration in an Oil-Paper Insulation System in Relation to Online Partial Discharge Monitoring of Power Transformers. *Energies*. 2016. Vol. 9 (12), 1082 P.
4. Hong Q., Zhang J., Xie Q., Liang S., Xu Y., Li S., Hu W. Transformer's Condition Assessment Method Based on Combination of Cloud Matter Element and Principal Component Analysis. *Energy and Power Engineering*. 2017. N9. P. 659–666.
5. Akolkar, S. M., Kushare B. E. Remaining Life Assessment of Power Transformer. *Journal of Automation and Control*. 2014. Vol. 2. N2. P. 45–48.
6. Nelson A. A., Jaiswal G. C., Ballal M. S., Tutakne D. R. Remote condition monitoring system for distribution transformer. *Proceedings of the 8th National Power Systems Conference (NPSC '14): IEEE, Guwahati, India*. 2014. P. 1–5.
7. Кудярова А. А., Хузина Л. Н., Дорофеев А. О. Повышение надежности работы электрооборудования путем применения методов диагностики. *Электротехнические комплексы и системы: матер. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»*, 2016. С. 244–247.
8. Киншт Н. В., Кац М. А. Диагностика точечных источников электромагнитных шумов. *Электричество*. 1999. № 4. С. 40–42.
9. Силин Н. В. Электромагнитный способ оценки технического состояния высоковольтного оборудования. *Промышленная энергетика*. 2006. № 1. С. 8–11.
10. Киншт Н. В., Лосев В. Л., Силин Н. В., Клоков В. В., Попович А. Б., Белушкин М. Ю. О способе контроля высоковольтного оборудования на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения. *Промышленная энергетика*. 2007. № 4. С. 24–29.
11. Силин, Н. В. Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого электромагнитного поля. *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2008. № 3. С. 86–91.
12. Силин, Н. В., Шевердин Д. Г. Шумовая диагностика электротехнического оборудования. *Ползуновский вестник*. 2011. № 2–1. С. 132–139.
13. Силин Н. В., Шевердин Д. Г., Павлов Е. Н. К вопросу шумовой диагностики электротехнического оборудования. *Ползуновский вестник*. 2011. № 2–2. С. 195–201.
14. Клоков В. В., Лосев В. Л., Игнатьев Н. И., Силин Н.В. Шумовая диагностика электротехнического оборудования морского транспорта. *Морские интеллектуальные технологии*. С.-Пб.: Моринтех. 2015. № 3 (29). С. 142–147.
15. Барков, А.В. Как использовать достижения вибрационного мониторинга и диагностики машин и механизмов. Лекция для технических руководителей предприятий. Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования "Северо-западный учебный центр". Вибрационная диагностика. – URL: <https://vibro-expert.ru/kak-ispolzovat-dostijeniya-vibracionnogo-monitoringa-i-dagnostiki-mashin-i-mexanizmov.html>. (Дата обращения : 16.05.2019).

REFERENCES

1. Wensheng, G., Cuifen, B., & Tong, L. (2015). A Dynamic Integrated Fault Diagnosis Method for Power Transformers. *The Scientific World Journal*, Vol. 15, article ID 459268, 8 pages [in English].
2. Peimankar, A., Weddell, S.J., Jalal, T., & Lapthorn, A.C. (2017). Evolutionary multi-objective fault diagnosis of power transformers. *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 36, 62-75 [in English].
3. Sikorski, W., Walczak, K., & Przybylek, P. (2016). Moisture Migration in an Oil-Paper Insulation System in Relation to Online Partial Discharge Monitoring of Power Transformers. *Energies*, Vol. 9 (12), 1082 [in English].

4. Hong, Q., Zhang, J., Xie, Q., Liang, S., Xu, Y., Li, S., & Hu, W. (2017). Transformer's Condition Assessment Method Based on Combination of Cloud Matter Element and Principal Component Analysis, *Energy and Power Engineering*. N 9, 659-666 [in English].
5. Akolkar, S.M., & Kushare, B.E. (2014). Remaining Life Assessment of Power Transformer. *Journal of Automation and Control*, Vol. 2, N2. 45-48 [in English].
6. Nelson A.A., Jaiswal G.C., Ballal M.S., & Tutakne D.R. (2014). Remote condition monitoring system for distribution transformer: *Proceedings of the 8th National Power Systems Conference (NPSC '14) IEEE, Guwahati, India* (pp. 1-5) [in English].
7. Kudayarova, A. A., Huzina, L. N., & Dorofeev A. O. (2016). Povyishenie nadezhnosti raboty i elektrooborudovaniya putem primeneniya metodov diagnostiki [Improving the reliability of electrical equipment through the use of diagnostic methods]. *Electrical complexes and systems – Electrical complexes and systems: mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (pp. 244-247). Ufa: GOU VPO «Ufimskiy gosudarstvenniy aviatsionniy tekhnicheskii universitet» [in Russian].
8. Kinsht, N.V., & Kats M.A. (1999). Diagnostika tochechnykh istochnikov elektromagnitnykh shumov [Diagnostics of point sources of electromagnetic noise]. *Elektrichestvo – Electricity*. 4. 40-42 [in Russian].
9. Silin, N.V. (2006). Elektromagnitniy sposob otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya vyisoko-voltного oborudovaniya [Electromagnetic method for assessing the technical condition of high-voltage equipment]. *Promyshlennaya energetika – Industrial energy* 1, 8-11 [in Russian].
10. Kinsht, N.V., Losev V.L., Silin, N.V., Klokov, V.V., Popovich, A.B., & Belushkin, M.Yu. (2007). O sposobe kontrolya vyisokovoltного oborudovaniya na osnove analiza spektrov ego sobstvennogo elektromagnitного izlucheniya [On a method for controlling high-voltage equipment based on an analysis of the spectra of its own electromagnetic radiation]. *Promyshlennaya energetika – Industrial energy* 4, 24-29 [in Russian].
11. Silin, N.V. (2008). Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya elektroenergeticheskogo oborudovaniya po spektralnyim harakteristikam izluchaemogo elektromagnitного polya [Assessment of the technical condition of electric power equipment by the spectral characteristics of the radiated electromagnetic field]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energetics* 3, 86-91 [in Russian].
12. Silin, N.V. & Sheverdin. D.G. (2011). Shumovaya diagnostika elektrotekhnicheskogo oborudovaniya [Noise diagnostics of electrical equipment]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunovsky Bulletin*. 2-1, 132-139 [in Russian].
13. Silin, N.V., Sheverdin., D.G., & Pavlov, E.N. (2011). K voprosu shumovoy diagnostiki elektrotekhnicheskogo oborudovaniya [To the issue of noise diagnostics of electrical equipment]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunovsky Bulletin*. 2-2. 195-201 [in Russian].
14. Klokov, V.V., Losev, V.L., Ignatev, N.I., & Silin, N.V. (2015). Shumovaya diagnostika elektrotekhnicheskogo oborudovaniya mor-skogo transporta [Noise diagnostics of electrical equipment of maritime transport]. *Morskie intellektualnyie tekhnologii – Marine Intelligent Technology*, S.-Pb.: Morinteh, Vol. 3 (29), 142-147 [in Russian].
15. Barkov, A.V. Kak ispolzovat dostizheniya vibratsionного monitoringa i diagnostiki mashin i mekhanizmov. Lektsiya dlya tekhnicheskikh rukovoditeley predpriyatiy [How to use the achievements of vibration monitoring and diagnostics of machines and mechanisms. Lecture for technical managers of enterprises]. *Chastnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie dopolnitelnogo professionalного obrazovaniya "Severo-zapadniy uchebnyi tsentr". Vibratsionnaya diagnostika*. Retrieved from: <https://vibro-expert.ru/kak-ispolzovat-dostizheniya-vibratsionного-monitoringa-i-diagnostiki-mashin-i-mekhanizmov.html> [in Russian].

*Наталья Чигирик, к.т.н.,
(доцент кафедры Эксплуатация и ремонт ру-хомого состава,
Украинского государственного университета железнодорожного тра-
нспорта)*

*Андрей Сумцов, к.т.н.,
(старший преподаватель кафедры Эксплуатация и ре-монт
подвижного состава, Украинского государственного университета
железнодорожного транспорта)*

*Иван Выхопень,
(аспирант кафедры Эксплуатация и ремонт подвижного состава,
Украинского государственного университета железнодорожного
транспорта)*

*Дмитрий Яценко, студент
(магистрант кафедры Эксплуатация и ре-монт подвижного состава,
Украинского государственного университета железнодорожного
транспорта)*

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В работе представлены результаты применения метода дистанционной диагностики высоковольтного оборудования тягового электроподвижного состава. Приведены принципы и критерии определения дефектности высоковольтной аппаратуры. Проведены работы по апробации методики на примере диагностики четырех контакторов главного контролера электровоза. Полученные результаты позволяют положительно оценить перспективу применения данного метода диагностики.

Ключевые слова: *тяговый электроподвижной состав, диагностика, высоковольтное оборудование, главный контролер, электромагнитное излучение, энергетич ный спектр, мера дефектности*

Natalia Chygyryk, PhD (Tech). (*Associate Professor, Ukrainian State University of Railway Transport*)

Andrii Sumtsov, PhD (Tech). (*Senior lecture, Ukrainian State University of Railway Transport*)

Ivan Vykhopen. (*Postgraduate student, Ukrainian State University of Railway Transport*)

Dmitry Yatsenko (*Student, Ukrainian State University of Railway Transport*)

DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT OF TRACTION ROLLING STOCK

A large amount of scientific research in the field of diagnostics of high-voltage electrical equipment installed on various types of power substations, has significantly improved the reliability and trouble-free operation of it. Particular attention is now being paid to the development of methods that ensure state monitoring under operating voltage. In contrast to the dynamic integrated fault diagnosis method, based on the Bayesian network, there is continuous, and more often automatic control, provided by analyzing dissolved gases, recording the physicochemical characteristics of insulation, measuring partial discharges, electrical parameters, and the like.

Diagnostic reliability is significantly improved by using several independent parameters of deterministic value. Their list also includes a diagnostic method based on an analysis of the spectra of the equipment's own electromagnetic radiation.

This work presents the results of testing the use of a diagnostic technique for high-voltage equipment of electric rolling stock by the spectrum of its own electromagnetic radiation under load, with a demonstration of the correlation between the defect and fluctuations in the radiation spectrum.

It is shown that noise can be caused both by the processes of electric current flow and by chaotic changes in other non-electrical parameters of the equipment, which will turn into changes in the values of currents and voltages. A diagnostic technique based on a noise emitting model allows one to evaluate the state of external and internal structural elements, thereby substantially deepening and increasing the reliability of diagnostics.

The purpose of the research is to determine the possibility of using the analysis of the spectra of the own electromagnetic radiation of high-voltage equipment of traction electric rolling stock to diagnose its technical condition during operation under load.

On the other hand, when monitoring electromagnetism of frequency, monitored by the first estimates of natural fluctuations of electromagnetism in frequency smugs, the value of the error is incorrect.

Measurements of the magnitude of electromagnetic radiation in the frequency bands when monitoring the technical condition of high-voltage equipment must be carried out quite often, so the monitoring system should be either stationary or portable measuring instruments should be available to the duty personnel serving the controlled units and have minimal training in performing measurement operations.

In the case of traction electric rolling stock, it is advisable to consider the development and implementation of stationary stands for the diagnosis of high-voltage equipment, which uses the method of analysis of its own electromagnetic radiation.

Keywords: traction electric rolling stock, diagnostics, high-voltage equipment, main controller, electromagnetic radiation, energy spectrum, defectiveness measure

УДК 629.4

А.В Недак
(аспирант, *Государственный университет инфраструктуры и технологий*)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Основываясь на технических характеристиках конструкции монорельсовой системы в статье описаны преимущества и недостатки данного транспорта, от этапа строительства до последующей его эксплуатации. Приведен сравнительный анализ монорельсовой системы с более популярными видами наземного и подземного транспорта. На основании собранных статистических данных, обозначено актуальность использования монорельсовой системы и положительные аспекты внедрения данного транспорта в уже существующую инфраструктуру, а также отмечены важные конструктивные особенности, которые следует учитывать при проектировании монорельсовой системы.

Ключевые слова: монорельсовый транспорт, система, конструкция, железнодорожный, эффективность, направляющая, пневматические шины, экология, безопасность.

Введение. Монорельсовая транспортная система может эффективно выполнять обязанности пассажирского и грузового общественного транспорта. Данный транспорт имеет высокий уровень безопасности – приподнятая конструкция позволяет монорельсовому транспорту не пересекаться с прочими транспортными системами и пешеходами, а также монорельсовое транспортное средство является экологически чистым, так как системы работают на электричестве, что в необходимой степени удовлетворяет высокие стандарты экологической эффективности. Дизайн монорельсовой системы предоставляет возможность с легкостью вписаться в существующую инфраструктуру, сохранив при этом эстетическую привлекательность окружающей среды, а конструктивные особенности способствуют сооружению системы в условиях местности, где нет возможности строительства соединения из традиционных транспортных систем.

Наиболее удачный и один из первых проектов - запущенная в эксплуатацию 1 марта 1901 году Вуппертальская подвесная дорога (нем. Wuppertaler Schwebebahn). Крутые вертикальные уклоны и существенные ограничения в радиусе для кривых участков пути, обусловленные местностью, исключили возможность прокладки на маршруте путей для железнодорожного или легкорельсового транспорта. Спустя сотни лет монорельсовая система продолжает функционировать, демонстрируя свою эффективность и целесообразность использования данного вида транспорта.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-7

Монорельсовая система имеет ряд недостатков: эксплуатация поездов в тяжёлых погодных условиях из-за использования пневматических шин в конструкции монорельсовой тележки; массивная конструкция стрелочного блока, которая проигрывает по скорости перевода железнодорожным стрелочным переводам; отсутствие стандартизации при разработке систем эвакуации пассажиров на данном транспорте, что является важным критерием безопасности.

Постановка проблемы и анализ последних исследований. Эффективность транспорта является двигателем прогресса и неотъемлемой составляющей экономики страны. Постоянный рост мировой экономики вносит свои коррективы и ставит новые вызовы перед существующими транспортными системами, требуя от них принципиальной реконструкции. На ряду с значительным ростом количества транспортных средств и уровнем загруженности дорог все больше возникает необходимость в альтернативных видах общественного транспорта. Так же существенное влияние оказывает процесс урбанизации, в результате которого существующая инфраструктура городов не справляется с возросшим спросом на системы транспортировки.

Более актуальной становится угроза изменения климата, на которое основное воздействие оказывают выбросы продуктов сгорания в атмосферу, четверть которых приходится на транспортный сектор. По этой причине к 2050 году «План развития Единственного Европейского транспорта» предусматривает: постепенное исчезновение с улиц городов автомобилей, работающих на привычных видах топлива (бензин, дизель, газ) за счет перехода на альтернативные, экологически чистые виды топлива (электричество и водород) и переход к альтернативным видам транспорта в сфере пассажирских перевозок средней дальности и грузовых перевозках дальнего соединения. Перечисленные методы позволят сократить выбросы углекислого газа на 60%, а также приведет к уменьшению нефтезависимости.

В 1989 году было основано сообщество “The Monorail Society” основной задачей, которого является повышение осведомленности о монорельсовом транспорте и его продвижение в транспортной индустрии. Численность сообщества насчитывает более 14000 членов из 104 стран, расположенных на 6-и континентах. Сейчас монорельсовый транспорт пользуется популярностью в таких странах как Япония, США, Германия, Китай, ОАЭ. Учеными было опубликовано множество работ посвященных данному транспорту: программы технологического развития общественного транспорта, основанные на техническом и операционном исследовании монорельсовой системы; сравнительный анализ монорельсового транспорта с прочими видами транспорта; предварительное проектирование системы и её интеграцией на местности; экономические модели, которые способны наглядно продемонстрировать экономическую обоснованность выбора данного транспорта; анализы воздействия на окружающую среду; описание того, как принципы управления системой влияют на производительность и конечную стоимость перевозок и т.д.

В настоящий момент ведутся работы по разработки новых линий и расширению существующих монорельсовых систем, где лидирующие позиции: Японский конгломерат Hitachi, Канадская машиностроительная компания Bombardier и производителем железнодорожных систем из Малайзии Monorail Malaysia (сейчас Scomi Rail). Единственная страна, в которой монорельсовый транспорт стандартизирован – Япония.

Несколько попыток по освоению монорельсового транспорта было предпринято и в Украине, однако предполагаемого результата не было достигнуто и проекты были закрыты, а экспериментальные треки, на которых проходили испытания, заброшены и забыты. Но несмотря на горький опыт при надлежащей оценке преимуществ и недостатков данной системы, все ещё стоит рассматривать целесообразность внедрения монорельсовой системы в отечественную инфраструктуру. Доказательством этому может свидетельствовать высокий уровень развития монорельсового транспорта в странах Азии, где сосредоточено около 324,37 километров, что свидетельствует об эффективности данной системы.

Цель и задачи исследования. Исследование основных технических характеристик монорельсовой системы, которое позволит определить преимуществ и недостатков данного транспорта. Определение эффективности и перспектив внедрения монорельсовой системы в отечественную инфраструктуру за счет сопоставления с железнодорожным, легкорельсовым и автодорожным транспортом. Анализ статистических данных по дорожно-транспортным происшествиям (ДТП) и оценка факторов выброса углекислого газа в атмосферу, которые позволят определить целесообразность внедрения монорельсового транспорта.

Основной текст. Конструкция монорельсовой системы имеет целый ряд существенных отличий от большинства известных нам видов транспорта, а технические характеристики дают возможность определить основные преимущества данного транспорта.

Низкие затраты на строительство и высокая скорость ввода в эксплуатацию достигнуты благодаря тому, что сборка монорельсовой дороги происходит непосредственно на месте установки с заранее подготовленных элементов. До минимума сокращено время на подготовительные работы: надземная конструкция системы позволяет избежать дорогостоящих и трудоемких работ, таких как в случае с метрополитеном, где необходимо выкапывать километровые туннели и переносить коммуникации. Минимизация затрат на строительство позволяет не нарушать повседневный городской образ жизни, не создавая ограничений для передвижения людей. По технологии монорельса SIPEM (H-Bahn) установка трех опор в законченном виде предусматривается за 6 рабочих дней.

Конструктивные особенности позволяют монорельсовым поездам преодолевать *кривые участки пути малого радиуса*, что позволяет ему легко вписаться в существующую инфраструктуру города. Минимальный радиус кривой в большинстве случаев равен 70 м, но при необходимости технология позволяет уменьшить радиус до 40 метров.

Таблица 1. Технические характеристики конструкции монорельсовой системы «Alweg» в кривом участке пути

Составной элемент	Hitachi Large Type	Monorail Malaysia	Bombardier MVI	Hitaci Small Type
Минимальный радиус кривой	70 м. (мин. 40 м.)	70 м. (мин. 40 м.)	45 м.	40 м.

Монорельсові системи демонструють очень *высокий уровень безопасности* при експлуатації. Незалежно від того якого типу монорельсовий транспорт (опорного або підвешного), сучасні технології, застосовувані при будівництві, роблять сход монорельсового поїзда практично неможливим. Направляюча монорельса припіднята над землею, що зводиться до нуля його зіткнення з наземними видами транспорту та пішоходами. Як показує будь-яке дослідження історії аварій, вуличні системи транспорту (трамваї, тролейбуси, автобуси та інші), маючи багато перехрестків, не можуть і близько наблизитися до такого рівня безпеки.

За даними патрульної поліції України в 2018 році сталося 150120 дорожньо-транспортних пригод (ДТП) з 24294 з них не обійшлося без постраждалих. Кількість загинувших в аваріях становило 3350 осіб, а 30884 осіб отримали травми. Основні причини, які призвели до пригод стали: зіткнення транспортних засобів – 9742 (40%); наїзди на перешкоди, стоячі транспортні засоби, пішоходів, велосипедистів – 14252 (52%); перекидання – 1436 (6%); інші ДТП – 2%.

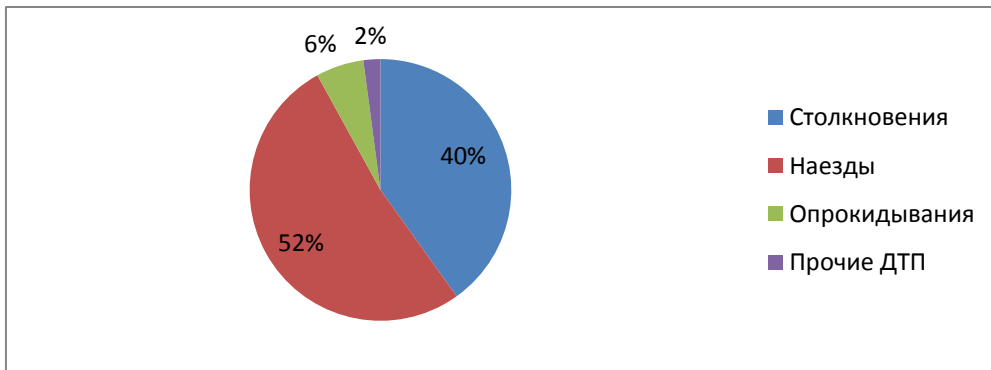


Рис. 1. Кількість ДТП, що сталися внаслідок зіткнення, наїзду, перекидання та інших випадків

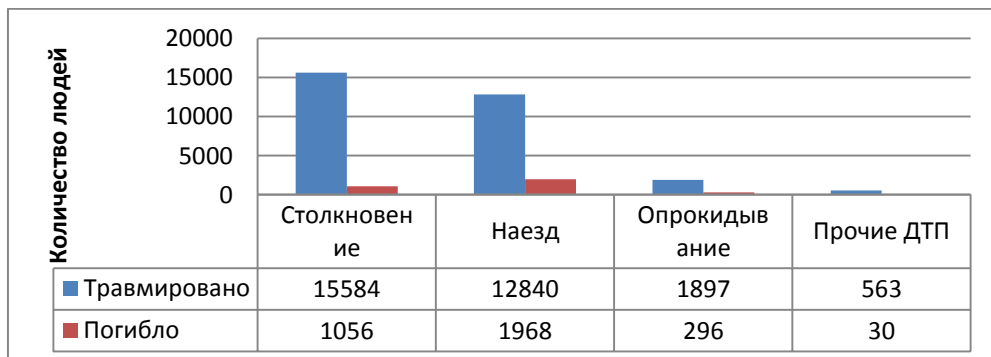


Рис. 2. Кількість людей, які були травмовані або загинули внаслідок ДТП

Следовательно, приподнятая конструкция монорельсового транспорта и полная автоматизация системы сводит к нулю количество наездов и столкновений между поездами с остальными участниками дорожно-транспортного движения. Использование наиболее популярной монорельсовой системы “Alweg” делает опрокидывание не возможным, так как в данном случае транспортное средство крепко обхватывает несущую балку. За 20 лет существования монорельсовой дороги в Сиднее не произошло ни одного несчастного случая со смертельным исходом.

Автоматизация монорельсовой системы представляют собой сложную комбинацию различных электрических и механических комплексных систем, в которые входят: системы механизмов (включения, выключения и переключения), которые предназначены для работы и взаимодействия всех элементов монорельсовой системы (транспортное средство, направляющая, стрелочные переводы); подстанции и системы ихнего контроля; системы связи, сигнализации, управления операциями и т.д.

Благодаря автоматизации движения поездов возрастает уровень эффективности и безопасности системы. Движение монорельсовых поездов происходит в автоматическом режиме и не требует значительных человеческих затрат, чем именно сводит к минимуму ошибки связанные с “человеческим фактором”. Система функционирует как единое целое, а движение монорельсовых поездов происходит по четко установленному графику, снижая при этом риски столкновения поездов между собой.



Рис. 3. Современная диспетчерская, в которой осуществляется контроль работы монорельсовой системы в Kuala Lumpur ¹¹.



Рис. 4. Монорельсовая дорога в городе Сидней (Австралия), представлена как часть многоэтажного здания ¹².

Многие считают, что конструкция монорельсовой системы имеет гораздо более *привлекательный эстетический вид* нежели остальные виды транспорта и это ярко прослеживается при его сравнении с приподнятой железнодорожной или легкорельсовой конструкцией. Их элегантный дизайн прекрасно сочетается с современной городской средой (рис. 4). Агентство ответственное за проектирование монорельсовой дороги в Сиэтле планировало использовать округлые колонны, которые могли прекрасно подчеркнуть контуры городского пейзажа. Столбы прямоугольной формы можно увидеть в системах, разработанных компанией Bombardier. Использовать колонны в виде скульптурных элементов - такой дизайн предложила компания Hitachi, в то время, когда работала над

проектированием монорельсовой линии в Куала-Лумпур. Прямоугольные, слегка изогнутые колонны позволяют создать элегантную колоннаду.

Строительство монорельсовых дорог позволяет сохранить оазисы городской природы – не нужно закатывать под асфальт газоны и вырубать кустарники. Обзорность шире по всем сторонам движения из-за поднятия транспортных линий на определённую высоту. По этой причине многие виды монорельсов рассматриваются как основной кандидат на обзорно-экскурсионный транспорт в парках развлечений и других рекреационных территориях.

Важным является *экологичность* данного транспорта. Большинство монорельсовых систем работают на электрическом питании, благодаря чему не производят выбросы вредных веществ в окружающую среду. По воздействию на окружающую среду монорельсовый транспорт можно сравнивать разве что с троллейбусом, который не загрязняет атмосферу своими выбросами.

В результате сгорания топлива в 2016 году мировые выбросы CO_2 составили 32,31 Гт. Если сравнивать этот показатель с полученными данными за 2000 год, за счет роста производства то количество выбросов выросло примерно на 40%. На транспортный сектор приходится приблизительно четверть (24%) всех выбросов CO_2 . Основное количество выделяется автотранспортом – 5,738256 Гт (74 %), дальше идут воздушный транспорт – 0,930528 Гт (12 %), водный – 0,852984 (11 %) и 0,232632 (3 %) приходится на остальные виды транспорта, такие как железнодорожный, трубопроводный и прочие, которые не подходят ни под одну из вышеперечисленных категорий.



Рис. 5. Глобальные выбросы CO_2 по секторам экономики, 2016 г.



Рис. 6. Выбросы CO_2 в транспортном секторе экономики, 2016 г.

Изучив негативные факторы, способствующие загрязнению окружающей среды, страны Европейского союза (ЕС) пытаются минимизировать негативное влияние на окружающую среду, уменьшив количество выбросов парниковых газов в

атмосферу за счет модернизации транспорта и инфраструктуры путем перехода на альтернативные источники питания – электричество.

В 2007 году монорельс Лас-Вегаса помог сократить количество автомобильного транспорта примерно на 3,2 миллионах миль основных дорог Южной Невады, благодаря чему удалось в течение одного года сократить выбросы в атмосферу более чем на 58 тонн: угарного газа (CO_2), летучих органических соединений (VOC) и оксидов азота (NO).

Большинство монорельсовых систем используют вагон, которые оснащены колёсами с пневматическими шинами, что является ещё одним важным конструктивным отличием между монорельсом и традиционными транспортными системами.



Рис. 7. Конструкция тележки, которую используют в железнодорожном и легкорельсовом транспорте

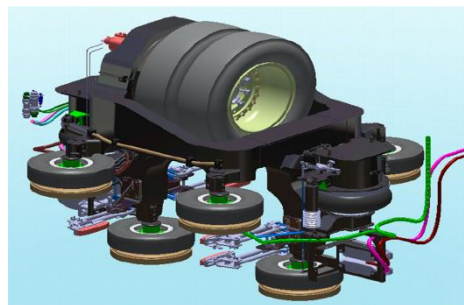


Рис. 8. Монорельсовая тележка (разработка компании Bombardier)

Использование колёс с пневматическими шинами имеет ряд преимуществ и недостатки данного технологического решения:

- использование пневматических шин приводит к значительным затратам электричества, так как движение по бетонной направляющей имеет большое сопротивление качению и инерцию вращения в отличие от традиционного железнодорожного транспорта, где используют металлические колёса. Разница в количестве потребляемой энергии между монорельсом и железнодорожным транспортом зависит от множества факторов и поэтому на точное количество указать невозможно, по некоторым подсчетам разница составляет около 25-30%;

- теоретически поезда на пневматических шинах могут преодолевать участки пути с более крутыми уклонами. На монорельсовой линии Тома Тосхи уклон пути составляет 10% (однако разработчики утверждают, что при необходимости данный показатель можно увеличить), тогда как при проектировании железнодорожной линии для безопасного движения поездов уклон не должно превышать на скоростных и пассажирских линиях – 40‰ [СНиП 32-01-95]. Но как показывает практика, данный показатель не может считаться значительным преимуществом, потому что влечёт за собой значительные затраты на электричество и необходимость в установке более мощного двигателя, что приведет к снижению уровня комфорта пассажиров;

- пневматические шины, в отличие от металлических, более восприимчивы к погодным условиям таким как снег и лёд. Поэтому в зимний период

направляющую необходимо постоянно нагревать, а это влечёт за собой дополнительные затраты на содержание системы. Выходом из этой ситуации служит монорельс системы Safege, где движение колёс происходит внутри направляющей и защищены от погодных условий;

– монорельсовые поезда, которые используют пневматические шины, как правило, более тихие в отличие от железнодорожных, что особенно заметно в кривых участках пути, где даже применением лучших железнодорожных технологий не позволяют поезду, и близко приблизится к уровню бесшумности монорельсового транспорта. В случае с системой Safege, на уровень шума дополнительное влияние оказывает направляющая, которая делает их практически бесшумными.

Важной задачей перед внедрением любого из видов транспорта в инфраструктуру, является оценка всех *недостатков*, которые могут возникнуть при строительстве и эксплуатации транспортной системы. Предварительный анализ позволит максимально уменьшить воздействие выявленных недостатков и скоординировать работу по их устранению в будущем. Монорельсовая система не является исключением и ниже описано несколько важных недостатков присущих данному виду транспорта.

Так как во время движения транспортного средства работают три поверхности направляющей, это обуславливает необходимость *учитывать технические характеристики каждого кривого участка пути для изготовления балок*.

Ещё одним недостатком монорельса является стрелочный перевод, в виду его массивной конструкции. Из-за своего веса и размера монорельсовые *стрелочные переводы (блоки)*, которые за скоростью смены направления уступают стрелочным переводам, действующим на железнодорожном транспорте. Если для перевода железнодорожной стрелки понадобится меньше одной секунды, то для монорельсовой стрелки это время составляет 15 – 30 секунд (зависит от использованной системы).



Рис. 9. Переключение гибкой монорельсовой системы, стрелочный блок в трех разных положениях

Эвакуация пассажиров. Приподнятая структура монорельсовой системы делает невозможным столкновение поездов с наземным транспортом и прохожими, но в свою очередь создает некоторые проблемы для эвакуации пассажиров. Единых стандартов, принятых для решения данной проблемы, не существует. Большое разнообразие монорельсовых систем за конструкцией, техническими характеристиками и отсутствие жестких стандартов обусловили использование различных методов эвакуации пассажиров:

- подвесные монорельсовые поезда зачастую оборудованы дверью в полу, которая ведет к лестнице или трапу как в случаях с самолётами;
- в соответствии со стандартами, которые приняты для монорельсов Японии, все вагоны поезда должны быть объединенными в единое транспортное средство, что позволит производить эвакуацию через переднюю и заднюю часть поезда на заранее подготовленные поезда;
- малоазийская система позволяет производить эвакуацию через боковые двери на соседний поезд;
- старые американские системы использовали другой поезд, чтобы транспортировать первый на станцию (Рис. 11), но если такой возможности не было – эвакуация производилась с земли по лестнице;



Рис. 10. Тягач буксирует монорельсовый поезд в парке развлечений «Disney World».

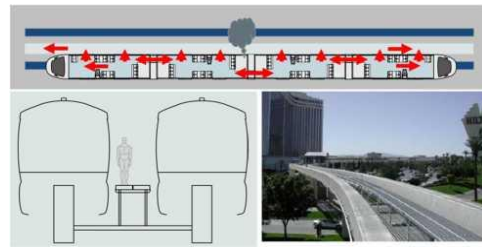


Рис. 11. Схема эвакуации пассажиров из вагона на аварийную дорожку между направляющими

- монорельс Лас-Вегаса оборудован аварийным переходом между балками (направляющими), который позволяет произвести эвакуацию пассажиров.

Выводы. Монорельсовый транспорт способен содействовать решению транспортных проблем и дополнить существующую транспортную инфраструктуру. Как и большинство современных транспортных систем монорельсовая имеет явные преимущества и недостатки, связанные с техническими характеристиками, а сравнительный анализ с прочими видами транспорта предоставляет возможность определить эффективность и актуальность интеграции монорельсовой системы в существующую инфраструктуру. Среди основных преимуществ монорельсового транспорта: низкие затраты на строительство, высокая скорость ввода в эксплуатацию и технические характеристики конструкции монорельсовой системы, которые позволяют монорельсовому транспорту адаптироваться под любой тип местности - преодолевать кривые участки пути малого радиуса и резкие вертикальные уклоны оставаясь при этом практически бесшумным.

Наиболее важными показателями монорельсового транспорта является высокий уровень безопасности и экологичность. На уровень безопасности системы существенное влияние оказывает тот факт, что монорельсовая система имеет приподнятую несущую конструкцию, что не позволяет пересекаться с остальными видами транспорта и пешеходами существенно повышая уровень безопасности. Основными причинами ДТП являются: столкновение 9742 (40%), наезды 14252 (52%) и 1436 (6%) произошло в результате опрокидывания, которое исключается за счет конструкции: в случае с подвесными монорельсовыми системами – транспортное средство плотно обхватывает направляющую балку, сводя к нулю

возможность схода или опрокидывания, а что касается подвесных систем – опрокидывание вообще невозможно.

Угроза изменения климата основной причиной, которого является выбросы продуктов сгорания в атмосферу, 24 % (7,7544 Гт.) которых приходится на транспортный сектор, заставляет отказываться от привычных нам видов топлива (бензин, дизельное топливо) в пользу экологически чистых источников питания. Работа монорельсового транспорта на электричестве несет меньше негативного воздействия на окружающую среду, а приподнятая конструкция монорельсовой системы более эстетически привлекательная в виду меньших габаритов конструкции, в отличии от приподнятой железнодорожной и легкорельсовой.

Не стоит забывать и о недостатках, к которым относятся такие факторы: высокая восприимчивость к погодным условиям (снег, лед) в том случае если используются колёса с пневматическими шинами; кроме стационарных прямолинейных балок возникает необходимость в изготовлении балок для кривых участков пути, которые в каждом отдельном случае имеют индивидуальную форму, что создает дополнительные трудности при изготовлении; громоздкая конструкция стрелочного блока осуществляет перевод из одного направление в другое медленнее, чем того требует железнодорожный стрелочный перевод; монорельсовые системы не имеют однозначной модели эвакуации пассажиров, что вызывает некие затруднения в эффективной и быстрой эвакуации.

Как следует из всего вышеперечисленного монорельсовая транспортная система ни в коем случае, не может стать панацеей в решении всех транспортных проблем, однако данная система является довольно эффективной в вопросах грузовых и пассажирских перевозках, а её внедрение будет способствовать улучшению транспортной инфраструктуры и повышению качества услуг во всех сферах деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт монорельсового сообщества [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.monorails.org.
2. Сайт японской монорельсовой ассоциации. (2016). Monorails Future of Urban Travel. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.nihon-monorail.or.jp>.
3. Nobuhiko Kimijima, Sang-Jae Kim, Kazuya Furuta, Tomoyuki Sakatsume Daegu (2017). Urban Railway Line 3 Monorail System in South Korea. Hitachi Review Vol. 66, No. 2.
4. Сайт транспортной компании «Hitachi Railway Systems» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.hitachi-rail.com/products/rol_ling_stock/monorail/index.html.
5. Leroy W. Demery, Jr. (2005). Monorails in Japan: An Overview publictransit.us Special. [Электронный ресурс]. Report No. 9 June 22. - Режим доступа: https://ziladoc.com/download/monorails-in-japan-an-overview_pdf.
6. Christos N. Pyrgidis. (2016). Railway Transportation Systems Design, Construction and Operation – Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
7. Patrick Miller, Lina Kattan, S.C. Wirasinghe, Alexandre De Barros. (2014). Monorails for sustainable transportation – a review. Conference Paper.
8. LIU Xi, SUN Huan, LIU Fang-gang. (2014). Study on the Application and Development of Monorail Transit System International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 3 Issue.
9. Ryan R. Kennedy Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.monorails.org/webpdx%202/RyanRKennedy.pdf>.
10. Сайт патрульной полиции Украины [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://patrol.police.gov.ua/ru/statystyka/>.
11. Сайт монорельсового сообщества «An ultra-modern control room allows technicians to monitor all aspects of operations» [Электронный ресурс] - 2006. - Режим доступа: <http://www.monorails.org/tMspecial/KLspecial03.html>

12. Галерея сайту monorails.info [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://monorails.info/images/gallery/Oceania/Sydney_Monorail_Chinatown.jpg.
13. Corporate author(s): Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission). (2011). White paper on transport [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bfaa7afd-7d56-4a8d-b44d-2d1630448855/language-en>.
14. International Energy Agency. (2017). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 Highlights [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/CO2_Emissions_fromFuelCombustionHighlights2017.pdf.
15. C I Crăciun, M A Spiroiu and B Voiculescu Monorail - an alternative solution for the urban transport in Romania Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP - Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 444, Automotives. Engine and Transmission. Road Safety.
16. Wafi Adam Bakhit Mabrouk. (2015) Development of mathematical model for monorail suspension system under different track conditions. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia: a thesis for the award of the Degree of Master of Science in Railway Engineering / W.A.B. Mabrouk. – 2015.
17. Tarighi. A, (2011). Muto-Criteria feasibility assessment of the monorail. Middle East Technical University: a thesis for the degree of Master of Science in Industrial Engineering / Tarighi Amin. – 2011. - 188 p.
18. Peter E. Timan (2015). Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40864-015-0001-1.pdf>.
19. Ghafooripour. A. Ogwuda. O. & Rezaei. S. An efficient cost analysis of monorail in the Middle East using statistics of existing monorail and metro models. Urban Transport XVIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, 18. 128-241.
20. M. Hamurcu, T. Eren, (2017). Selection of monorail technology by using multicriteria decision making [Електронний ресурс]. Publications Prepared for Transist (2016), 9th International Istanbul Transport Congress. - С. 303-314. - Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Mustafa_Hamurcu2/publication/325966414_Research_Article_SELECTION_OF_MONORAIL_TECHNOLOGY_BY_USING_MULTICRITERIA_DECISION_MAKING/links/5b308cdfa6fdcc8506cb9340/Research-Article-SELECTION-OF-MONORAIL-TECHNOLOGY-BY-USING-MULTICRITERIA-DECISION-MAKING.pdf.
21. Галерея сайту monorails.info [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://monorails.info/images/gallery/North_and_South_America/WDW-Monorail-Work-Tractor-3.jpg.

REFERENCES

1. Site of the Monorail Society. www.monorails.org. Retrieved from www.monorails.org/ru [in Russian].
2. Site of the Japan Monorail Association. «*Monorails Future of Urban Travel*». <http://www.nihon-monorail.or.jp>. Retrieved from <http://www.nihon-monorail.or.jp> [in Russian].
3. Nobuhiko Kimijima, Sang-Jae Kim, Kazuya Furuta, Tomoyuki Sakatsume Daegu (2017). *Urban Railway Line 3 Monorail System in South Korea*. Hitachi Review Vol. 66, No. 2.
4. Site of transport company. Hitachi-Rail.com. Retrieved from https://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/index.html [in Russian].
5. Leroy W. Demery, Jr. (2005). Monorails in Japan: An Overview publictransit.us Special. Report No. 9 June 22. Retrieved from https://ziladoc.com/download/monorails-in-japan-an-overview_pdf [in Russian].
6. Christos N. Pyrgidis. (2016). *Railway Transportation Systems Design, Construction and Operation – Aristotle University of Thessaloniki, Greece* [in Russian].
7. Patrick Miller, Lina Kattan, S.C. Wirasinghe, Alexandre De Barros. (2014). *Monorails for sustainable transportation – a review*. Conference Paper [in Russian].
8. LIU Xi, SUN Huan, LIU Fang-gang. (2014). *Study on the Application and Development of Monorail Transit System* International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 3 Issue [in Russian].
9. Site of the Monorail Society. www.monorails.org. Ryan R. Kennedy «*Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities*» Retrieved from <http://www.monorails.org/webpix%202/RyanRKennedy.pdf> [in Russian].
10. Site of Patrol Police of Ukraine. <http://patrol.police.gov.ua>. Retrieved from <http://patrol.police.gov.ua/ru/statystyka/> [in Russian].
11. Site of the Monorail Society. «An ultra-modern control room allows technicians to monitor all aspects of operations». www.monorails.org. Retrieved from <http://www.monorails.org/tMspages/KLspecial03.html> [in Russian].

12. Gallery of site. <https://monorails.info>. Retrieved from https://monorails.info/images/gallery/Oceania/Sydney_Monorail_Chinatown.jpg [in Russian].
13. Corporate author(s): Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission). (2011). White paper on transport. <https://ec.europa.eu>. Retrieved from <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bfaa7afd-7d56-4a8d-b44d-2d1630448855/language-en> [in Russian].
14. International Energy Agency. (2017). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 Highlights. <http://www.indiaenvironmentportal.org.in>. Retrieved from <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf> [in Russian].
15. C I Crăciun, M A Spiroiu and B Voiculescu *Monorail - an alternative solution for the urban transport in Romania* Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP - Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 444, Automotives. Engine and Transmission. Road Safety [in Russian].
16. Wafi Adam Bakhit Mabrouk. (2015) *Development of mathematical model for monorail suspension system under different track conditions*. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia: a thesis for the award of the Degree of Master of Science in Railway Engineering / W.A.B. Mabrouk. – 2015 [in Russian].
17. Tarighi. A, (2011). *Muto-Criteria feasibility assessment of the monorail*. Middle East Technical University: a thesis for the degree of Master of Science in Industrial Engineering / Tarighi Amin. – 2011. - 188 pages [in Russian].
18. Peter E. Timan (2015). Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas. <https://link.springer.com> Retrieved from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40864-015-0001-1.pdf> [in Russian].
19. Ghafooripour. A. Ogwuda. O. & Rezaei. S. *An efficient cost analysis of monorail in the Middle East using statistics of existing monorail and metro models*. Urban Transport XVIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, 18. 128-241 [in Russian].
20. M. Hamurcu, T. Eren, (2017). Selection of monorail technology by using multicriteria decision making [Электронный ресурс]. *Publications Prepared for Transist (2016), 9th International Istanbul Transport Congress*. 303-314. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Mustafa_Hamurcu2/publication/325966414_Research_Article_SELECTION_OF_MONORAIL_TECHNOLOGY_BY_USING_MULTICRITERIA_DECISION_MAKING/links/5b308cdfa6fdcc8506cb9340/Research-Article-SELECTION-OF-MONORAIL-TECHNOLOGY-BY-USING-MULTICRITERIA-DECISION-MAKING.pdf [in Russian].
21. Gallery of site. <https://monorails.info>. Retrieved from https://monorails.info/images/gallery/Oceania/Sydney_Monorail_Chinatown.jpg [in Russian].

Andrii Nedak,

(Postgraduate of State University of Infrastructure and Technologies)

RESEARCH THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF MONORAIL TRANSPORT

Drawing on the technical characteristics of the monorail system design in article describes the advantages and disadvantages of this transport. Was noted important design features which assure should be considered when designing monorail system. It was shown what due to the simplicity of its structure monorail system requires much less time for construction and has a more aesthetic appearance as opposed to elevated design of railway or light rail vehicles. Most monorail wagon equipped with pneumatic tire, unlike the rail bogie with the metal wheels, that to a great extent reflected during operation. Provided the comparative analysis of monorail system with more popular types of ground and underground transport. Based on the statistics data collected indicated the relevance of using the monorail system and positive aspects of the implementation this transport. A detailed analysis of the ecological situation points to the urgent need to reduce emissions in the transport sector, which will be facilitated by the transition to systems operated on electrical feeding. The research of road traffic accidents from 2018 on the example of Ukraine indicates a large number of accidents caused by the collisions and hit-and-run, which can be avoided by introduction the monorail transport, because the system is

arranged in such a way trains do not intersect with other road traffic accidents. The full automation of movement provides a high level of security on this type of transport. Several important shortcomings of this transport were identified, the analysis of which the enabling reduce of negative influence and coordinate the working towards their removal in the future. The practical importance of article lies in the fact that the information obtained can be used in the implementation of monorail transport. The research on this subject has prospects in the direction of improving domestic infrastructure and enhance the quality of passenger traffic.

Keywords: monorail transport, system, construction, railway, efficiency, guide, pneumatic tires, ecology, safety.

А.В Недак

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ МОНОРЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ

Грунтуючись на технічних характеристиках конструкції монорейкової системи в статті описані переваги та недоліки даного транспорту. Відзначені важливі конструктивні особливості, які неодмінно слід враховувати при проектуванні монорельсової системи. Було показано, що через простоту своєї будови монорейкова система потребує значно менше часу на будівництво та має більш естетичний зовнішній вигляд ніж піднята конструкція залізничного або легкорейкового транспорту. Більшість монорейкових візків обладнані пневматичними шинами, на відміну від залізничного візка з металевими колесами, що значною мірою проявляється під час експлуатації. Приведено порівняльний аналіз монорельсової системи з більш популярними видами наземного та підземного транспорту. На підставі зібраних статистичних даних, визначено актуальність використання монорельсової системи і позитивні аспекти впровадження даного транспорту. Детальний аналіз екологічної ситуації свідчить про нагальну необхідність у зменшенні викидів в транспортній сфері, чому саме сприятиме перехід до систем які працюють на електричному живленні. Дослідження дорожньо-транспортних пригод за 2018 на прикладі України вказує на високу кількість ДТП через зіткнення та наїзди, котрих можна уникнути завдяки впровадженню монорейкового транспорту, оскільки система влаштована таким чином, що поїзди під час руху не перетинаються з іншими учасниками дорожньо-транспортного руху. Повна автоматизація руху забезпечує високий рівень безпеки на даному виді транспорту. Виділено декілька важливих недоліків даного транспорту аналіз яких дозволить зменшити негативний вплив і скоординувати роботу, що до їх усунення в майбутньому. Практичне значення статті полягає в тому, що отримана інформація може бути використана при впровадженні монорейкового транспорту. Дана тематика дослідження має перспективи у напрямку покращення вітчизняної інфраструктури та підвищення якості пасажирських перевезень.

Ключові слова: монорейковий транспорт, система, конструкція, залізничний, ефективність, напрямна, пневматичні шини, екологія, безпека.

УДК 629.463.65

*Олексій Вікторович Фомін, д.т.н., проф.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний
університет інфраструктури та технологій, м. Київ)*
*Павло Миколайович Прокопенко,
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний
університет інфраструктури та технологій, м. Київ)*
*Микола Іванович Горбунов, д.т.н., професор
(професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний
транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський
національний університет імені В. Даля)*
*Сергій Сергійович Сова
(аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та
підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний
університет ім. В. Даля, м. Сєверодонецьк)*

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВАГОПОВІРОЧНИХ ВАГОНІВ З ТЕРМІНОМ СЛУЖБИ, ЯКИЙ ПЕРЕВИЩУЄ ПРИЗНАЧЕНИЙ

У даний час значна кількість одиниць вагоповірочних вагонів колії 1520 мм в Україні має термін служби, який перевищує призначений заводом – виробником. У той же час багаторічний досвід діагностування спеціалізованими організаціями технічного стану вантажних та вагоповірочних вагонів після тривалої експлуатації показує, що зазначений в технічних умовах призначений строк служби у більшості випадків далекий від граничного. Багато в чому це пов'язано, як з істотним запасом міцності, який закладений при проектуванні, так і з особливостями експлуатації конкретного типу вагонів.

Ключові слова: вагоповірочні вагони, контрольні випробування, ресурс, технічне діагностування.

Вступ. В даний час значна кількість одиниць вагоповірочних вагонів колії 1520 мм в Україні має термін служби, який перевищує призначений заводом – виробником. У той же час багаторічний досвід діагностування фахівцями НВЦ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» технічного стану вантажних та вагоповірочних вагонів після тривалої експлуатації показує, що зазначений в технічних умовах призначений строк служби у більшості випадків далекий від граничного. Багато в чому це пов'язано, як з істотним запасом міцності, який закладений при проектуванні, так і з особливостями експлуатації конкретного типу вагонів.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-8

Забезпечення безпечних та своєчасних вантажних перевезень – одне з головних завдань залізничного транспорту. У зв'язку з цим, коли в кінці минулого століття став проявлятися дефіцит вантажного рухомого складу, в тому числі спеціалізованого, а також з урахуванням технічних і економічних труднощів його оновлення після закінчення призначеного строку було прийнято рішення про часткову відмову від регламентованих призначених строків служби для одиниць рухомого складу, індивідуальний ресурс яких дозволяв вирішити їх подальшу безаварійну експлуатацію.

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку спеціалізованих вагонів. Парк вагоповірочних вагонів має більше ніж 50 % вагонів, які відслужили полуторний або більше полуторного строку експлуатації.

Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації вагоповірочних вагонів з терміном служби, що перевищує не тільки призначений, а і полуторний проводиться їхнє технічне діагностування та контрольні випробування.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. На сьогодні питанням дослідження залишкового ресурсу несучих конструкцій вагоповірочних вагонів з терміном служби який перевищує встановлений заводом виробником приділено не достатню увагу. Так в роботі [1] наведено результати досліджень несучої здатності напіввагонів моделі 12-9745. Проте метою таких досліджень було відшукування конструктивних резервів зі зниження матеріалоемності цієї моделі вагонів. І відповідно несуча здатність конструкції кузова з імітацією характерних для 1,5 строку експлуатації зносів не досліджувалась. В статті [2] наведено перспективи удосконалення конструкцій напіввагонів, в тому числі і шляхом збільшення строку експлуатації. Однак збільшення строку експлуатації напіввагонів пропонується досягати шляхом удосконаленням їх конструктивних властивостей, наприклад за рахунок впровадження матеріалів з поліпшеними характеристиками. Аналіз властивостей конструктивних матеріалів кузовів вагонів нового покоління наведений в [3]. В роботі зазначені переваги використання нових прогресивних матеріалів для окремих складових конструкцій вагонів. Однак питанням подовження реалізації такого напрямку при подовженні строку експлуатації напіввагонів не приділену увагу. Заходи щодо удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення надійності його кріплення на палубі залізничного порому наведені у [4, 5]. Розрахунок проведений у середовищі програмного забезпечення MSC Adams. Дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося при його вписуванні у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху. Питання оцінки точності пропускної спроможності залізничних мереж, що призначені для перевезення сировини та готової продукції гірнично-металургійної промисловості наведені у [6, 7]. Конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень розглянуті у [8]. Вагон має понижено середню частину, а наявність оборотної частини дає можливість здійснювати завантаження/вивантаження автотехніки на/з нього самокатом. В роботі [9] наведено результати досліджень з визначення характеру та рівня впливу різних вантажних візків на міцнісні якості несучих систем вагонів. Однак, в задачі такого дослідження не включались питання визначення відповідного впливу на кузови, які експлуатуються поза нормований строк. В дослідженнях [10, 11] аналізувались особливості руху та взаємодії одиниць нового рухомого складу. А відповідні дослідження для одиниць з показниками, які відображають експлуатаційний знос не проведені. Підсумовуючи результати наведеного вище аналізу можна

відзначити, що на теперішній час питання щодо можливостей продовження строку експлуатації несучих конструкцій вагоповірочних вагонів у повному обсязі не вирішувались. З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій вагоповірочних вагонів.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – вирішення науково-практичного завдання зі створення теоретичних положень з особливостей оцінки та визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагоповірочних вагонів.

Метою технічного діагностування та контрольних випробувань є дослідження залишкового ресурсу та обґрунтування можливості продовження експлуатації вагоповірочних вагонів (в тому числі тривісних візків) з вичерпаним призначеним терміном служби, встановлення величини продовженого терміну служби.

Завданням контрольних випробувань є експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагону вимогам діючих нормативних документів.

Контрольні випробування включають:

- статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження;
- скидання з клинів;
- типові випробування на міцність при зіткненні.

Завданням типових випробувань міцності при зіткненні є визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в несучих конструкціях рами та кузова вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

Завданням ходових міцнісних випробувань візка 18-102 є визначається напруження (деформації) у досліджуваних перерізах і точках елементів візка.

Особливостями проведення комплексу робіт з визначення залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів є:

- вагоповірочні вагони виконані на базі наступних вагонів: ВПВ-188 виконаний на базі вагона-платформи 13-401 ВПВ 640 виконаний на базі шестивісного напіввагона 12-П152, ВПВ-207 виконаний на базі вагона моделі 11-276. З цього слідує, що при технічному діагностуванні необхідно приділяти додаткову увагу місцям де конструкція базового вагона змінена;
- середньо-добові пробіги вагоповірочних вагонів на 60-70% менші за пробіги вантажних вагонів на базі яких виконані вагоповірочні вагони;
- відмінності в особливостях експлуатації вагоповірочних вагонів.

Вище зазначені особливості необхідно враховувати під час визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагоповірочних вагонів та візків УВЗ-9М.

Матеріали та методи дослідження. Типовими представниками спеціалізованого рухомого складу який використовується для технічного та метрологічного обслуговування вагонних ваг та ін.. є вагоповірочні вагони моделей: ВПВ-188 (рис 1), ВПВ-640 з візками УВЗ-9М (рис 2), ВПВ-207 (рис 3).



Рис. 1. Вагоповірочний вагон моделі ВПВ-188



Рис. 2. Вагоповірочний вагон моделі ВПВ-640



Рис. 3. Вагоповірочний вагон моделі ВПВ-207

Вагоповірочні вагони призначені для технічного та метрологічного обслуговування власних та приписних вагонних ваг. У вагонах встановлено дизельна станція, що виробляє електричний струм напругою 220/380 В для живлення електроталі. Її використовують для підйому і опускання зразкових гирь. Електроталь пересувається по висувному монорельсу. Вагон може підключатись до електромережі на місці його установки.

Комплекс робіт з визначення залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів та тривісного візка UB3-9М включає в себе: обстеження технічного стану несучих конструкцій вагона та візків UB3-9М; зважування вагона; скидання з клинів; ударні випробування (типові); ходові міцнісні випробування візка UB3-9М.

При контролі технічного стану основних несучих елементів вагона та візків моделі UB3-9М підлягають виявленню наступні передбачувані несправності: деформації, злами, зноси, вигини, прогини, корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, тріщини.

При обстеженні візків візуальним та магнітопорошковим методом контролю виявляють несправності та дефекти елементів візків: деформації, злами, зноси, вигини, прогини, корозія, обриви, ослаблення кріплення вузлів і деталей, пробоїни, тріщини.

При проведенні типових випробувань на співудар вимірюються такі показники: швидкість набігання вагона-бойка; сила удару в автозчеп; деформації в елементах вагона, які досліджуються.

При проведенні ходових міцнісних випробувань візка моделі 18-102 визначається напруження (деформації) у досліджуваних перерізах і точках елементів візка.

Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Під колеса вагона в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його накату на клин.

Типові випробування на співудар для визначення міцності елементів конструкції вагона проводяться в світлий час доби на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії за допомогою локомотива. Крім локомотива при цьому використовується наступне обладнання:

- вагон-бойок для 4-х вісного дослідного вагона масою близько 50 т, для 6-ти вісного дослідного вагона масою близько 80 т;
- підпірне обладнання з трьох-чотирьох загальмованих вантажних вагонів загальною масою не менше 300 т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками. Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, відбувається шляхом наклеювання тензорезистора на корпус штатного автозчепного пристрою дослідного вагона з подальшим розрахунком та визначенням поздовжніх зусиль з використанням розробленої 3-Д моделі штатного автозчепного пристрою дослідного вагона.

Співудари при типових випробуваннях проводять за швидкостями (табл. 1).

Таблиця 1. Кількість співударів вагона в кожному інтервалі швидкості при знаходженні вагона в підпертому та вільному станах при типових випробуваннях

Діапазон швидкості зіткнення та повздовжня сила, яка діє на вагон.	Кількість співударів	
	Підпертий стан	Вільний стан
Від 3 до 6 км/год, ≈ 80 – 130 т	3	3
Від 6 до 10 км/год ≈ 130 – 190 т	3	3
Від 10 до 12 км/год ≈ 190 – 250 т	1	1

Ходові міцнісні випробування, візка УВЗ-9М, з визначенням напруження (деформації) у досліджуваних перерізах і точках елементів проводять на прямих та кривих ділянках колії, стрілочних переводах в режимах тяги, вибігу та гальмування. Випробування виконуються в умовах реальної експлуатації вагону.

На рис. 4 наведена спрощена схема установки тензорезисторів на візку УВЗ-9М при проведенні ходових міцнісних випробувань.

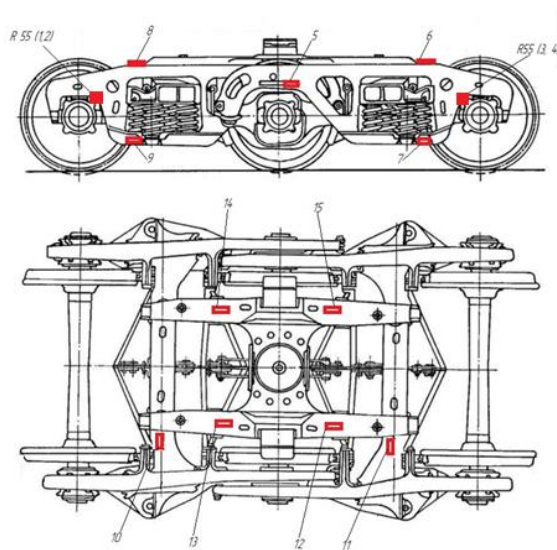


Рис. 4. Спрощена схема установки тензорезисторів

Далі наведений розрахунок залишкового ресурсу вагона.

Вибір режиму випробувань на ресурс, обробка і оцінка результатів випробувань виоконуюється на основі:

– лінійної гіпотези суми пошкоджень;

– кривої втоми у напруженнях: $\sigma_i^m N_i = \text{const}$, де N_i – кількість циклів коливаний з амплітудою σ_i , m – показник степені.

При визначенні залишкового строку служби вагона враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають в процесі експлуатації. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{aN}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{cl} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{clI} \cdot \sum_k (\sigma_{aj}^{II})^m \cdot P_j^I + P_k^{II}} \quad (1)$$

де T_p - розрахунковий залишковий строк служби вагона, роки;

σ_{aN} – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів, МПа;

m – показник ступеня в рівнянні кривої втоми. Для зварних конструкцій із прокату без зміцнюючої обробки швів згідно $m=4$;

$[n]$ мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми для вибраної зони вагона, $[n]=1,4$;

N_0 – базове число циклів, $N_0=10^7$;

N_{cl} N_{clI} – число циклів за 1 рік експлуатації для кожного із експлуатаційного навантаження (вертикального та поздовжнього);

σ_{aj}^I σ_{aj}^{II} – амплітуди динамічних напруг, приведених до симетричного циклу для кожного із експлуатаційних навантажень та їх діапазонів, МПа;

P_j – ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj} .

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^- (1 - z_p \nu), \quad (2)$$

де z_p – квантиль розподілення, відповідаючий односторонній ймовірності 95%, $z_p = 1,645$;

ν – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

для зварних рам і балок з листового і фасонного прокату при автоматичній зварці під слоєм флюса і в середині захисного газу $\nu = 0,05$;

також при напівавтоматичному і ручній зварці $\nu = 0,07$;

σ_{aN}^- – середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}^-}{(K_{\sigma}^-)_k},$$

σ_{-1}^- – середнє значення порога витривалості гладкого стандартного зразка із матеріала рами при симетричному циклі згину на базі N_0 .

$(K_{\sigma}^-)_k$ – середнє значення коефіцієнта зниження порога витривалості рами по відношенню до порога витривалості гладкого стандартного зразка, $(K_{\sigma}^-)_k = 4,5$.

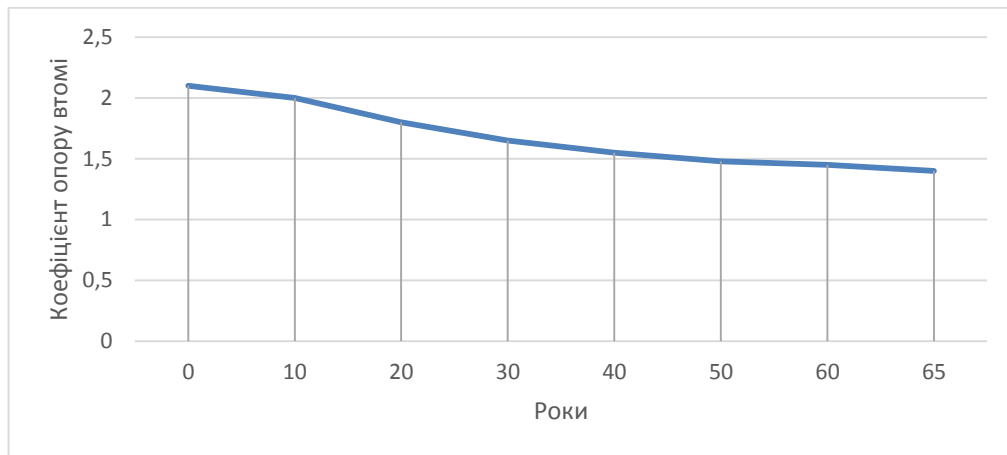


Рис. 5. Залежність коефіцієнта опору втомі від років експлуатації вагона

Висновки. Вхіді проведення теоретичних досліджень з визначення можливості продовження строку служби вагоповірочних вагонів, які експлуатуються на залізницях України, було визначено, що стан несучих металевих конструкцій вагонів після тривалої експлуатації не наближається до граничного. Виконавши аналіз конструктивних особливостей вагоповірочних вагонів було встановлено, що: ВПВ-188 виконаний на базі вагона-платформи 13-401, ВПВ 640 виконаний на базі шестивісного напіввагона 12-П152, ВПВ-207 виконаний на базі вагона моделі 11-276. Під час технічного діагностування вагоповірочних вагонів необхідно приділяти додаткову увагу місцям де змінено конструкцію базового вагона (місця кріплення крана-балки та ін.). Проаналізувавши величину середньо-добового пробігу вагоповірочних вагонів було встановлено, що він на 60-70% менший за пробіг вантажних вагонів на базі яких збудовані вагоповірочні вагони. Враховуючи вище зазначені відмінності в конструкції вагонів, особливостях експлуатації та менший пробіг, їх необхідно враховувати під час оцінки залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів та візка УВЗ-9М. Таким чином отримані теоретичні результати дозволять розробити комплекс робіт та заходів для оцінки залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагоповірочних вагонів та візка УВЗ-9М, які експлуатуються на залізницях України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін О.В. Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars. *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»*. Kharkiv. 2012. P. 29-33.
2. Kelrykh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2014. № 6. P. 64-67.
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU*, Arłamów. 2016. P. 114–126.
4. Фомін, О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям. *Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – Северодонецьк: СХУ ім. В.Далі. 2017. № 5(235). С. 88-99.

5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. *Transport Problems International Scientific Journal*, № 3(4), P. 47–57.
6. Fomin, O.V., Gostra A.V. Variations describe the structural designs of freight cars. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*. Kyiv. 2015. № 26-27. P.137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika*. 2010. Proc. of 15th Intern. Conf. P 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means*. 2017. Proc. of 21st Intern. Scientific Conf. P. 973-976.
9. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків. 2009. С. 121 – 131.
10. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*.— Луганськ: СНУ ім. В. Даля. 2014. №. 2. С. 210.
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. *Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»*. 2014. №. 5. С. 107
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків. 2008. С. 72-81.
13. Kelrykh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2014. №. 6. P. 64-67.
14. Fomin A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. Kharkiv. № 3/7(57). 2012. P. 32-35.
15. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. Кременчук. 2013. № 6(83). С. 87-91.
16. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. *Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства»*. Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83-89.
17. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2018. № 33. С. 28 – 32.
18. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. *Зб. наук. праць ДУІТ*. Київ. 2018. № 32 Т. 1. С. 71 – 80.

REFERENCES

1. Fomin O.V. (2012). Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars. *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»*. Kharkiv. P. 29-33.
2. Kelrykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. № 6. P. 64-67.
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU*. Arłamów. P. 114–126.
4. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.U. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdutnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam. *Naukovyy zhurnal – Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. Syeverodonets'k*. № 5(235). P. 88-99 [in Ukrainian].
5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. *Transport Problems. International Scientific Journal*. №3(4). P. 47–57.
6. Fomin, O.V., Gostra A.V. (2015) Variations describe the structural designs of freight cars. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series Transport systems and technologies*. Kyiv. № 26-27. P.137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer

- Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika. Proc. of 15th Intern. Conf.* P. 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means. Proc. of 21st Intern. Scientific Conf.* P. 973-976.
9. Moroz V.I. (2009). Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capac-ity. *Collection of scientfc papers.* Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. № 111. P. 121-131.
10. Kelrikh M. B., Moroz V. I. (2014). Strukturno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulia kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia.* №2 (210). P. 94-103. [in Ukrainian].
11. Makarenko M. V. (2014). Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola // *Naukovo-praktychny zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy».* Kyiv. №. 5. C. 107.
12. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvahon. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu,* P. 72-81. [in Ukrainian].
13. Kelrykh M. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry».* № 6. P. 64-67
14. Fomin, A. V. (2012). The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies.* Kharkiv. № 3/7(57). P. 32-35.
15. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv. *Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho».* Kremenchuk. № 6(83). P. 87-91. [in Ukrainian].
16. Fomin, O. V. (2015). Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpeceny razvaliny pokaznikiv. *The journal "Technology audit and production reserves".* Kharkiv. № 4/1(24). P. 83-89. [in Ukrainian].
17. Lovs'ka A. O. (2018). Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tssystemy pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI».* Seriya: Dynamika i mitsnist' mashyn. № 33. P. 28 – 32. [in Ukrainian].
18. Lovs'ka A.O. (2018). Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstrukttsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi. *Zb. nauk. prats'.* Kyiv. № 32, T. 1. P.71 – 80. [in Ukrainian].

Алексей Викторович Фомин, д.т.н., проф.,
(профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)
Павел Николаевич Прокопенко,
(аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)
Николай Горбунов, д.т.н., профессор
(профессор, заведующий кафедрой «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля)
Сова Сергей Сергеевич
(аспирант кафедры «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины» Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля)

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЕСОПОВЕРОЧНЫХ ВАГОНОВ С СРОКОМ СЛУЖБЫ, КОТОРЫЙ ПРЕВЫШАЕТ НАЗНАЧЕННЫЙ

В настоящее время значительное количество единиц весоповерочных вагонов колеи 1520 мм в Украине имеет срок службы, превышающий назначенный заводом - изготовителем. В то же время многолетний опыт диагностирования

спеціалізованими організаціями технічного стану вантажних і вантажних вагонів після довгої експлуатації показує, що вказаний в технічних умовах призначений термін служби в більшості випадків далеко від граничного. Во багато це пов'язано, як з суттєвим запасом міцності закладений при проектуванні, так і з особливостями експлуатації конкретного типу вагонів.

Ключові слова: вантажні вагони, контрольні випробування, ресурс, технічне діагностування.

Alexey Fomin, Doctor of Engineering, Prof.

(Professor of the department "Wagons and carriage facilities" State University of Infrastructure and Technology, Kyiv).

Pavlo Prokopenko

(Ph. d. student, the department " Wagons and carriage facilities " State University of Infrastructure and Technology, Kyiv).

Mykola Horbunov, Doctor of Technical Sciences, Professor

(professor, head of the department "Rail, road transport and hoisting-and-transport machines", East Ukrainian National University named after V. Dal)

Sova Sergiy

(Ph. d. student, the department«Railway, road transport and handling machines», East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Sievierodonetsk)

PECULIARITIES OF DETERMINING THE RESIDUAL RESOURCE OF WEIGHT-TEST WAGONS WITH A SERVICE LIFE THAT EXCEEDS THE APPOINTED

At present, a significant number of units of 1520 mm track calibration wagons in Ukraine have a life span that exceeds that specified by the factory. At the same time, the long-term experience of diagnosing the technical condition of freight and weighing wagons after long-term operation by the specialists of the Scientific and Production Center of Ukrzaliznytsia branch of JSC Ukrzaliznytsia shows that in most cases the service life specified in the technical conditions is far from the limit. In many ways, this is due both to the substantial safety margin inherent in the design and to the particularities of operating a particular type of wagon. Ensuring safe and timely freight transportation is one of the main tasks of rail transport. In this regard, when at the end of the last century, a shortage of freight rolling stock, including specialized, and taking into account the technical and economic difficulties of its updating after the expiration of the appointed term, it was decided to partially abandon the prescribed scheduled service life for units of rolling stock whose individual resource allowed them to be resolved without further accident-free operation. In recent years, there has been a significant aging of the specialized car fleet. The fleet of weighing wagons has more than 50% of wagons that have served one and a half years or more.

Keywords: weighing wagons, control tests, resource, technical diagnostics.

УДК 621.43:66.067

Бабанін Олександр, д.т.н.

(професор, Український державний університет залізничного транспорту)

Буцький Олександр

(аспірант, Український державний університет залізничного транспорту)

Андрющенко Андрій, Мальков Ілля, Гузь Вячеслав

(магістри, Український державний університет залізничного транспорту)

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ СИНТЕТИЧНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ОЛИВНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗІВ

У статті на основі позитивних результатів експериментальних досліджень синтетичних фільтрів обґрунтована необхідність розробки теоретичних підходів, які дозволяють отримувати основні характеристики та динаміку їх зміни у процесі експлуатації. Запропонований метод моделювання і прогнозування ресурсу роботи синтетичних фільтрів на основі регресійної моделі, який дозволяє оцінювати їх роботоздатність у різних проміжках пробігу тепловозів в експлуатації. За допомогою цієї моделі визначено, що ресурс роботи синтетичних фільтруючих елементів у два-три рази перевищує термін роботи існуючих паперових фільтрів, які використовуються для тонкої очистки оливи в оливних системах тепловозів.

Ключові слова: брудоемність, забруднення, пори, регресія, ресурс, синтетичний, тепловоз, фільтр, характеристика.

Вступ. У сучасних фільтрах для очищення дизельної оливи на тяговому рухомому складі застосовують різноманітні фільтруючі матеріали. Вони виготовляються з різної сировини за різними технологіями та мають широкий діапазон фізико-хімічних властивостей і функціональних показників. У той же час більшість виробників фільтруючих матеріалів, що позитивно зарекомендували себе, припинили їх виробляти в силу причин економічного та організаційного характеру. Тому за останній час вітчизняні виробники зайнялися організацією випуску різних фільтраційних матеріалів, як традиційних (папір, картон і ін.), так і альтернативних, які раніше для цього не використовувалися (синтетичні пористі полімери різного складу) і недостатньо апробовані в експлуатації. Для визначення можливості практичного використання останніх були проведені теоретичні і експериментальні дослідження, результати яких наводяться у статті.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-9

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. З питань фільтрації оливи на даний час мається значна кількість досліджень і публікацій. Перш за все слід виділити фундаментальні праці В.А. Жужикова, М.А. Григор'єва, Е.І. Удлера, Г.А. Морозова і ін. [2,3]. В усіх цих працях містяться результати глибоких теоретичних і докладних експериментальних досліджень щодо процесів фільтрування. В них, зокрема, підкреслюється, що для ефективної роботи фільтрів слід завжди використовувати високоякісні фільтруючі матеріали, які забезпечують високу ступінь очищення при низькому гідравлічному опорі. У роботах [8,9] досліджена характеристика тканинних об'ємних волокнистих матеріалів, але вона пов'язується тільки з одним структурним параметром – проникністю та визначається її залежністю від пористості всього фільтруючого елемента. Дослідженнями [5] встановлено, що для оцінки об'ємних пористих матеріалів раціонально використовувати коефіцієнт заповнення волокон, який запропоновано розраховувати, як співвідношення їх щільності до загальної щільності всього матеріалу. Однак, створені на цій основі емпіричні моделі містять змінні з неявним фізичним змістом. У дослідженнях [10] визначено, що пори об'ємних фільтрів з різних матеріалів істотно відрізняються від капілярів поверхневих фільтрів і формуються як хаотичне перетинання волокон, що виключає створення їх суцільної поверхні. У роботі [7] також підкреслюється, що специфіка формування і складна форма фільтрів з об'ємною фільтрацією пов'язана з розташуванням волокон у різних площинах порової штори. Таке становище призводить до складної орієнтації руху потоку рідини, що фільтрується, і обмежує використання закону Пуайзеля та створює вимоги щодо створення нових підходів до опису процесу фільтрування у таких пористих середовищах.

На даний час для очищення олив від забруднення використовуються в основному поверхневі фільтри з паперовою фільтруючою шторою [4]. Однак такі елементи мають цілий ряд істотних недоліків. До них можна віднести невеликий ресурс та брудоемність, недостатню надійність фільтруючої штори із-за високої ймовірності її пошкодження, а також втрату механічної міцності у разі попадання на неї води. Перелічених вище недоліків можна значно позбавитися за рахунок застосування у системах очищення об'ємних синтетичних фільтрів, ефективність роботи яких під час фільтрації визначається їх розмірами та характером розташування пор у фільтруючому елементі. Ця обставина і визначає актуальність питання, що розглядається у цій статті.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є створення методу визначення ресурсу синтетичних фільтруючих елементів для оливних систем тепловозів.

Матеріали та методи дослідження. Встановлено [3], що в експлуатації існуючі повнопоточні фільтри з паперовими елементами у системах змащення вузлів тепловозів працюють з непостійною пропускною здатністю. У міру забруднення фільтруючого елемента пропускна здатність фільтра падає, опір в оливній магістралі зростає й при досягненні деякого значення перепаду тиску до та після фільтру відкривається перепускний клапан. При цьому частина неочищеної оливи проходить поза фільтром до системи змащення. У цьому випадку має місце частково поточний режим фільтрації, який негативно відображується на якості змащування пар тертя та дизельної оливи в цілому.

Після розпаду СРСР і утворення незалежної України купувати фільтруючі паперові елементи типу "Нарва-6" в Естонії стало економічно не вигідно. У зв'язку із цим на підприємствах України було організоване виробництво аналогічних фільтрів "Пирятин-6", які на цей час і встановлюються на тепловози. Однак рівень надійності таких елементів є дуже низьким. Через застосування неякісних матеріалів масово збільшилися розриви фільтруючих шторок в експлуатації, що призводить, у свою чергу, до повної втрати фільтруючих властивостей повнопоточного фільтру та як наслідок до підвищення бракувальних параметрів оливи.

Виходячи з цього, для заміни цих елементів, ученими кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу УкрДУЗТ був запропонований принципово новий синтетичний пористий фільтруючий елемент, виконаний на основі волокнистого-поліпропілену. Він має ті ж самі габаритні розміри, але відрізняється значною товщиною фільтруючої штори.

Дослідна експлуатація партії синтетичних фільтрів, у кількості 8 од. була розпочата на тепловозі 2ТЕ116-1083 локомотивного депо Основа ПАТ "Південна залізниця". Вона показала позитивні результати. Після пробігу 38345 км. фільтри були зняті і зважені. Кількість забруднень (у порівнянні з початковим зважуванням) на кожному фільтрі за цей пробіг склала від 2,4 до 2,8 кг. Необхідно відмітити, що в даний час всі серійні паперові фільтри (відповідно нормативних вимог) обов'язково замінюються на кожному технічному обслуговуванні ТО-3, тобто через кожні 10 тис. км. пробігу тепловоза.

Для подальшого визначення роботоздатності та оцінки ефективності синтетичних фільтрів була розроблена спеціальна програма-методика, яка передбачала проведення експлуатаційних випробувань, отримання експериментальних даних і на їх основі виконання теоретичного обґрунтування можливості застосування на тепловозах. Для проведення випробувань були обрані тепловози ТЕП70, що працювали у локомотивних депо Основа, Полтава, Смородине і Лозова ПАТ "Південна залізниця", у яких в оливну систему були встановлені синтетичні поліпропіленові фільтруючі елементи. Всього було обладнано шість тепловозів ТЕП70 (48 дослідних фільтрів) та вибрано чотири тепловози з існуючими фільтрами для порівняння. Організація випробувань передбачала установку дослідних синтетичних фільтрів на поточних ремонтах ПР-1 і їх комісійний контроль на кожному наступному технічному обслуговуванні ТО-3. Перед постановкою дослідних фільтрів на кожний тепловоз вони в обов'язковому порядку висушувались та зважувались.

На кожному технічному обслуговуванні ТО-3 комісійний контроль передбачав:

- відбирання проб оливи до і після фільтрів (фільтрату);
- виймання фільтрів з корпусу, їх ретельний огляд, час на стікання оливи та зважування кожного елемента.

Основним граничним показником був прийнятий перепад тиску по фільтрам, у разі перевищення встановлених норм якої експлуатація фільтрів на тепловозі припинялась.

На основі зважування фільтруючих елементів були отримані значення кількості бруду у кожному з них. Динаміка цього розподілу наведена на рис. 1.

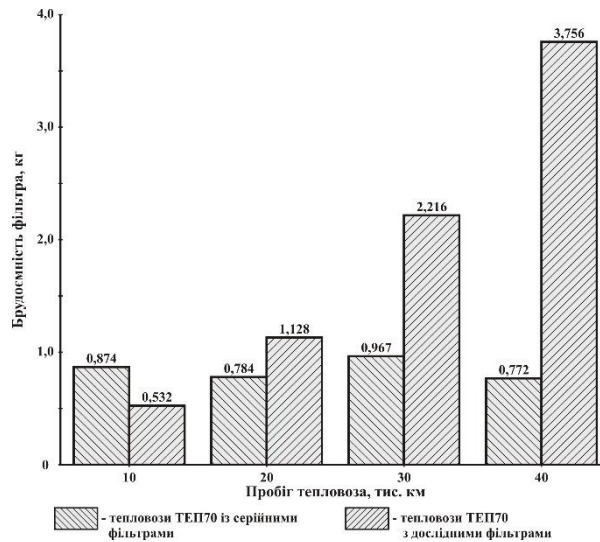


Рис. 1. Динаміка розподілу брудосмістості фільтруючих елементів

Відповідно до програми-методики оцінка ефективності синтетичних фільтрів проводилась на основі визначення показників, які встановлені ГОСТ 53640 та ГОСТ 26070 по фільтрах, а також правилами технічного обслуговування та поточного ремонту тепловозів ТЕП70. Вони наведені на рис. 2



Рис. 2. Структура визначення показників якості синтетичних фільтрів

Номінальна тонкість очищення (коефіцієнт тонкості фільтрації) визначалась по ГОСТ 26070-83 та розраховувалась, як

$$k_{mf} = \frac{\lambda_m}{\lambda_f}, \quad (1)$$

де λ_m – сумарна кількість у фільтраті механічних домішок мінімального розміру, од;

λ_ϕ – загальна кількість у фільтраті всіх механічних домішок, од.

Повнота фільтрування (коефіцієнт повноти відсівання) по ГОСТ 53640-2009 визначався, як

$$k_{n\phi} = 1 - \frac{x_2}{x_1}, \quad (2)$$

де x_1 – концентрація всіх механічних домішок в оливі перед фільтром, од;

x_2 – концентрація всіх механічних домішок в оливі у фільтраті, од.

Коефіцієнт відфільтровування по ГОСТ 26070-83 визначався, як

$$k_{o\phi} = \frac{x_1 - x_2}{x_1}. \quad (3)$$

Гідравлічний опір (перепад тиску по фільтрам) визначався як різниця показань штатних приладів (манометрів) безпосередньо на тепловозі.

Брудоемність кожного фільтруючого елемента визначалась на основі його вивішування на вагах.

Гранулометричний склад механічних домішок у оливі визначався за допомогою електронно-лазерної комп'ютерної системи "ВідеоТест" [2]. Структурна схема цієї системи наведена на рисунку 3, а відображення системою гранулометричного складу механічних домішок у фільтраті на рис. 4.

Для прогнозування та розрахунку ресурсу синтетичних фільтрів була запропонована наступна методика.

На основі зважування кожного синтетичного фільтру визначалась його брудоемність (кг), тобто скільки бруду відклалося у фільтрі за визначений проміжок пробігу тепловоза L . Показники перепаду тиску по фільтрам ΔP , коефіцієнт повноти відсівання $k_{n\phi}$, коефіцієнт тонкості фільтрації $k_{m\phi}$ та коефіцієнт відфільтровування $k_{o\phi}$ розраховувались за формулами (1), (2) та (3).

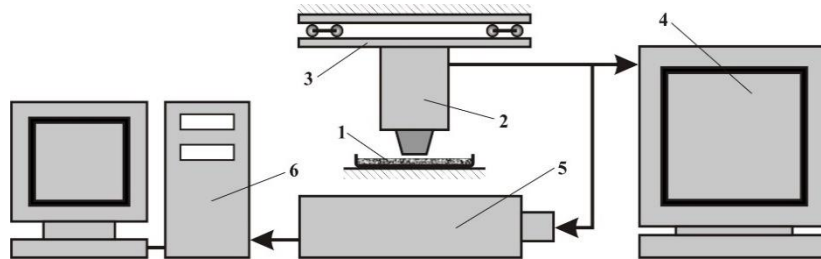


Рис. 3. Структурна схема електронно-лазерної комп'ютерної системи "ВідеоТест"

1 – кювета з фільтратом (відфільтрованою оливою); 2 – оптичний (лазерний) скануючий прилад; 3 – рухома каретка; 4 – відео-контрольний пристрій; 5 - блок сполучення з комп'ютером; 6 – комп'ютер.

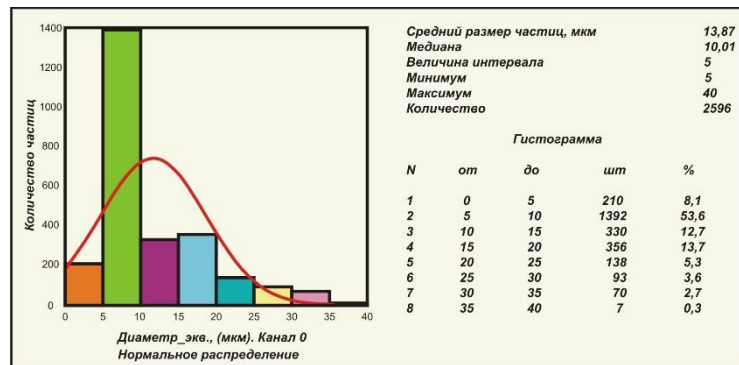


Рис. 4. Відображення системою "ВідеоТест" гранулометричного складу механічних домішок у фільтраті (тепловоз ТЕП70-115, пробіг після установки синтетичних фільтрів 31168 км)

Усі ці дані були систематизовані і апроксимовані в залежності від пробігу тепловозів L . На основі цього отримані наступні залежності.

Середній розмір механічних домішок $d_m(L)$ в залежності від пробігу тепловозів L , мкм

$$d_m(L) = 32,0584 L^{0,1176} e^{-0,0217 L}. \quad (4)$$

Розподіл перепаду тиску по фільтрам $\Delta P(L)$, МПа

$$\Delta P(L) = 0,58 + 0,00042 L^2. \quad (5)$$

Коефіцієнт повноти відсівання $k_{nf}(L)$

$$k_{nf}(L) = 0,5499 e^{-0,02948 L}. \quad (6)$$

Коефіцієнт тонкості фільтрації $k_{mf}(L)$

$$k_{mf}(L) = \frac{1}{1,00625 + 0,002376 L}. \quad (7)$$

Коефіцієнт відфільтровування $k_{of}(L)$

$$k_{of}(L) = \frac{L}{12,85 + 0,861 L}. \quad (8)$$

Результати розрахунків за цими залежностями наведені на рисунку 5 і рисунку 6.

Для встановлення взаємозв'язку між цими розрахунковими даними за допомогою програми Statistica [1] був виконаний регресійний аналіз, де у якості залежної змінної (функція відгуку) приймалася брудоемність фільтра $Y = G_\phi$; а незалежними змінними (предикторами) слугували залежності

$$X1(L) = d_m, X2(L) = \Delta P, X3(L) = k_{nf}, X4(L) = k_{mf} \text{ і } X5(L) = k_{of}.$$

Для оцінки цих предикторів було прийнято рівняння множинної регресії наступного типу

$$Y = a_0 + a_1 X1(L) + a_2 X2(L) + a_3 X3(L) + a_4 X4(L) + a_5 X5(L). \quad (9)$$

Програмою Statistica виконано ранжирування предикторів за ступенем впливу на відгук, приведення їх до стандартизованого вигляду, визначені загальний та часткові коефіцієнти кореляції і отримано рівняння регресії з наступними коефіцієнтами

$$Y = 0,261 + 0,00437 X1(L) + 2,904 X2(L) - 8,726 X3(L) + 2,752 X4(L) - 1,6297 X5(L). \quad (10)$$

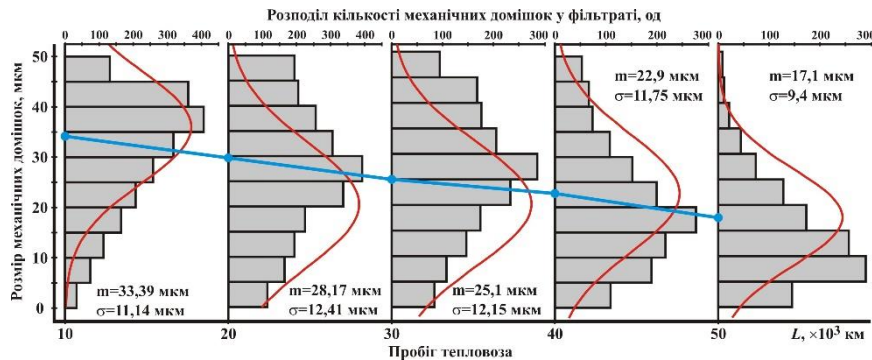
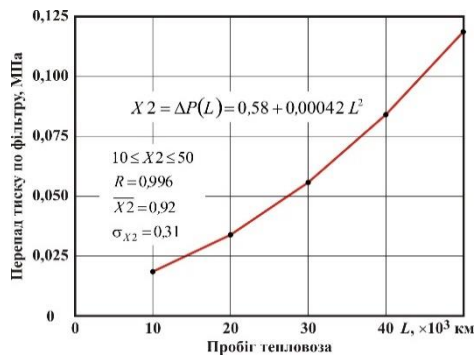


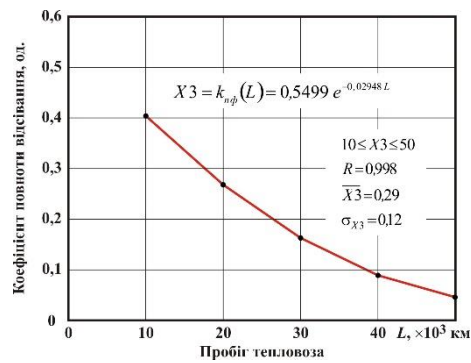
Рис. 5. Динаміка зміни кількості механічних домішок у фільтраті залежно від пробігу тепловозів

Підставляючи у рівняння (10) апроксимовані залежності $X1 = d_m(L)$, $X2 = \Delta P(L)$, $X3 = k_{nf}(L)$, $X4 = k_{mf}(L)$ і $X5 = k_{of}(L)$ було отримане числове рівняння множинної регресії, яке має вигляд

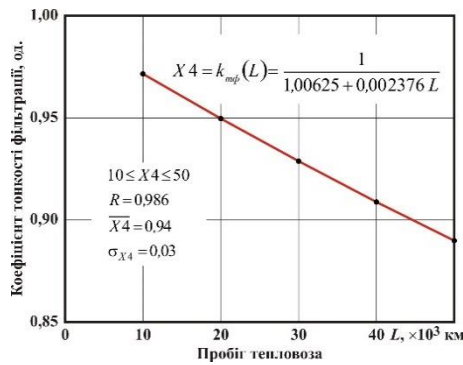
$$G_\phi = 1,945 - 4,798 e^{-0,02948L} + 0,14 L e^{0,1176} + \frac{2,752}{0,002376 L + 1} + 0,012 L^2 + \frac{1,6297 L}{0,861 L + 12,85}. \quad (11)$$



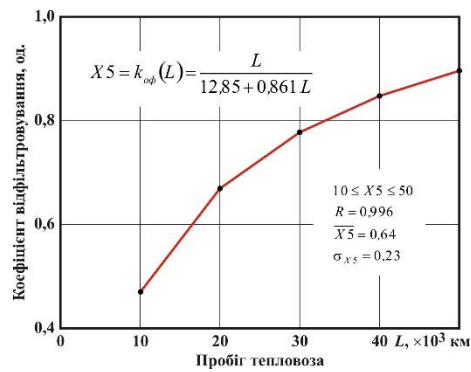
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Розподіл перепаду тиску по фільтрам ΔP (а), коефіцієнта повноти відсівання $k_{n\phi}$ (б), коефіцієнта тонкості фільтрації $k_{m\phi}$ (в) і коефіцієнта відфільтровування $k_{оф}$ (г) залежно від пробігу тепловозів L

Для рівняння множинної регресії розраховане програмою Statistica передбачене розрахункове прогнозне значення середньої брудоемності складо $G_{\phi \text{ ср}} = 2,0428$ кг. Довірчі інтервали за цим регресивним рівнянням мають значення $G_{\phi \text{ min}} = 1,624$ кг (- 95%) і $G_{\phi \text{ max}} = 2,461$ кг (+ 95%).

Підставляючи значення $G_{\phi \text{ max}} = 2,461$ кг у числове рівняння регресії (11) отримано, що передбачена найбільша величина пробігу тепловоза до заміни синтетичних фільтрів за їх технічним станом буде складати $L = 30,031$ тис. км.

Графічна інтерпретація цього наведена на рис. 7.

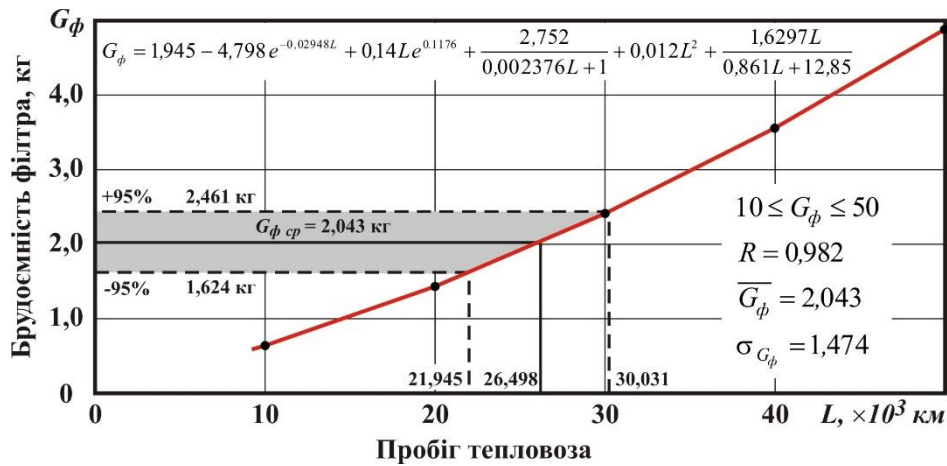


Рис. 7. Визначення ресурсу синтетичних фільтрів

Таким чином отримано прогнозне значення величини ресурсу синтетичних фільтрів до їх заміни, максимальне значення якого складає 30 тис. км. пробігу тепловоза. Це у три рази більше ресурсу існуючих паперових фільтрів, які зараз застосовуються на тепловозах.

Висновки. 1. Виконаний аналіз вітчизняних та закордонних досліджень по використанню у фільтруючих системах нових пористих матеріалів. При цьому визначено, що використання таких матеріалів викликає цілий ряд проблем, які пов'язані із складним хаотичним розташуванням порового простору і у ряді випадків неможливістю застосування для їх розрахунку класичних підходів по визначенню основних гідравлічних характеристик.

2. На основі проведення експериментальних досліджень щодо застосування у масляних системах тепловозів в якості фільтрів тонкої очистки оливи синтетичних поліпропіленових волокнистих матеріалів та їх позитивні результати висвітлені основні питання подальшого впровадження і необхідність розробки теоретичних підходів, які дозволяють отримати основні характеристики та динаміку їх зміни у процесі експлуатації.

3. За результатами експлуатаційних випробувань запропонований метод моделювання і прогнозування ресурсу роботи синтетичних фільтрів на основі регресійної моделі, яка отримана в середовищі Statistica. Визначена достовірність цієї моделі та отримані числові статистичні характеристики, які дозволяють оцінювати робоздатність синтетичних фільтруючих елементів у різних проміжках пробігу тепловозів в експлуатації.

4. Виконані розрахунки та отримані прогнозовані значення ресурсу роботи синтетичних фільтруючих елементів в залежності від пробігу тепловозів. Відзначено, що ресурс роботи синтетичних фільтруючих елементів 2,5-3 рази перевищує термін роботи існуючих паперових фільтрів, які використовуються для тонкої очистки оливи у масляних системах тепловозів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе Statistica. М.: Горячая линия Телеком, 2015. 288 с.;
2. Мукольянц А.А. Гидравлика Т.: "Fan va texnologiya", 2016. 368 с.;
3. Коваленко В.П., Лесной К.Я., Краснов А.Ю. Комплексные критерии качества фильтрующих материалов для очистки нефтепродуктов на железнодорожном транспорте. Наука и техника транспорта. 2015. Вип. 3. С. 74-80.;
4. Тук Д. Е., Гарипов А. А., Целищев В. А. Исследование течения жидкости в фильтрующем пакете с объемным принципом фильтрации. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. Вип. 3. С. 11-17.;
5. Христофорова М. И., Хролынцев А. А., Яковлева О. В. Методика расчета оптимальной структуры фильтрующего элемента из нетканого полимерного материала. *Сборник научных трудов МГТУ им. Н.Э.Баумана "Фундаментальные исследования"*. 2017. Вип. 11. С. 331-338.;
6. Шилин Б. И., Ульянов А. А. Разработка модели поровой структуры волокнистых материалов фильтров объемного типа. *Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства*. 2016. Вип. 4(16). С. 71-78.;
7. Ates S. Hydraulic modelling of control devices in loop equations of water distribution networks. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2017. Т. 53. С. 243-260.
8. Lee J., Babadagli T. Comprehensive methodology for chemicals and nanomaterials screening for heavy oil recovery using microemulsion characterization. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018. Т. 171. С. 1099-1112.
9. Kang S., Lee H., Kim S.C. Modelling of fibrous filter media for ultrafine particle filtration. *Separation and Purification Technology*. 2018. Т. 209. P. 461-469.
10. Tin M., Anioke G., Nakagoe O. Membrane fouling, chemical cleaning and separation performance assessment of a chlorine-resistant nanofiltration membrane for water recycling applications. *Membrane fouling, chemical cleaning and separation performance assessment of a chlorine-resistant nanofiltration membrane for water recycling applications. Separation and Purification Technology*. 2017. Т. 189. P. 170-175.
11. Babanin O., Butskiy O., Kovalenko O., Maksimov M. Application of Synthetic Filters from Polypropylene in Diesel Locomotive Oil Systems to Improve the Efficiency of Cleaning Engine Oil. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. №7. P. 162-166.
12. Donga B., Wanga F., Yanga. Polymer-derived porous SiOC ceramic membranes for efficient oil-water separation and membrane distillation. *Journal of Membrane Science*. 2018. №579. P. 111-119.
13. Lau W.J., Ismail A.F., Goh P.S. Characterization Methods of Thin Composite Nanofiltration Membranes. *Separation & Purification Reviews*. 2015. №44. P. 135-156.
14. James J. Beaudoin and Jacques Marchand. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology. Principles, Techniques, and Applications*. Ottawa, Ontario, Canada. 2001. P. 965
15. Stafford J., Walsh E., Egan V. Statistical analysis for time-averaged turbulent and fluctuating flow fields using particle image velocimetry. *Flow measurement and instrumentation*. 2012. №26. P. 1-9.

REFERENCES

1. Borovikov, V.P. (2015) *Populyarnoe vvedenie v sovremennyj analiz dannyh v sisteme Statistica* [A popular introduction to modern data analysis in the Statistica system]. Moscow, Hotline – Telecom Publ.;
2. Mukolyanc, A.A. (2016) *Gidravlika* [Hydraulics]. Tashkent, Fan va texnologiya Publ.;
3. Kovalenko, V.P., Lesnoj, K.Ya., Krasnov, A.Yu. (2015) *Kompleksnye kriterii kachestva filtruyushih materialov dlya ochistki nefteproduktov na zheleznodorozhnom transporte* [Comprehensive quality criteria for filtering materials for refining petroleum products in rail transport.]. *Nauka i tehnika transporta* [Science and technology of transport.], 3, 74-80.;
4. Tuk, D.E., Garipov, A. A., Celishev, V. A. (2015) *Issledovanie techeniya zhidkosti v filtruyushem pakete s obemnym principom filtracii*. [Investigation of fluid flow in a filter bag with the volumetric principle of filtration.]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. [Modern problems of science and education.], 3, 11-17.;

5. Hristoforova, M. I., Hrolyncev, A. A., Yakovleva, O. V. (2017) *Metodika rascheta optimalnoj struktury filtruyushogo elementa iz netkanogo polimernogo materiala* [The method of calculating the optimal structure of the filter element from non-woven polymeric material.]. Sbornik nauchnyh trudov MGTU im. N.E.Baumana "Fundamentalnye issledovaniya" [Collection of scientific papers of MSTU. N.E.Bauman "Fundamental research"], 11, 331-338.;
6. Shilin, B. I., Ulyanov, A. A. (2016) *Razrabotka modeli porovoj struktury voloknistyh materialov filtrov obemnogo tipa* [Development of a model of the pore structure of fibrous materials of volumetric type filters.]. *Ekologicheskaya bezopasnost stroitelstva i gorodskogo hozyajstva* [Environmental safety of construction and urban economy], 4(16), 71-78.;
7. S. Ates (2017) *Hydraulic modelling of control devices in loop equations of water distribution networks*. *Flow Measurement and Instrumentation*, 53, 243-260.;
8. J. Lee, T. Babadagli (2018) *Comprehensive methodology for chemicals and nanomaterials screening for heavy oil recovery using microemulsion characterization*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 171, 1099-1112.;
9. S. Kang, H. Lee, S. Kim (2018) *Modelling of fibrous filter media for ultrafine particle filtration*. *Separation and Purification Technology*, 209, 461-469.;
10. M. Tin, G. Anioke, O. Nakagoe (2017) *Membrane fouling, chemical cleaning and separation performance assessment of a chlorine-resistant nanofiltration membrane for water recycling applications*. *Membrane fouling, chemical cleaning and separation performance assessment of a chlorine-resistant nanofiltration membrane for water recycling applications*. *Separation and Purification Technology*, 189, 170-175.;
11. O. Babanin, O. Butskiy, O. Kovalenko, M. Maksimov (2018) *Application of Synthetic Filters from Polypropylene in Diesel Locomotive Oil Systems to Improve the Efficiency of Cleaning Engine Oil*. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, 162-166.;
12. B. Donga , F. Wanga , Yanga (2018) *Polymer-derived porous SiOC ceramic membranes for efficient oil-water separation and membrane distillation*. *Journal of Membrane Science*, 579, 111-119.;
13. W.J. Lau, A.F. Ismail, P.S. Goh (2015) *Characterization Methods of Thin Composite Nanofiltration Membranes*. *Separation & Purification Reviews*, 44, 135-156.;
14. J. James (2001) *Beaudoin and Jacques Marchand. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology. Principles, Techniques, and Applications*. Canada, Ottawa, Ontario: William Andrew.;
15. J. Stafford, E. Walsh, V. Egan (2012) *Statistical analysis for time-averaged turbulent and fluctuating flow fields using particle image velocimetry*. *Flow measurement and instrumentation*, 26, 1-9.

Бабанин Александр, д.т.н.
(профессор, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)
Буцкий Александр
(аспирант, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)
Андрющенко Андрей, Мальков Илья, Гузь Вячеслав
(магистры, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ СИНТЕТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ МАСЛЯНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОВЗОВ

В статье, на основе положительных результатов экспериментальных исследований синтетических фильтров обоснована необходимость разработки теоретических подходов, которые позволяют получать основные характеристики и динамику их изменения в процессе эксплуатации. Предложен метод моделирования и прогнозирования ресурса работы

синтетических фильтров на основе регрессионной модели, который позволяет оценивать их работоспособность в различных интервалах пробега тепловоза в эксплуатации. При помощи этой модели определено, что ресурс работы синтетических фильтрующих элементов в два-три раза превышает срок службы существующих бумажных фильтров, которые используются для тонкой очистки масла в масляных системах тепловозов.

Ключевые слова: *грязеемкость, загрязнения, поры, регрессия, ресурс, синтетический, тепловоз, фильтр, характеристика.*

Babanin Alexander, Ph.D.

(Professor, Ukrainian State University of Railway Transport)

Butsky Alexander

(Postgraduate Student, Ukrainian State University of Railway Transport)

Andrey Andryushchenko, Ilya Malkov, Guz Vyacheslav

(Masters, Ukrainian State University of Railway Transport)

DETERMINATION OF THE WORK RESOURCE OF SYNTHETIC FILTERS FOR OIL DIESEL SYSTEMS

In clause questions which are connected with an opportunity of use of synthetic filtering elements in oil systems of diesel locomotives, and also by definition of their resource of work in operation are considered. It is analyzed domestic and foreign researches on use in filtering systems of new porous materials. Thus it is established, that use of such materials causes a lot of problems which are connected with a complex, chaotic arrangement times spaces and in most cases impossibility of application for their calculation of classical approaches by definition of the basic hydraulic characteristics. On the basis of experimental researches on application in oil systems of diesel locomotives as filters of thin clearing oil and positive results the basic directions of further use and necessity of development of theoretical questions which allow receiving the basic characteristics of these units and dynamics of change of their parameters in operation are certain. The method of modeling and forecasting of a resource of work synthetic filters on the basis of plural regress is offered to model which considers the parametrical dependences received as a result of carrying out of operational tests. Calculations are executed and predicted values of a resource of work of synthetic filters which show in two-rub times an opportunity of increase in run of a diesel locomotive without their replacement are received.

Keywords: *capacity of a dirt, characteristic, diesel locomotive, pollution, regress, resource, synthetic, filter, times.*

УДК 621.311

Сергій Гулак

(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

Денис Заїка

(інженер кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

Володимир Твердомед, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій)

Сергій Крикливий

(магістр кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

Дмитро Халепчук

(магістр кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАПРУГИ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРИВОДУ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВОЗІВ СЕРІЙ ВЛ-80К,Т

Розглянуто роботу приводу допоміжних машин електровозів серій ВЛ-80Т, К при живленні напругою контактної мережі, яка має несинусоїдальний характер і при умові, що розціплювач фаз має несиметричні обмотки. Проаналізовано, який вплив здійснюють несинусоїдальність напруги контактної мережі і несиметрія фазорозціплювача на коефіцієнт потужності та коефіцієнт корисної дії допоміжного приводу. Запропоновано заходи щодо покращення енергетичних показників приводу допоміжних машин електровозів серій ВЛ-80Т, К.

Ключові слова: коефіцієнт потужності електровозу, несинусоїдальність та несиметрія напруги, допоміжний привод.

Вступ. Для системи тягового електропостачання електрорухомий склад є споживачем електричної енергії. Згідно вимогам національної комісії, яка здійснює державне регулювання в галузі енергетики та ГОСТу [1], коефіцієнт потужності споживачів повинен бути не меншим за 0,9 ($\cos \varphi \geq 0.9$). Найбільшим споживачем електроенергії в електровозі є система тягового приводу. Крім неї значну кількість електричної енергії споживає привод допоміжних машин. Він також, як споживач, вносить спотворення в форму напруги контактної мережі, що призводить до погіршення показників якості системи тягового електропостачання в цілому. Крім того, спотворення, що вносяться в систему тягового електропостачання призводять до погіршення енергетичних показників в цілому.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-10

Причини погіршення якості електроенергії, пов'язані з приводом допоміжних машин, це: несиметрія напруг, виникнення вищих гармонійних складових напруги і струму, реактивна потужність і, як наслідок, зниження коефіцієнту потужності [2, 3].

Система допоміжного приводу електровозу отримує живлення від контактної мережі через обмотку власних потреб тягового трансформатора. Напруга на цій обмотці – однофазна. Допоміжні машини – мотор-вентилятори, мотор-компресор і мотор-насос є трифазними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Перетворення однофазної напруги, що надходить від тягового трансформатора, здійснюється розщеплювачем фаз, який є асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, що має несиметричні обмотки статора і в установленому режимі працює як трифазний генератор. Крім того, напруга контактної мережі має несинусоїдальний характер [4]. Для дослідження спотворень, що вносить привод допоміжних машин, слід розробити математичну модель зазначеного приводу, враховуючи, що асинхронні двигуни мотор-вентиляторів будуть отримувати живлення від несиметричної несинусоїдальної трифазної системи живлення.

Роботи, присвячені розробці пристроїв підвищення показників якості енергії системи тягового електропостачання [5-10], свідчать про те, що велика увага приділяється підвищенню електричної ефективності систем тягового і допоміжного приводу електрорухомого складу. Пристрої, в основу яких лягли розробки, наведені в зазначених роботах, дозволяють зменшити негативний вплив допоміжних приводів електрорухомого складу на показники якості системи тягового електропостачання. Для аналізу ефективності впровадження пристроїв компенсації слід оцінити енергетичні показники приводу до впровадження компенсуючих пристроїв в систему живлення допоміжних машин та після впровадження. Це свідчить про те, що дослідження, присвячені виявленню негативних факторів, що впливають на показники якості електроенергії, а також методам і засобам зменшення цих факторів, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Моделюванню динамічних процесів в асинхронних машинах присвячена велика кількість робіт. Всі вони присвячені вирішенню однієї або декількох задач. Так, дослідження [11] присвячене зменшенню пульсацій крутного моменту та забезпеченню більш високої стабільності роботи моделі асинхронного двигуна. Ця завдання вирішується за рахунок введення еквівалентного векторного коефіцієнту потокощеплення статора. В роботі [12] автор використав підхід, що дозволяє поєднувати під час підготовки комп'ютерної моделі подвійні методи: засоби схеми візуального програмування (у вигляді електричної схеми) та логічну (у вигляді блок-схем). Цей підхід дозволяє легко інтегрувати модель асинхронного двигуна як частину більш складних моделей електричних комплексів та систем. Розроблена комп'ютерна модель надає користувачеві доступ до початку та кінця обмотки кожної з трьох фаз статора і ротора. Ця властивість особливо важлива при розгляді асиметричних режимів роботи або при живленні від спеціальної схеми напівпровідникових перетворювачів. Тобто, запропоновану в роботі модель можна застосовувати при аналізі роботи асинхронних двигунів з несиметричними обмотками. Але залишаються відкритими ряд питань таких як можливість застосування даної моделі в умовах несинусоїдальності та несиметричності системи напруг живлення асинхронного двигуна. В роботі [13] автор зазначав, що при роботі асинхронних двигунів в умовах несинусоїдальності та несиметричності системи напруг живлення доцільно застосовувати математичну модель в

«загальмованих координатах». Така модель може бути знайдена в роботі [14]. В цій роботі запропоновано тільки математичну модель асинхронного двигуна, що живиться від системи несиметричної та несинусоїдальної системи живлення. Принципи математичного моделювання приводів з асинхронними двигунами набули розвитку в роботі [15]. Але в цій роботі розглядається привод допоміжних машин з конденсаторним розщепленням однофазної напруги. В роботі [16] запропоновано математичну модель асинхронного двигуна в «загальмованих координатах», розглянуто можливість заміни в установленому режимі розщиплювача фаз з врахуванням енергетичних втрат в обмотці статора розщиплювача, отримані пускові діаграми мотор-вентилятора. Але в цій роботі не розглядалось моделювання роботи приводу допоміжних машин при несинусоїдальній напрузі живлення. Тобто проблеми живлення допоміжного приводу були розглянуті лише концептуально. В ній не розглядається кількісний вплив того чи іншого фактору на енергетичні показники приводу допоміжних машин і не має рекомендацій щодо усунення негативного впливу зазначених факторів на зазначені показники.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз впливу несиметричної та несинусоїдальної системи напруг живлення електричних машин допоміжного приводу електровозу серій ВЛ-80Т,К на енергетичні показники допоміжного приводу, такі як коефіцієнт корисної дії (ККД) і коефіцієнт потужності. Запропонований аналіз в подальшому може бути використаний для вибору схем компенсації впливу зазначених факторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити математичну модель приводу допоміжних машин з врахуванням, що електричні машини допоміжного приводу отримують живлення від несиметричної та несинусоїдальної системи напруг живлення;
- розглядати слід тільки встановлений режим роботи допоміжних машин, що дозволить замінити розщиплювач фаз несиметричною системою напруг живлення асинхронних двигунів допоміжного приводу;
- для синусоїдальної напруги контактної мережі розрахувати ККД і коефіцієнт потужності;
- розрахувати зазначені енергетичні показники для несинусоїдальної напруги контактної мережі.

Матеріали та методи дослідження. За основу математичної моделі в даній роботі приймається математична модель допоміжного приводу електровозу серій ВЛ-80Т,К, наведена в роботі [16]. Крім того, при аналізі роботи буде досліджуватись робота тільки чотирьох мотор-вентиляторів. Це пов'язано з наступним. Мотор-вентилятори працюють постійно в ті моменти часу, коли включені тягові двигуни електровозу. Вентилятори по відношенню до асинхронних двигунів є статичним навантаженням, тобто, незмінним в часі. Мотор-компресори працюють тільки в дискретні відрізки часу і для асинхронних двигунів є динамічним навантаженням, тобто змінним в часі. Мотор-насос має набагато меншу потужність в порівнянні з мотор-вентилятором, працює тільки в дискретні відрізки часу і тому не має сенсу розглядати його роботу під час моделювання.

Математична модель асинхронного двигуна в роботі [16] виконана в «загальмованих координатах». Вона описується наступними системами рівнянь:

Введемо позначення: u – напруга; i – струм; t – час; r – активний опір; ψ – потокощеплення; ω_r – механічна частота обертання ротору; p – число пар

полісів; нижні індекси α, β, γ означають належність до відповідної фази; нижній індекс s – належність до статора; індекс r – належність до ротору; L – повна індуктивність фази; M – взаємна індуктивність фаз статора та ротора; J – момент інерції мас, що обертаються на валу ротора; M_C – статичний момент на валу ротора.

Рівняння електромагнітних процесів асинхронного двигуна:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} = r_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt}; \\ u_{s\beta} = r_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt}; \\ u_{s\gamma} = r_{s\gamma} \cdot i_{s\gamma} + \frac{d\psi_{s\gamma}}{dt}; \\ -u_{r\alpha} = r_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \frac{(\psi_{r\beta} - \psi_{r\gamma}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\beta} = r_{r\beta} \cdot i_{r\beta} + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} + \frac{(\psi_{r\gamma} - \psi_{r\alpha}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\gamma} = r_{r\gamma} \cdot i_{r\gamma} + \frac{d\psi_{r\gamma}}{dt} + \frac{(\psi_{r\alpha} - \psi_{r\beta}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Потокощеплення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_{s\alpha} = L_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\gamma} + M \cdot \left(i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\gamma} \right); \\ \psi_{s\beta} = L_{s\beta} \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\gamma} + M \cdot \left(i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\gamma} \right); \\ \psi_{s\gamma} = L_{s\gamma} \cdot i_{s\gamma} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\beta} + M \cdot \left(i_{r\gamma} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\beta} \right); \\ \psi_{r\alpha} = L_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\gamma} + M \cdot \left(i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\gamma} \right); \\ \psi_{r\beta} = L_{r\beta} \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\gamma} + M \cdot \left(i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\gamma} \right); \\ \psi_{r\gamma} = L_{r\gamma} \cdot i_{r\gamma} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\beta} + M \cdot \left(i_{s\gamma} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\beta} \right) \end{array} \right. \quad (2)$$

Рівняння електромагнітного моменту асинхронного двигуна:

$$M_{EM} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot M \cdot p \cdot [(i_{s\alpha} \cdot i_{r\gamma} + i_{s\beta} \cdot i_{r\alpha} + i_{s\gamma} \cdot i_{r\beta}) - (i_{s\alpha} \cdot i_{r\beta} + i_{s\beta} \cdot i_{r\gamma} + i_{s\gamma} \cdot i_{r\alpha})] \quad (3)$$

Рівняння руху для валу двигуна при одномасовій механічній частині:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = J \cdot (M_{EM} - M_C) \quad (4)$$

Для зменшення кількості рівнянь, виразимо похідні від фазних потокощеплень через потокощеплення. Для цього в систему рівнянь (1) підставимо рівняння із системи (2). Після перетворень отримуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = a_{11} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{12} \cdot \psi_{s\beta} + a_{13} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{14} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{15} \cdot \psi_{r\beta} + a_{16} \cdot \psi_{r\gamma}; \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = a_{21} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{22} \cdot \psi_{s\beta} + a_{23} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{24} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{25} \cdot \psi_{r\beta} + a_{26} \cdot \psi_{r\gamma}; \\ \frac{d\psi_{s\gamma}}{dt} = a_{31} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{32} \cdot \psi_{s\beta} + a_{33} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{34} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{35} \cdot \psi_{r\beta} + a_{36} \cdot \psi_{r\gamma}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = a_{41} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{42} \cdot \psi_{s\beta} + a_{43} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{44} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{45} \cdot \psi_{r\beta} + a_{46} \cdot \psi_{r\gamma}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = a_{51} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{52} \cdot \psi_{s\beta} + a_{53} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{54} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{55} \cdot \psi_{r\beta} + a_{56} \cdot \psi_{r\gamma}; \\ \frac{d\psi_{r\gamma}}{dt} = a_{61} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{62} \cdot \psi_{s\beta} + a_{63} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{64} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{65} \cdot \psi_{r\beta} + a_{66} \cdot \psi_{r\gamma}, \end{array} \right. \quad (5)$$

де a_{ij} - коефіцієнти, отримані внаслідок перетворення і які є функціями повних індуктивностей фаз і взаємних індуктивностей фаз статора та ротора

Тоді рівняння для визначення фазних струмів матимуть вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{s\alpha} = u_{s\alpha} - r_{s\alpha} \cdot (a_{11} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{12} \cdot \psi_{s\beta} + a_{13} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{14} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{15} \cdot \psi_{r\beta} + a_{16} \cdot \psi_{r\gamma}); \\ i_{s\beta} = u_{s\beta} - r_{s\beta} \cdot (a_{21} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{22} \cdot \psi_{s\beta} + a_{23} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{24} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{25} \cdot \psi_{r\beta} + a_{26} \cdot \psi_{r\gamma}); \\ i_{s\gamma} = u_{s\gamma} - r_{s\gamma} \cdot (a_{31} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{32} \cdot \psi_{s\beta} + a_{33} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{34} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{35} \cdot \psi_{r\beta} + a_{36} \cdot \psi_{r\gamma}); \\ i_{r\alpha} = -r_{r\alpha} \cdot (a_{41} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{42} \cdot \psi_{s\beta} + a_{43} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{44} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{45} \cdot \psi_{r\beta} + a_{46} \cdot \psi_{r\gamma}) + \\ + \frac{(\psi_{r\beta} - \psi_{r\gamma}) \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ i_{r\beta} = -r_{r\beta} \cdot (a_{51} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{52} \cdot \psi_{s\beta} + a_{53} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{54} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{55} \cdot \psi_{r\beta} + a_{56} \cdot \psi_{r\gamma}) + \\ + \frac{(\psi_{r\gamma} - \psi_{r\alpha}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ i_{r\gamma} = -r_{r\gamma} \cdot (a_{61} \cdot \psi_{s\alpha} + a_{62} \cdot \psi_{s\beta} + a_{63} \cdot \psi_{s\gamma} + a_{64} \cdot \psi_{r\alpha} + a_{65} \cdot \psi_{r\beta} + a_{66} \cdot \psi_{r\gamma}) + \\ + \frac{(\psi_{r\alpha} - \psi_{r\beta}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Підставимо отримані значення струмів із системи (6) в вираз (3). Отримуємо

$$M_{EM} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot M \cdot p \cdot \left[b_1 \cdot \psi_{s\alpha}^2 + b_2 \cdot \psi_{s\beta}^2 + b_3 \cdot \psi_{s\gamma}^2 + b_4 \cdot \psi_{r\alpha}^2 + b_5 \cdot \psi_{r\beta}^2 + b_6 \cdot \psi_{r\gamma}^2 + b_7 \cdot \psi_{s\alpha} \cdot \psi_{s\beta} + b_8 \cdot \psi_{s\alpha} \cdot \psi_{s\gamma} + b_9 \cdot \psi_{s\alpha} \cdot \psi_{r\alpha} + b_{10} \cdot \psi_{s\alpha} \cdot \psi_{r\beta} + b_{11} \cdot \psi_{s\alpha} \cdot \psi_{r\gamma} + b_{12} \cdot \psi_{s\beta} \cdot \psi_{s\gamma} + b_{13} \cdot \psi_{s\beta} \cdot \psi_{r\alpha} + b_{14} \cdot \psi_{s\beta} \cdot \psi_{r\beta} + b_{15} \cdot \psi_{s\beta} \cdot \psi_{r\gamma} + b_{16} \cdot \psi_{s\gamma} \cdot \psi_{r\alpha} + b_{17} \cdot \psi_{s\gamma} \cdot \psi_{r\beta} + b_{18} \cdot \psi_{s\gamma} \cdot \psi_{r\gamma} + b_{19} \cdot \psi_{s\gamma} \cdot \psi_{r\alpha} + b_{20} \cdot \psi_{r\alpha} \cdot \psi_{r\beta} + b_{21} \cdot \psi_{r\alpha} \cdot \psi_{r\gamma} + b_{22} \cdot \psi_{r\beta} \cdot \psi_{r\gamma} \right], \quad (7)$$

де b_i - коефіцієнти, отримані в результаті перетворень

Із систем рівнянь (4) та (6) складається одна система диференціальних рівнянь першого порядку. Розв'язавши цю систему в програмному середовищі MATHCad, отримуємо значення швидкості обертання валу двигуна, електромагнітного моменту та фазних струмів, які знадобляться для подальших розрахунків.

На електровозах серій ВЛ-80^{Т,К} в якості мотор – вентилятора і мотор – компресора використовується асинхронний двигун АЭ-92-4. Його паспортні дані:

$P_1 = 75, \text{кВт}$, $n_{ном} = 1425, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$, $P_2 = 40, \text{кВт}$, $I_H = 90, \text{А}$, $\cos \varphi = 0.91$, $r_{s\alpha} = r_{s\beta} = r_{s\gamma} = 0,055, \text{Ом}$, $r_{r\alpha} = r_{r\beta} = r_{r\gamma} = 0,015, \text{Ом}$, $L_{s\alpha} = L_{s\beta} = L_{s\gamma} = 14,3, \text{мГн}$, $L_{r\alpha} = L_{r\beta} = L_{r\gamma} = 14,1, \text{мГн}$, $L_\mu = 0,02, \text{Гн}$ - повна індуктивність фази обмотки статора від основного магнітного потоку, що враховує наявність струмів в інших фазах (індуктивність від основного магнітного потоку, яка створена самою обмоткою M , і індуктивність від частини основного потоку, що створена двома іншими обмотками статора $\frac{M}{2}$).

В якості розщеплювач фаз на електровозах серій ВЛ-80^{Т,К} використовується асинхронний двигун НБ-455А. Його параметри: потужність трифазного навантаження - $75, \text{кВ} \cdot \text{А}$; коефіцієнт потужності - $\cos \varphi = 0.755$; номінальна напруга однофазної мережі - $380, \text{В}$; частота - $50, \text{Гц}$; магнітна система – активна сталь асинхронного дво полюсного двигуна єдиної серії АЭ 82 – 2; число витків обмоток статора - $w_1 = 24$ $w_3 = 48$ $w_5 = 48$; реактивний опір обмоток фаз статора - $x_1 = 0,076, \text{Ом}$, $x_3 = 0,218, \text{Ом}$, $x_5 = 0,258, \text{Ом}$; активний опір обмоток фаз статора - $r_1 = 0,025, \text{Ом}$, $r_3 = 0,05, \text{Ом}$, $r_5 = 0,067, \text{Ом}$; індуктивний опір обмотки ротора, приведений до першої фази обмотки двигуна - $x'_2 = 0,024, \text{Ом}$; активний опір обмотки ротора, приведений до першої фази обмотки двигуна - $r'_2 = 0,013, \text{Ом}$; кількість зубців статора - $Z_1 = 36$; кількість зубців ротора $Z_2 = 24$; число пар полюсів - $p = 1$; число пазів на полюс і фазу - $q_1 = 4$, $q_3 = 8$, втрати в сталі машини - $\Delta P_{CT} = 1260, \text{Вт}$, механічні втрати - $\Delta P_{MX} = 2620, \text{Вт}$, Втрати енергії в клітці ротора від зворотного поля - $\Delta P_{02} = 1681, \text{Вт}$ [16].

Обмотка двигуна включена в однофазну мережу і створює пульсуюче магнітне поле, яке можна розкласти на два обертальні: пряме, що йде в сторону обертання ротора, та зворотне – в зворотну сторону. Останнє при обертанні ротора гаситься його струмами майже подвійної частоти, а пряме поле наводить в обмотках трьох фаз ЕРС і створює на виводах 1,3,5 джерело трифазної напруги (рис. 1).

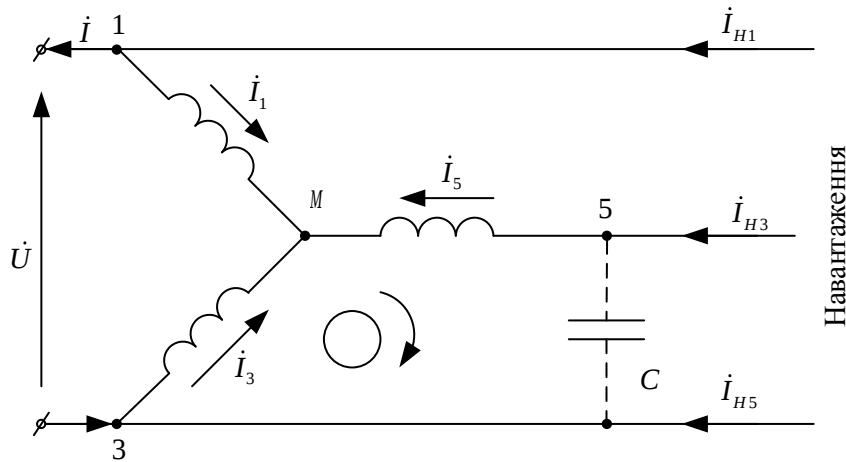


Рис. 1. Створення трифазної напруги на виводах розщеплювача фаз

Не повністю скомпенсоване зворотне поле наводить в обмотках статора ЕРС, які спотворюють трикутник напруги на затискачах розщеплювача фаз, що враховується в розрахунках.

Для точок 1 та М обмотки справедливі співвідношення:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_5 = 0, \quad (8)$$

$$\dot{I}_5 = \dot{I}_{5H} + \dot{I}_C. \quad (9)$$

де $\dot{I}_{5H}$ - струм навантаження генераторної фази. Так як навантаженням генераторної фази є чотири мотор - вентилятори, модуль струму навантаження буде рівний сумі номінальних струмів цих двигунів. Коефіцієнт потужності цих двигунів $\cos \varphi = 0.91$. Отже фаза струму навантаження:

$$\varphi_H = \arccos(0.91) = 24,5^\circ. \quad (10)$$

В тому випадку, коли до виводів 3–5 розщеплювача фаз підключена ємність значенням $C = 1000, \mu\text{кФ}$, ємнісний струм буде рівним:

$$\dot{I}_C = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot e^{j30^\circ}. \quad (11)$$

Фаза цього вектору визначається з умови, що вектор струму $\dot{I}_C$ перпендикулярний вектору напруги $\dot{U}_{35}$, а відповідно, складає з вектором прикладеної напруги U кут 30° (при симетричному «трикутнику» напруг).

Ємність, що включається на виводи розщеплювача фаз, залежить від вибраних параметрів машини. Для попереднього розрахунку її значення можна прийняти 500–1000, $\mu\text{кФ}$ з наступним уточненням.

В роботі [16] показано, що:

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_\mu + \dot{I}_a + \dot{I}_5 \cdot \left(-e^{-j\theta} \cdot \frac{w_{1E}}{w_{DE}} - e^{-j\rho} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{DE}} \right), \quad (13)$$

де $w_{1E} = w_1 \cdot k_{w1}$; $w_{3E} = w_3 \cdot k_{w3}$; $w_{5E} = w_5 \cdot k_{w5}$.

В формулі (13) активний струм:

$$I_a = \frac{\Delta P_{CT} + \Delta P_{MX} + \frac{\Delta P_{02}}{2}}{U}. \quad (14)$$

Струм намагнічування відстає від напруги живлення на 90° . Тоді:

$$\dot{I}_\mu = I_\mu \cdot e^{j90^\circ} = 46.2 \cdot e^{j90^\circ}, A. \quad (15)$$

Для втрат від зворотного поля беремо половинне значення, так як покладемо, що половина потужності, яка покриває втрати ΔP_{02} , передається зі статора на ротор полем прямої послідовності, а друга половина – полем зворотної послідовності, що враховуються нижче. Струм $\dot{I}_5$ з коефіцієнтом при цій величині визначається електромагнітною потужністю, що передається з обмотки двигуна на генераторну.

З рівняння (8) знаходимо струм $\dot{I}_1$. Далі визначають ЕРС обмотки фази двигуна. З початку координат під кутом ρ до вектору $\dot{E}_D$ намічають напрям ЕРС генераторної фази, величина якої:

$$E_5 = E_D \cdot \frac{w_{5E}}{w_{DE}}. \quad (16)$$

Напруга, що споживається з мережі:

$$\dot{U} = \Delta \dot{u}_3 + \dot{E}_D - \dot{\Delta u}_1, \quad (17)$$

де

$$\Delta \dot{u}_1 = j\dot{I}_1 \cdot x_1 + \dot{I}_1 \cdot r_1 + j\dot{I}_{01} \cdot x'_2 + \dot{I}_{01} \cdot \frac{r'_2}{2}, \quad (18)$$

$$\Delta \dot{u}_3 = j\dot{I}_3 \cdot x_3 + \dot{I}_3 \cdot r_3 + j\dot{I}_{01} \cdot x'_2 \cdot e^{-j\alpha} \cdot \frac{w_{3E}}{w_{1E}} + \dot{I}_{01} \cdot \frac{r'_2}{2} \cdot e^{j\alpha} \cdot \frac{w_{3E}}{w_{1E}}. \quad (19)$$

З виразу (17) знаходимо ЕРС обмотки двигуна:

$$\dot{E}_D = \dot{U} - \Delta \dot{u}_3 + \dot{\Delta u}_1. \quad (20)$$

Тоді ЕРС генераторної фази:

$$\dot{E}_5 = \dot{E}_D \cdot e^{j\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{DE}}. \quad (21)$$

Напряга генераторної фази:

$$\dot{U}_5 = \dot{E}_5 - \Delta \dot{u}_5. \quad (22)$$

Падіння напруги в генераторній фазі:

$$\Delta \dot{u}_5 = \dot{I}_{01} \cdot \frac{r'_2}{2} \cdot e^{j\gamma} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{1E}} + j \dot{I}_{01} \cdot x'_2 \cdot e^{j\gamma} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{1E}} + \dot{I}_5 \cdot r_5 + j \dot{I}_5 \cdot x_5. \quad (23)$$

Знаходимо ЕРС в обмотці першої та третьої фази двигуна:

$$\dot{E}_1 = \frac{\sin \psi}{\sin \alpha} \cdot \dot{E}_D \cdot e^{j\theta}, \quad (24)$$

$$\dot{E}_3 = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha} \cdot \dot{E}_D \cdot e^{j(\pi-\psi)}. \quad (25)$$

де значення кутів $\alpha = 120^\circ$, $\theta = 40^\circ$, $\psi = 20^\circ$, $\rho = 90^\circ$ визначені в роботі [16].

Знаходимо лінійні напруги:

$$U_{15} = -\dot{E}_1 + \Delta \dot{u}_1 + \dot{U}_5, \quad (26)$$

$$U_{53} = \dot{E}_3 - \Delta \dot{u}_3 - \dot{U}_5. \quad (27)$$

Векторні діаграми фазних ЕРС, побудовані в програмному середовищі МATHCad, зображені на рис. 2.

З векторної діаграми знаходимо амплітуди та фази фазних ЕРС. $\dot{E}_1 = 157.867 \cdot e^{j24.719^\circ}$, В, $\dot{E}_3 = 235.397 \cdot e^{-j93.044^\circ}$, В, $\dot{E}_5 = 226.817 \cdot e^{j156.056^\circ}$, В. Будуємо графіки трифазної систему живлення, поклавши $\dot{U}_{sa} = \dot{E}_1$, $\dot{U}_{sb} = \dot{E}_3$, $\dot{U}_{sc} = \dot{E}_5$ (рис. 3). Фазні ЕРС зображені на рис. 3 в миттєвих значеннях.

Для врахування несиметричних режимів система несиметричних ЕРС розкладається на три складові: нульову, пряму та зворотну послідовності. Нульова послідовність визначається як [14]:

$$\dot{E}_{0A} = \dot{E}_{0B} = \dot{E}_{0C} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_{sa} + \dot{U}_{sb} + \dot{U}_{sc}). \quad (28)$$

Пряма послідовність:

$$\dot{E}_{1A} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{E}_{sa} + a \cdot \dot{E}_{sb} + a^2 \cdot \dot{E}_{sc}); \quad \dot{E}_{1B} = a^2 \cdot \dot{E}_{1A}; \quad \dot{E}_{1C} = a \cdot \dot{E}_{1A}. \quad (29)$$

Зворотна послідовність:

$$\dot{E}_{2A} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{E}_{sA} + a^2 \cdot \dot{E}_{sB} + a \cdot \dot{E}_{sC}); \quad \dot{E}_{2B} = a \cdot \dot{E}_{2A}; \quad \dot{E}_{2C} = a^2 \cdot \dot{E}_{2A}. \quad (30)$$

де - $a = e^{-j120^\circ}$.

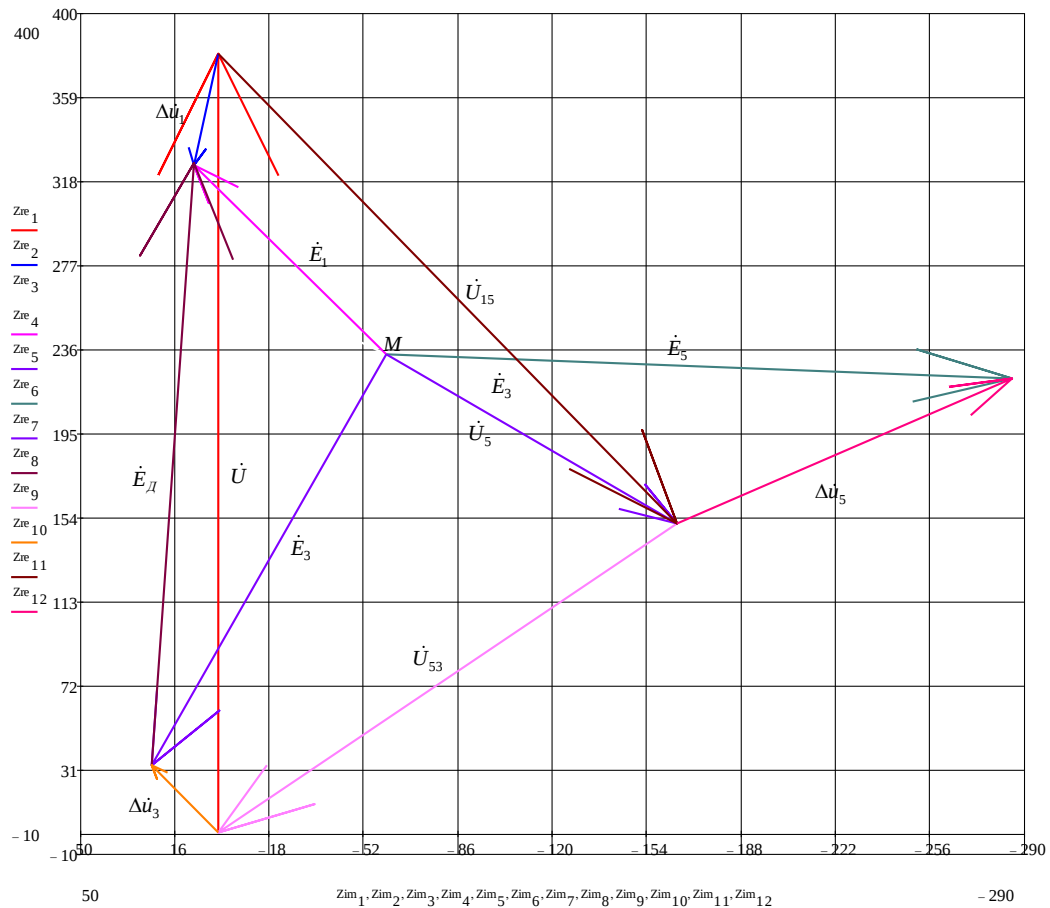


Рис. 2. Векторні діаграми фазних ЕРС

Для двигуна АЭ-92-4, що використовується на електровозах серій ВЛ – 80Т,К, номінальна частота обертання валу двигуна складає $n_{ном} = 1425, \frac{об}{хв}$, номінальна електрична потужність ротора - $P_2 = 40, кВт$. Номінальна кутова швидкість обертання валу двигуна:

$$\omega_H = \frac{n_H}{9,55} = \frac{1425}{9,55} = 149,2, \frac{рад}{с}. \quad (31)$$

Номінальний статичний момент:

$$M_C = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{40000}{149,2} = 268, H \cdot m. \quad (32)$$

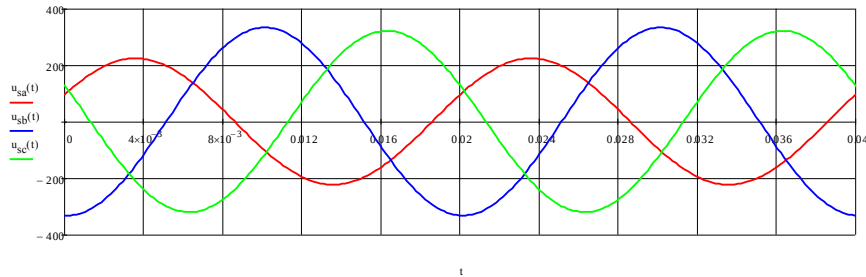


Рис. 3. Система трифазних напруг живлення мотор-вентиляторів

Кожна послідовність напруг живить свій блок моделей, описаних вище.

Результуючий момент буде сумою моментів кожної послідовності.

По рівнянням (28) – (30) для системи трифазних напруг (рис. 3) знаходимо пряму, зворотну і нульову послідовності.

Задавшись номінальним моментом навантаження для системи трифазних напруг (рис. 3) по моделі визначаємо пускові характеристики двигуна (рис. 4).

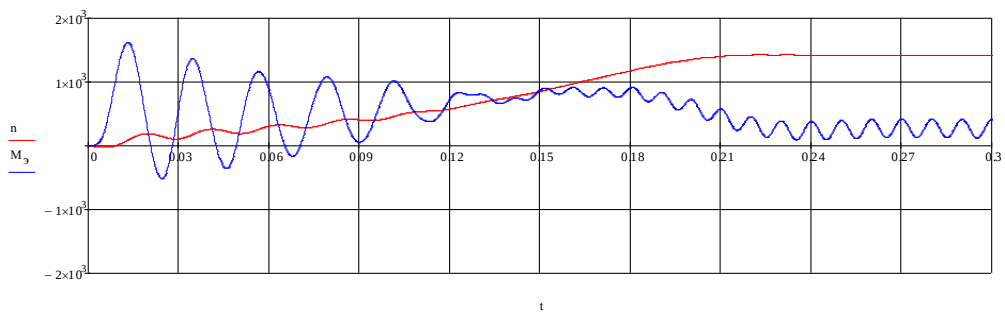


Рис. 4. Пускові характеристики мотор-вентилятора при системі напруг живлення, показаній на рис. 3

По пусковим характеристикам визначаємо встановлене значення кутової швидкості обертання валу двигуна $\omega_r = 148.376, \frac{rad}{c}$ та середнє значення корисного моменту на валу $M_{em} = 198,402, H \cdot m$. Визначаємо корисну потужність на валу двигуна

$$P_2 = M_{em} \cdot \omega_r = 198.402 \cdot 138.376 = 29,44, кВт. \quad (33)$$

Часові діаграми струму і напруги обмотки власних потреб зображені на рис. 5. По ним визначаємо повну потужність та активну потужність, що споживається приводом з мережі.

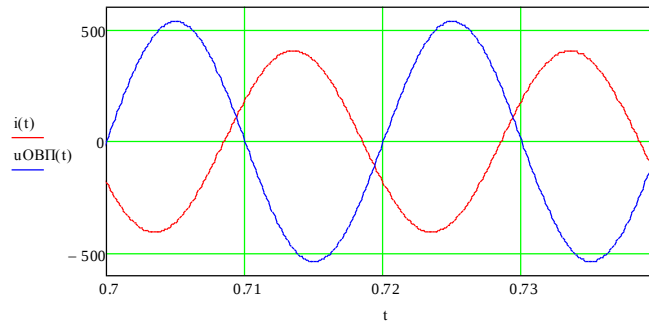


Рис. 5. Діаграми струму і напруги на обмотці власних потреб тягового трансформатора

Повна потужність

$$S = U_{OBI} \cdot I_{OBI} = 537,4 \cdot 403,37 = 183.53, \text{кВ} \cdot \text{А}. \quad (34)$$

Активна потужність, що споживається з мережі

$$P_1 = U_{OBI} \cdot I_{OBI} \cdot \cos(\varphi) = 537,4 \cdot 403,37 \cdot \cos(49.217^\circ) = 141,5, \text{кВт}. \quad (35)$$

Розраховуємо ККД

$$\eta = \frac{4 \cdot P_2}{P_1} = \frac{4 \cdot 29,44}{141,5} = 0.832. \quad (36)$$

Розраховуємо коефіцієнт потужності приводу

$$\gamma = \frac{P_1}{S} = \frac{141,5}{183.53} = 0.773. \quad (37)$$

Розрахуємо вплив форми кривої напруги контактної мережі на енергетичні показники тягового приводу. В роботі [4] наведена крива напруги на струмоприймачі. Враховуючи коефіцієнт трансформації між первинною обмоткою та обмоткою власних потреб тягового трансформатора, отримуємо криву напруги на обмотці власних потреб (рис. 6).

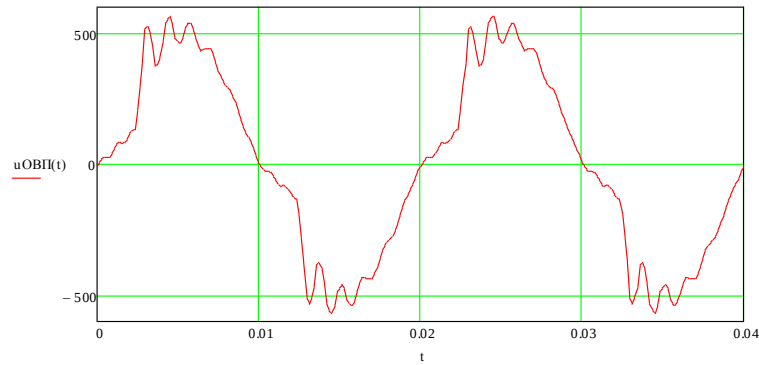


Рис. 6. Діаграма напруги на обмотці власних потреб тягового трансформатора

Система напруг живлення мотор-вентиляторів для цього випадку наведена на рис. 7.

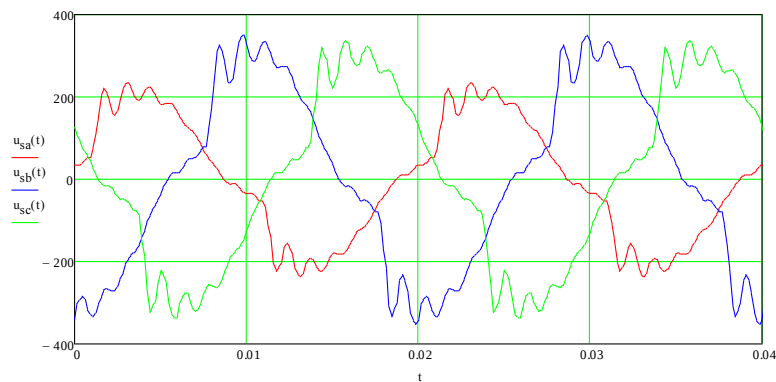


Рис. 7. Система напруг живлення мотор-вентиляторів з врахуванням форми напруги на струмоприймачі

Пускові діаграми мотор-вентиляторів для номінального навантаження з врахуванням форми напруги на струмоприймачі наведена на рис. 8.

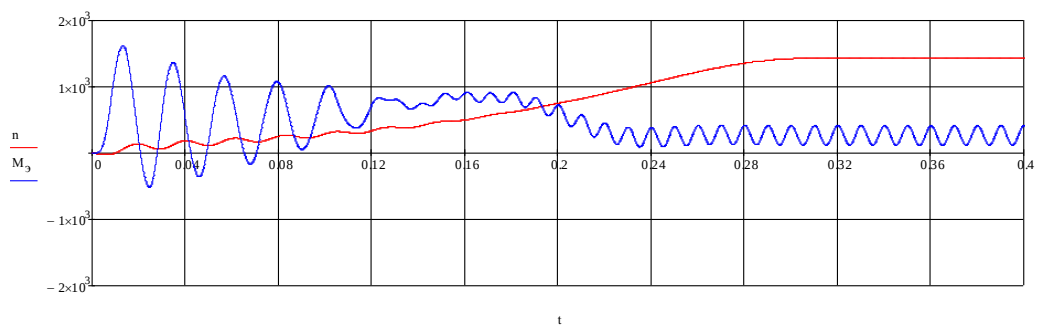


Рис. 8. Пускові діаграми мотор-вентиляторів для номінального навантаження з врахуванням форми напруги на струмоприймачі

По пускових характеристиках визначаємо встановлене значення кутової швидкості обертання валу двигуна $\omega_r = 147.835, \frac{rad}{c}$ та середнє значення корисного моменту на валу $M_{em} = 163,56, H \cdot m$. Визначаємо корисну потужність на валу двигуна

$$P_2 = M_{em} \cdot \omega_r = 163.56 \cdot 147.835 = 24,18, кВт. \quad (38)$$

Часові діаграми струму і напруги обмотки власних потреб зображені на рис. 9. По ним визначаємо повну потужність та активну потужність, що споживається приводом з мережі.

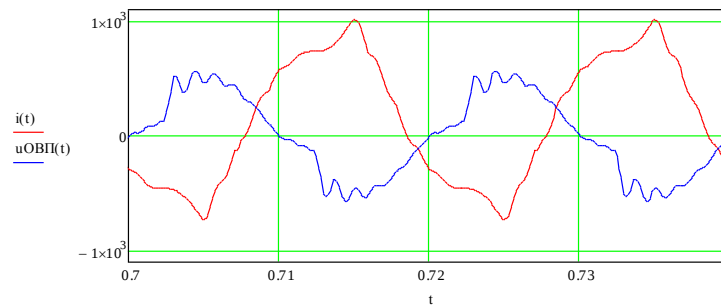


Рис. 9. Діаграми струму і напруги на обмотці власних потреб тягового трансформатора

Будуємо амплітудно-частотні та фазочастотні спектри струму, що протікає в обмотці власних потреб (рис. 10) та напруги на обмотці власних потреб (рис. 11).

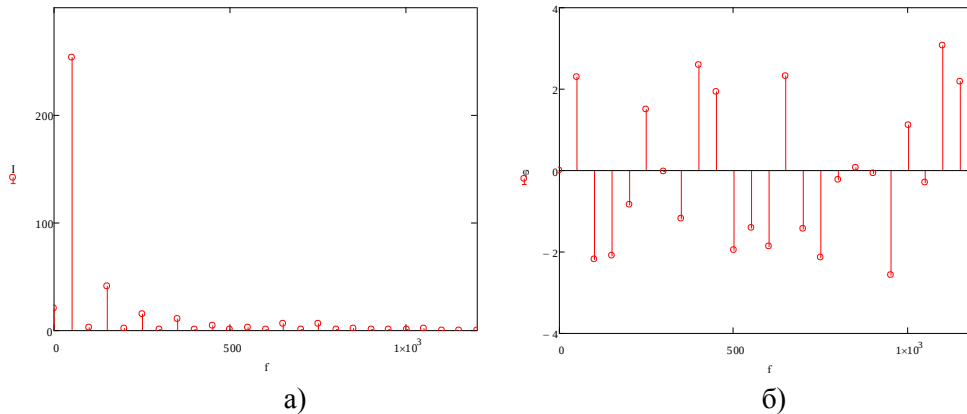


Рис. 10. Амплітудно-частотний (а) та фазо-частотний (б) спектри струму, що протікає в обмотці власних потреб тягового трансформатора

По спектральним складовим розраховуємо повну потужність, яку споживає привід допоміжних машин

$$S = \sum_{i=0}^{128} U_i \cdot I_i = 189.26, \kappa B \cdot A. \quad (39)$$

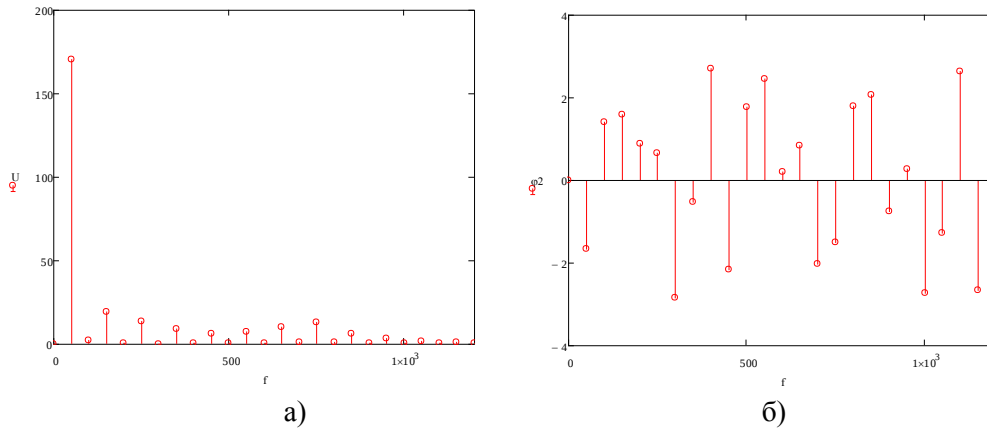


Рис. 11. Амплітудно-частотний (а) та фазо-частотний (б) спектри напруги на обмотці власних потреб тягового трансформатора

Активна потужність, що споживається з мережі

$$P_1 = S \cdot \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1}) = 189.26 \cdot \cos(-95.045^\circ + 132.076^\circ) = 151,088, \kappa Bm. \quad (40)$$

Розраховуємо ККД

$$\eta = \frac{4 \cdot P_2}{P_1} = \frac{4 \cdot 24,18}{151,088} = 0.64. \quad (41)$$

Розраховуємо коефіцієнт потужності приводу

$$\gamma = k_{gI} \cdot k_{gU} \cdot \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1}) = 0.979 \cdot 0.982 \cdot \cos(-95.045^\circ + 132.076^\circ) = 0.692. \quad (42)$$

де коефіцієнт гармонік напруги

$$k_{gU} = \sqrt{\frac{U_1^2}{\sum_{i=0}^{128} U_i^2}} = 0.979, \quad (43)$$

коефіцієнт гармонік струму

$$k_{gI} = \sqrt{\frac{I_1^2}{\sum_{i=0}^{128} I_i^2}} = 0.982. \quad (44)$$

Висновки. Виконаний аналіз параметрів напруги контактної мережі на енергетичні показники тягового електроприводу дозволить при виборі компенсуючих пристроїв реактивної енергії правильно оцінити природи зниження цих показників та з більшою коректністю вибрати компенсуючі пристрої. Так, як це видно з виразів (36) та (37), крім вищих гармонійних складових на значення коефіцієнту корисної дії та коефіцієнту потужності впливає несиметрія системи живлення асинхронних двигунів. При виборі класичних компенсаторів реактивної потужності таких як пасивні фільтри, активні фільтри, чи гібридні фільтри, що дозволять компенсувати вищі гармонійні складові та кут зсуву між напругою обмотки власних потреб та струмом, що протікає в цій обмотці, ще більш знизиться ККД приводу, хоча збільшиться коефіцієнт потужності приводу. Тому більш доцільним для підвищення енергетичних показників допоміжного приводу електровозу є застосування статичного перетворювача для живлення асинхронних двигунів допоміжного приводу замість розщеплювача втрат. Це дозволить усунути несиметрію системи напруг живлення, та за допомогою керованого випрямляча статичного перетворювача усунути кут зсуву між напругою обмотки власних потреб та струмом, що протікає в цій обмотці. Крім того, втрати активної потужності в статичному перетворювачі менші ніж в розщеплювачі фаз, що також призведе до покращення ККД.

ЛІТЕРАТУРА

- ГОСТ 13109-97. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
- Goolak S., Yermolenko E., Zaika D. Аналіз впливу електрорухомого складу на показники якості електроенергії тягової системи електропостачання//Транспортні системи і технології. 2019. Т. 1. №. 33. с. 156-170.
- Abagiu S. et al. Assessment of voltage quality indicators in unbalanced and harmonic distorted regime//Pollack Periodica. 2016. Т. 11. №. 1. с. 67-79.
- Гулак С. О., Єрмоленко Е. К. Модель системи Тягова підстанція–контактна мережа–тяговий привід електровоза серії ВЛ-80 Т, К//Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. 2016. №. 28. с. 99-109.
- Kale S. E., Joshi K. D. Railway Traction System: Current Status and Apportunities //Int. J. Elect. Eng. 2017. Vol. 10. №. 1. p. 47-56. ISSN 0974-2158.
- Salah F. et al. Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study //Applied Energy. 2015. Vol. 137. p. 88-96. doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.091.
- Schuller A., Flath C. M., Gottwalt S. Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration//Applied Energy. 2015. Vol. 151. p. 335-344. doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.004.
- Douglas H. et al. An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks//Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 106. P. 1149-1165. doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.053.
- González-Gil A., Palacin R., Batty P. Optimal energy management of urban rail systems: Key performance indicators//Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 90. p. 282-291. - doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.035.
- Yang X. et al. A survey on energy-efficient train operation for urban rail transit //IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2016. Vol. 17. №. 1. p. 2-13. doi:10.1109/TITS.2015.2447507. ISSN:1558-001.
- Zhang Y., Yang H. Two-vector-based model predictive torque control without weighting factors for induction motor drives //IEEE Transactions on Power Electronics. 2015. Vol. 31. Issue 2. – p. 1381-1390. DOI: 10.1109/TPEL.2015.2416207. ISSN: 1941-0107
- Pustovetov M. Induction Electrical Machine Simulation at Three-Phase Stator Reference Frame: Approach and Results//Electromechanical Devices and Machines. – IntechOpen. 2019. P. 1 – 16. DOI: 10.5772/intechopen.88906.

13. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин // Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк. 2001. 327 с.
14. Кузнецов В. В., Николенко А. В. О моделях функционирования асинхронного двигателя в условиях некачественной электроэнергии // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 1 (8). с. 37-42. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36755.
15. Пустоветов М. Ю. Имитационное моделирование вспомогательного асинхронного электропривода электровоза // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2015. № 2 (19). с. 67 – 78.
16. Гулак С. О., Ермоленко Е. К. Розробка математичної моделі для дослідження роботи приводу допоміжних машин електровозів серій ВЛ-80Т, К, що працюють в несинусоїдальному та несиметричному режимах // ВІСНИК VІSNIK. 2018. с. 80 - 92.

REFERENCES

1. GOST 13109-97. Norms of quality of electric energy in general-purpose power systems.
2. Goolak, S., Yermolenko, E., & Zaika, D. (2019). Analysis of the influence of electric rolling stock on electricity quality indicators of traction power supply system. *Transportation systems and technologies*, 1(33), 156-170.
3. Abagiu, S., Lepadat, I., Helerea, E., & Mihai, C. (2016). Assessment of voltage quality indicators in unbalanced and harmonic distorted regime. *Pollack Periodica*, 11(1), 67-79.
4. Goolak, S., Yermolenko, E. (2016). Model of the system Traction substation – contact network – traction drive of electric locomotive series of VL-80 T , K. Collection of scientific works of the State University of Economics and Technology of Transport. Series: Transportation Systems and Technologies, (28), 99-109.
5. Kale, S. E., & Joshi, K. D. (2017). Railway Traction System: Current Status and Apportunities. *Int. J. Elect. Eng*, 10(1), 47-56.
6. Salah, F., Ilg, J. P., Flath, C. M., Basse, H., & Van Dinther, C. (2015). Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study. *Applied Energy*, 137, 88-96.
7. Schuller, A., Flath, C. M., & Gottwalt, S. (2015). Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration. *Applied Energy*, 151, 335-344.
8. Douglas H., Roberts C., Hillmansen S., & Schmid F. (2015). An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks // *Energy Conversion and Management*, 106, 1149-1165.
9. González-Gil, A., Palacin, R., & Batty, P. (2015). Optimal energy management of urban rail systems: Key performance indicators. *Energy Conversion and Management*, 90, 282-291.
10. Yang, X., Li, X., Ning, B., & Tang, T. (2016). A survey on energy-efficient train operation for urban rail transit. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(1), 2-13.
11. Zhang, Y., & Yang, H. (2015). Two-vector-based model predictive torque control without weighting factors for induction motor drives. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(2), 1381-1390.
12. Pustovetov, M. (2019). Induction Electrical Machine Simulation at Three-Phase Stator Reference Frame: Approach and Results. In *Electromechanical Devices and Machines*. IntechOpen..
13. Kopylov, I. P. (2001). Mathematical modeling of electrical machines. M.: "Vysshaya Shkola".
14. Kuznetsov, V.V., & Nikolayenko, A.V. (2015). On models of the operation of an induction motor in conditions of low-quality electricity. *East European Journal of Advanced Technology*, (1 (8)), 37-42.
15. Pustovetov, M. Yu. (2015). Simulation of an auxiliary asynchronous electric drive of an electric locomotive. *Bulletin of the Amur State University named after Sholem Aleichem*, (2 (19)).
16. Goolak, S. O., & Yermolenko, E. K. (2018). Development of a mathematical model for investigation of the operation of supplementary machines of electrical ranges of series VL-80T, K, working in non-side and non-symmetric modes. *Herald Visnyk*, 80.

Сергей Гулак
(старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав»
Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Денис Заика
(инженер кафедры «Тяговый подвижной состав» Государственного
университета инфраструктуры и технологий)
Владимир Твердомед, к.т.н., доцент
(доцент кафедры «Железнодорожный путь и путевое хозяйство»
Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Сергей Крикливый
(магистр «Тяговый подвижной состав» Государственного университета
инфраструктуры и технологий)
Дмитрий Халепчук
(магистр «Тяговый подвижной состав» Государственного университета
инфраструктуры и технологий)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ
КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИВОДА
МАШИН ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕРИЙ ВЛ-80К, Т**

Рассмотрена работа привода вспомогательных машин электровозов серий ВЛ-80Т,К при питании напряжением контактной сети, имеет несинусоидальный характер и при условии, что расцепителем фаз имеет несимметричные обмотки. Проанализировано, какое влияние осуществляют несинусоидальность напряжения контактной сети и несимметрия расцепителем фаз на коэффициент мощности и коэффициент полезного действия вспомогательного привода. Предложены меры по улучшению энергетических показателей привода вспомогательных машин электровозов серий ВЛ-80Т, К.

Ключевые слова: коэффициент мощности электровоза, несинусоидальность и несимметрия напряжения, вспомогательный привод.

Sergey Goolak
(Senior Lecturer of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University
of Infrastructure and Technology)
Zaika Denys
(Engineer of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University of
Infrastructure and Technology)
Tverdomed Volodymyr, Ph. D., associate professor
(Associate professor of Department of railway track and track facilities at the State
University of Infrastructure and Technology)
Sergey Kryklyvyi
(Master of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University of
Infrastructure and Technology)

Dmytro Halepchuk
(Master of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University of
Infrastructure and Technology)

**RESEARCH INFLUENCE OF CONTACT NETWORK VOLTAGE
PARAMETERS ON ENERGY INDICATORS FOR OPERATION
OF AUXILIARY MACHINES OF VL-80K, T SERIES**

The article proposes and implements a mathematical model of an induction motor in "brake coordinates". This will allow the application of this model in the study of the operation of the induction motor under conditions of asymmetry of the system of supply voltages and in the non-sinusoidal state of these voltages. In the power supply system of the induction motors of the auxiliary drive of electric locomotives of the VL-80T, K series, a phase splitter is used to convert a single-phase supply voltage into a three-phase voltage system. It is an induction motor with a short-circuited rotor, operating in the set mode as a generator. For the established mode, it is proposed to replace the phase splitter with a system of three-phase asymmetric EMF. For this purpose, vector diagrams of phase EMFs are calculated and constructed, from which the amplitudes and phases of each phase of EMF are determined. A model of an auxiliary electric locomotive drive system was proposed and implemented in the MATHCad software environment using the obtained model of induction motor in "braked coordinates" and the obtained phase EMF system. On the obtained model, the influence of the asymmetry of the system of supply voltages of the induction motor on the energy performance of the drive was initially investigated. Then, considering the parameters of the voltage of the contact network, the effect of the asymmetry and non-sinusoidal power supply system on the specified indicators of the drive of the auxiliary machines was investigated. It is proposed to replace the phase splitter with a static converter to improve these performance in the auxiliary drive system.

Keywords: locomotive power factor, non-sinusoidal and voltage asymmetry, auxiliary drive.

УДК 629.4.027.11

Кладько Н. С.

(аспірант кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ БУКСОВОГО ВУЗЛА З КОНІЧНИМ РОЛИКОПІДШИПНИКОМ

В статті розглядається питання щодо оптимізації конструкції дворядного конічного підшипникового вузла вантажного вагона. Обговорюються методи оптимізації, вибір розрахункової моделі та критеріїв параметризації. В програмному комплексі ANSYS виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану конічного підшипникового вузла. За результатами розрахунку виявлено «вузькі місця» в конструкції та визначено основні можливі напрямки оптимізації розглянутої моделі.

Ключові слова: оптимізація, напівбукса, ролик, підшипник, напруження, моделювання.

Вступ. Проблема забезпечення безпечної та надійної роботи вантажного рухомого складу в теперішній час постала дуже гостро. Вирішити цю проблему можливо або закупівлею нових вантажних вагонів, або забезпеченням працездатності існуючого парку через модернізацію окремих вузлів вагонів та впровадження нових технологій технічного обслуговування [1,2].

Досвід експлуатації вітчизняного рухомого складу вказує на наявність великої кількості випадків раптових відмов буксових вузлів вантажних вагонів з роликовими підшипниками, що виявляються у їх понаднормовому нагріві, зламах шийок осей та ін. Крім того, варто зазначити, що під час експлуатації буксових вузлів з конічними роликопідшипниками приладами дистанційного контролю нагрівання буксових вузлів (ДИСК, КТСМ), також виявляється понаднормовий нагрів, що потребує відчеплення вагонів. Це свідчить про необхідність впровадження заходів щодо модернізації буксових вузлів вантажних вагонів [3,4].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Науково-технічний прогрес та зростання потреб населення призвели до стрімкого розвитку та поширення комп'ютерних технологій у всіх сферах людського життя. Застосування методів математичного моделювання дозволяє прискорити процес створення нових технічних систем, високоефективних технологічних процесів та методів управління ними. Широкий спектр можливостей математичного моделювання призвів до розширення методів оптимізації. Таким чином, з'явилися нові можливості у розв'язанні складних задач, що виникають при розробці нових технічних засобів та конструкцій [5,6].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-11

Широкого розповсюдження математичне моделювання набуло у вагонобудуванні та дослідженні ходових частин, в тому числі підшипникових вузлів. Треба зазначити, що при розгляді питань підвищення довговічності підшипникових вузлів основна увага приділялася безпосередньо удосконаленню конструкції та технології виготовлення самих підшипників. Питанню оптимізації конструкції корпусів букс для забезпечення рівномірного розподілення навантажень приділялось недостатньо уваги [7].

На залізничному транспорті України на підшипниковий вузол приходить до 50 % транспортних подій, що віднесені за вагонним господарством та від 25 до 60 % відчеплень вагонів в період гарантійного строку служби після проведення деповського або капітального видів ремонту [8]. На рис. 1 представлено співвідношення загальної кількості відчеплень вантажних вагонів від кількості відчеплень з причини виходу з ладу будь-якого елементу буксового вузла за останні 10 років.

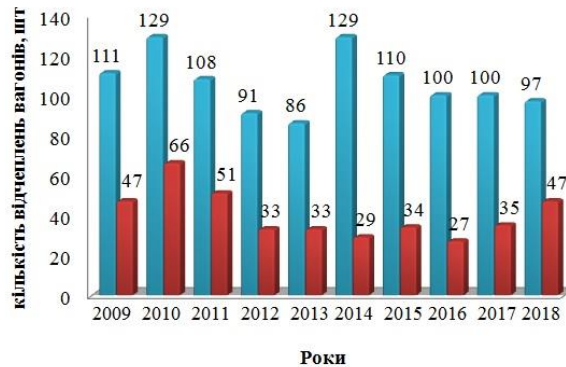


Рис. 1. Співвідношення загальної кількості відчеплень вантажних вагонів від кількості відчеплень через надмірний нагрів букс

Сьогодні поступово відбувається перехід вантажного парку на буксові вузли з конічними підшипниками [9-11]. Конічні підшипникові вузли мають низку переваг перед циліндричними [12, 13]. Разом з тим, варто зазначити, що при застосуванні нових конічних підшипникових вузлів під час їх припрацювання велика вірогідність виникнення надмірного нагріву підшипникового вузла з необхідністю подальшого відчеплення вагона.

Тому, ще й досі, залишається відкритим питання щодо розробки оптимальної конструкції підшипникового вузла, яка б задовольняла усім вимогам сучасних вантажних перевезень.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є встановлення найбільш вразливих місць в конструкції сучасного буксового вузла для подальшої модернізації та запропонування методів покращення умов сприймання навантаження.

Матеріали та методи дослідження. Оптимізація конструкції на початковому етапі потребує вибору функції оптимізації, головних критеріїв та обмежень при розрахунках.

Резервом підвищення ефективності використання конічних підшипників є впровадження адаптерів. Перспективним напрямком оптимізації конструкції таких адаптерів є застосування пружних елементів, шевронів та ін. Дослідження [14] стверджують, що адаптер з шевронами візка 18-4129 має ряд переваг перед іншими типами адаптерів. Однак складність виготовлення, необхідність додаткових витрат на впровадження нових візків або модернізацію типових викликає сумніви щодо доцільності застосування таких адаптерів.

На нашу думку, варто звернути увагу на адаптер (напівбуксу) підшипникового вузла, що застосовується у візку моделі 18-7020. Показники довговічності адаптера (напівбукси) нижчі, ніж у адаптера з шевронними вставками, але напівбукса має ресурс для підвищення показників надійності за рахунок оптимізації її конструкції [15].

Задачу оптимізації форми напівбукси можливо вирішити за допомогою розробки геометричної моделі деталі або конструкції. В процесі проектування методом скінчених елементів (МСЕ) оцінити концентрацію напружень та використовувати в якості критеріїв ресурсу наприклад, уточнені моделі довговічності [16-18].

Дослідження напружено-деформованого стану підшипникового вузла виконувалось методом скінчених елементів в програмному комплексі ANSYS. Розроблена 3-D модель напівбукси разом з конічним підшипником було розбито на скінчені елементи тетраедрального типу Solid92 загальною кількістю 632457.

Для моделювання контактної взаємодії тіл кочення та кілець дворядного конічного підшипника застосовувалися спеціальні контактні елементи. Залежно від відносного переміщення вузлів цих поверхонь, на кожній ітерації уточнювались зусилля на площадці контакту і знаходився розв'язок для системи нелінійних рівнянь у матричній формі.

При створенні моделі було прийнято припущення, що відповідають основним положенням теорії Герца. Крім того не враховувались вплив технологічних відхилень при складанні елементів ходових частин на навантаження елементів підшипника, можливе спрацювання підшипників в експлуатації, а також дія мастила на контактну міцність деталей підшипника.

Вертикальне навантаження прикладалися у напрямку осі "Y" до приливів у верхній частині адаптера підшипникового вузла. Модель кріпилася за внутрішнє кільце, переміщення обмежувались по осям "Z,Y", також було виконано обмеження у переміщенні адаптера уздовж осі "X".

При навантаженні 230 кН на вісь максимальні напруження в зоні контакту роликів з з кільцями в передній частині підшипника не перевищують 500 МПа (рис. 3.) і мають рівномірний розподіл навантаження для всіх роликів, що знаходяться в зоні навантаження, максимальне напруження припадає на центральний ролик. Розподілення напружень уздовж твірної ролика має відносно стабільний характер: максимальні напруження зосереджені в середній частині ролика і плавно зменшуються до нуля в точці переходу від твірної до торця ролика (тобто "крайовий" ефект відсутній). Саме таке розподілення контактних навантажень сприяє максимальній довговічності підшипника в цілому

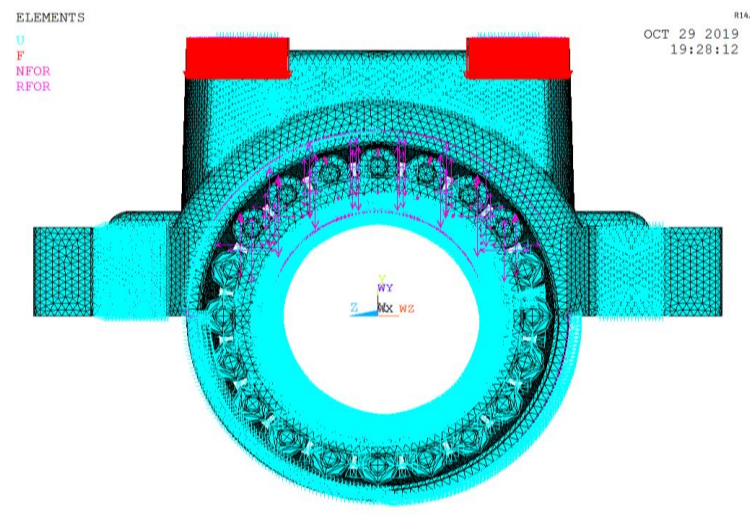
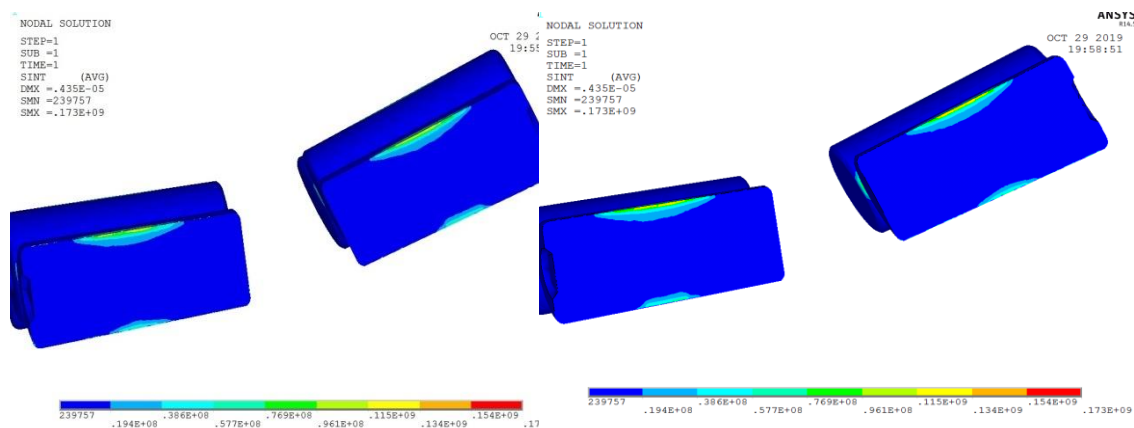


Рис. 2. Розподіл навантажень у підшипниковому вузлі



а) перший ролик передній та задній

б) передостанній ролик передній та задній

Рис. 3. Напружено-деформований стан роликів підшипника при навантаженні 230 кН на вісь

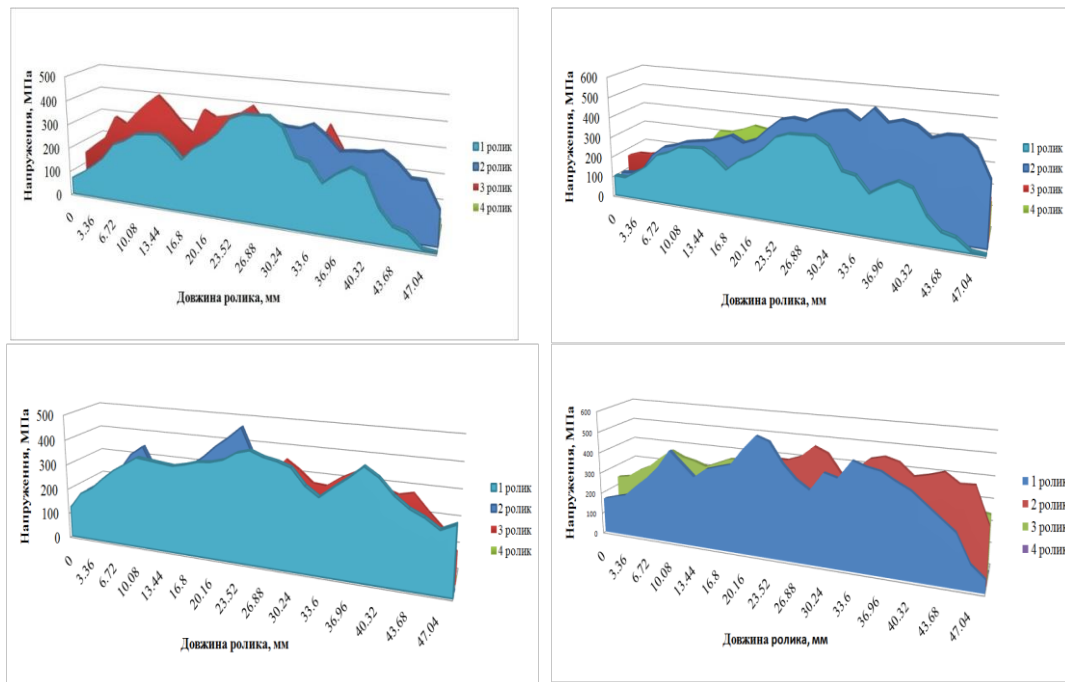


Рис. 4. Розподіл максимальних контактних напружень уздовж твірної ролика при навантаженні 230 кН на вісь

При збільшенні навантаження до 360 кН напруження підіймаються до 2800 МПа. Та виникає декілька пікових навантажень, при цьому перший (центральный) ролик дещо розвантажений в порівнянні з наступним (Рис.5.)

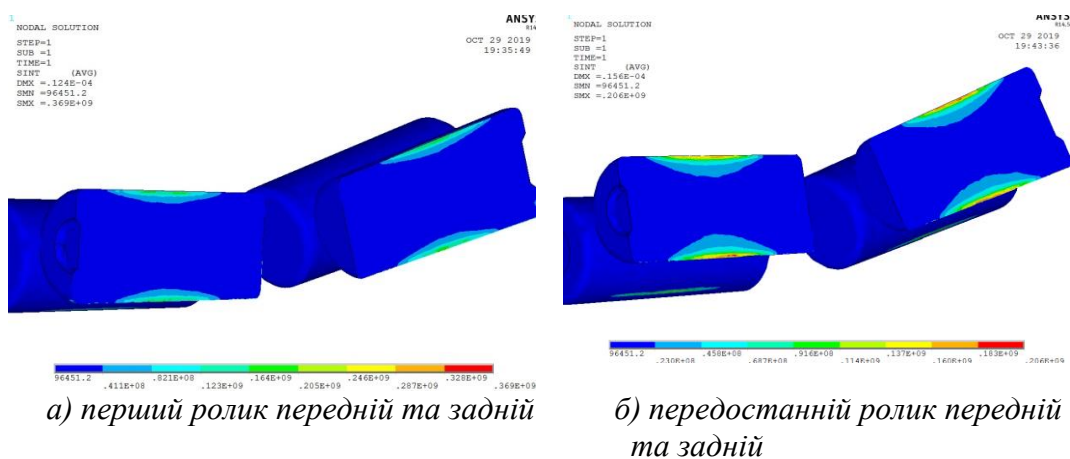


Рис. 5. Напружено-деформований стан роликів підшипника при навантаженні 360 кН на вісь

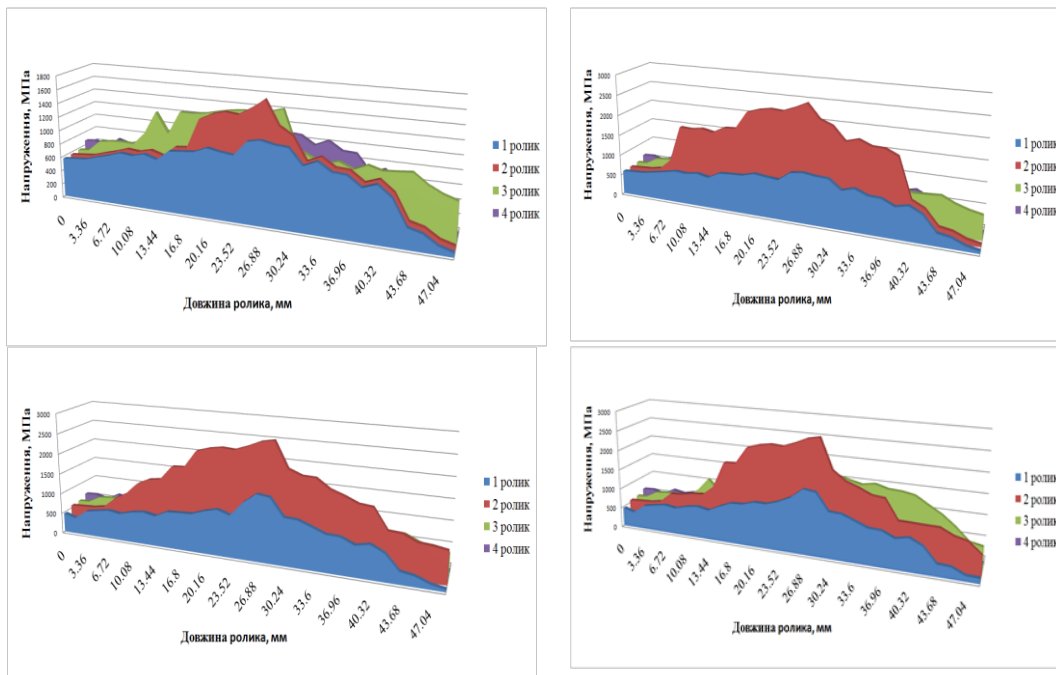


Рис. 6. Розподіл максимальних контактних напружень уздовж твірної ролика при навантаженні 360 кН на вісь

Висновки. Результати отримані за допомогою програмного комплексу ANSYS, що складається з модуля аналізу конструкції на основі методу скінченних елементів і модуля оптимізації на основі алгоритму послідовної квадратичної апроксимації. Універсальність комплексу полягає в тому, що він дозволяє в якості модуля аналізу використовувати різні програми МСЕ.

Проведене дослідження дало можливість проаналізувати напружено-деформований стан підшипникового вузла. Розроблено рекомендації щодо оптимізації конструкції напівбукси.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мартинов І. Е. Визначення показників надійності вагонних букс за результатами випробувань. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2005. Вип. 68. С. 191-198.
2. Мартинов І. Е. До питання оптимізації підшипників букс вантажного рухомого складу. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2004. Вип. 64. С. 147-153.
3. Мартинов І. Е. Технічний стан буксових роликотпідшипників вантажних вагонів. Харківська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2000. Вип. 41. С. 38-42.
4. Морчиладзе І. Г., Соколов А. М. Совершенствование и модернизация буксовых узлов грузовых вагонов. Железные дороги мира. 2006. № 10. С. 59-64.
5. Сергієнко, І. В. Комп'ютерні технології і науково-технічний прогрес. Вісник НАН України. 2016 № 11. С. 56-75.
6. Rao S. S. Engineering optimization. Theory and practice John Wiley & Sons, Inc. 2009. 840 p
7. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Аулова Н. С. Вплив конструкції корпусу букси на ресурс підшипників вагонів. Вісник технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2017. № 7 (1229). С. 73-80.

8. Мартынов И. Э., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Анализ надежности буксовых подшипниковых узлов грузовых вагонов. "Мир транспорта": научно-практический журнал. 2015. Т. 13. № 3 (58). С. 226-232
9. Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів вагонів. Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. 2014. Вип. 147. С. 50-53.
10. Мартинов І. Е. Дослідження напруженого стану конічних роликотішипників. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2007. Вип. 81. С. 83-86.
11. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Можейко С. Р., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Результати експлуатаційних випробувань здвоєних касетних циліндричних підшипників в буксах вантажних вагонів. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №1/7 (73). С. 8-13
12. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз напружено-деформованого стану здвоєного касетного циліндричного підшипника буксового вузла вантажного вагона. Вісник Східноукраїнського державного університету: науковий журнал. 2014. № 3 (210). С. 156 –159.
13. Мартинов І. Е. До питання удосконалення конструкції конічних підшипників транспортних засобів. Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту: Серія "Транспортні системи і технології". 2004. Вип. 5. С. 45-48
14. О влиянии конструкции адаптера [Электронный ресурс]: Отдельное конструкторское бюро. Режим доступа: https://okb.at.ua/publ/o_konstrukcii_adapterov_chast_2/1-1-0-4. (дата обращения: 01.11.2019).
15. I. E. Martynov, V. M. Ischenko, A. V. Trufanova, N. S. Kladko. Study of the effect of adapter design on the load distribution in the bearing units of freight cars. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. 7(4) P. 147 – 151.
16. Deaton J. D., Grandhi R. V. A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2014. Vol. 49, iss. 1. P. 1–38.
17. Sigmund O., Maute K. Struct topology optimization approaches. A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2013. Vol. 48, iss. 6. P. 1031–1055.
18. Munk D. J., Vio G. A., Steven G. P. Topology and shape optimization methods using evolutionary algorithms: a review. *Struct Multidisc Optim*. 2015. Vol. 52, iss. 3. P. 613–631.

REFERENCES

1. Martinov I. E. (2005) Vyznachennya pokaznikiv nadiynosti vagonnikh buks za rezultatami viprobuvan. *Ukrainska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 68. 191-198. (in Ukrainian).
2. Martinov I. E. (2004) Do pitannya optimizatsii pidshipnikiv buks vantazhnogo rukhomogo skladu. *Ukrainska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 64. 147-153. (in Ukrainian).
3. Martinov I. E. (2000) Tekhnichniy stan buksovikh rolikopidshipnikiv vantazhnikh vagoniv. *Kharkivska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 41. 38-42. (in Ukrainian).
4. Morchiladze I. G. Sokolov A. M. (2006) Sovershenstvovaniye i modernizatsiya buksovykh uzlov gruzovykh vagonov. *Zheleznyye dorogi mira*. 10. 59-64. (in Russian).
5. Sergienko. I. V. (2016) Komp'yuterni tekhnologii i naukovo-tekhnichniy progres. *Visnik NAN Ukraini*. 11. 56-75. (in Ukrainian).
6. Rao S. S. (2009) Engineering optimization. Theory and practice. *John Wiley & Sons, Inc.* 840. (in English).
7. Martinov I. E., Trufanova A. V., Aulova N. S. (2017) Vpliv konstruktsii korpusu buksi na resurs pidshipnikiv vagoniv. *Visnik tekhnichnogo universitetu «KhPI». Zbirnik naukovikh prats. Seriya: Novi risnennya v suchasnikh tekhnologiyakh*. 7 (1229). 73-80. (in Ukrainian).
8. Martynov I. E., Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2015) Analiz nadezhnosti buksovykh podshipnikovyykh uzlov gruzovykh vagonov. *Mir transporta*. 13. 3 (58). 226-232. (in Russian).
9. Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2014) Analiz perspektivnikh konstruktsiy buksovikh vuzliv vagoniv. *Zb. nauk. prats Ukr. derzh. akad. zaliznich. transp.* 147. 50-53. (in Ukrainian).
10. Martinov I. E. (2007) Doslidzhennya napruzhenogo stanu konichnikh rolikopidshipnikiv. *Ukrainska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 81. 83-86. (in Ukrainian).
11. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Mozheyko E. R., Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2015) Rezultati ekspluatatsiynikh viprobuvan zdvoenikh kasetnikh tsilindrichnikh pidshipnikiv v buksakh vantazhnikh vagoniv. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 1/7 (73). 8-13. (in Ukrainian).
12. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2014) Analiz napruzhenodeformovanogo stanu zdvoenogo kasetnogo tsilindrichnogo pidshipnika buksovogo vuzla vantazhnogo vagona. *Visnik Skhidnoukrainskogo derzhavnogo universitetu: naukoviy zhurnal*. 3 (210). 156 –159. (in Ukrainian).

13. Martinov I. E. (2004) Do pitannya udoskonalennya konstrukttsii konichnikh pidshipnikiv transportnikh zasobiv. *Zb. nauk. prats Kiiivskogo universitetu ekonomiki i tekhnologiy transportu: Seriya "Transportni sistemi i tekhnologii"*. 5. 45-48. (in Ukrainian).
14. O vliyanii konstrukcii adaptera [Elektronnyj resurs]; Otdelnoe konstruktorskoe byuro. Rezhim dostupa: https://okb.at.ua/publ/o_konstrukcii_adapterov_chast_2/1-1-0-4. (data obrasheniya: 01.11.2019). (in Ukrainian).
15. I. E. Martynov, V. M. Ischenko, A. V. Trufanova, N. S. Kladko. (2018) Study of the effect of adapter design on the load distribution in the bearing units of freight cars. *International Journal of Engineering and Technology*. 7(4) P. 147 – 151. (in English).
16. Deaton J. D., Grandhi R. V. (2014) A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Vol. 49, iss. 1. P. 1–38. (in English).
17. Sigmund O., Maute K. (2013) Struct topology optimization approaches. A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2013. Vol. 48, iss. 6. P. 1031–1055. (in English).
18. Munk D. J., Vio G. A., Steven G. P. (2015) Topology and shape optimization methods using evolutionary algorithms: a review. *Struct Multidisc Optim*. Vol. 52, iss. 3. P. 613–631. (in English).

Н. С. Кладько

(аспірант кафедри вагонов, Український державний університет залізничного транспорту, г. Харків)

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУКСОВОГО УЗЛА С КОНИЧЕСКИМ РОЛИКОПОДШИПНИКОМ

В статті розглядається питання оптимізації конструкції двурядного конічного підшипникового вузла вантажного вагона нового покоління. Обсуджаються методи оптимізації, вибір розрахункової моделі і критеріїв параметризації. Результати отримані з допомогою програмного комплексу ANSYS, що складається з модуля аналізу конструкції на основі методу кінцевих елементів і модуля оптимізації на основі алгоритму послідовної квадратичної апроксимації. Універсальність комплексу заключається в тому, що він дозволяє в якості модуля аналізу використовувати різні програми МКЕ.

По результатам расчета получено распределения напряжений в коническом подшипнике и обнаружено «узкие места» в конструкции типичного адаптера и определены основные возможные направления оптимизации рассматриваемой модели.

Ключевые слова: *оптимизация, полубукса, ролик, подшипник, напряжение, моделирование.*

Nadiia Kladko

(Postgraduate of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

SELECTION OF RATIONAL PARAMETERS OF AXLEBOXES WITH A CONIC ROLLER BEARING

The article discusses the optimization of the design of a two-row conical bearing assembly of a new generation freight wagon. Optimization methods, the choice of a computational model and parameterization criteria are discussed. In the ANSYS software package, computer simulation of the stress-strain state of a tapered bearing assembly has been performed. Based on the calculation results, the stress distribution in the tapered

bearing was obtained and bottlenecks in the design of a typical adapter were found and the main possible directions for optimizing the model under consideration were identified.

The results are obtained using the ANSYS software package, which consists of a finite element method analysis module and an optimization module based on a sequential quadratic approximation algorithm. The versatility of the complex is that it allows the use of various ITU programs as an analysis module.

Requirement means that when looking at food, there is a basic respect for the design and technology of the products themselves. Nourishment of optimized construction of the bookcase for the care of the evenly divided number of navigational attitudes lacked respect. The study made it possible to analyze the stress-strain state of the bearing assembly. Recommendations for optimization of the construction of the semi-axle have been developed.

Keywords: optimization, half-axlebox, roller, bearing, stress, modeling.

УДК 629.45:629.4.023.11

Мартинів І. Е., д. т. н.

(професор кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

Труфанова А. В., к. т. н.

(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

Сергієнко М. О.

(аспірант кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ДО ПИТАНЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РАМ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

В статті виконано аналіз технічного стану елементів рами пасажирських вагонів. Показано, що вузли рами пасажирських вагонів, а саме: хребтова балка, шворнева балка, кінцева балка, мають досить суттєвий корозійний знос. Отримані залежності зносу елементів рами під час експлуатації. Встановлені місця де спрацювання має найбільші значення.

Ключові слова: *пасажирський вагон, рама, хребтова балка, шворнева балка, кінцева балка, корозійний знос.*

Вступ. Одним з основних видів діяльності залізничного транспорту є пасажирські перевезення. Підвищити конкурентоспроможність пасажирських перевезень залізничного транспорту можна за рахунок зниження тарифів, розширення сфери послуг, підвищення якості їхнього надання і, у першу чергу, розробляючи і впроваджуючи прогресивні ресурсозберігаючі технології підготовки составів в рейс, ремонту і впровадження інформаційних систем.

На жаль, переважна більшість пасажирських вагонів інвентарного парку АТ "Укрзалізниця" відпрацювали встановлений ресурс (28 років) і повинні бути виключені з експлуатації як такі, що не можуть забезпечити безпеку руху. Середній вік пасажирського вагона складає 29,3 років, відсоток зносу – 88%.

В умовах тривалої експлуатації несучі конструкції кузова та рами пасажирського вагона піддаються дії зовнішнього середовища. Одним з основних факторів, що сприяють втрати несучої спроможності конструкції кузова та рами пасажирського вагона, є корозійний знос. У деяких випадках частина несучих конструкцій піддаються більш інтенсивному корозійному впливу за рахунок локальної концентрації агресивних середовищ. Через обмеженість придбання нових пасажирських вагонів у необхідній кількості, для запобігання скорочення інвентарного парку, обумовлені напрямки з продовження

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-12

нормативного терміну служби вагонів. Це, зокрема, технічне обстеження вагонів, у яких закінчився встановлений виробником термін експлуатації. За результатами технічного обстеження визначається можливість продовження терміну експлуатації вагонів після виконання рекомендованого виду ремонту або необхідність виключення вагонів із інвентарного парку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: В статті [1] фахівцями кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна обґрунтовано продовження терміну служби пасажирських вагонів із осередками корозії хребтової балки та запропоновано алгоритм для технічного діагностування подібних вагонів.

Б. Я. Остапук [2] розглядає питання удосконалення системи ремонту пасажирських вагонів після продовженню їх терміну експлуатації. Він наводить аналіз результатів технічного обстеження пасажирських вагонів, які відпрацювали свій ресурс та пропонує дванадцять можливих варіантів структури ремонтного циклу вагонів купейних та відкритого типу після проведення відновлювальних ремонтів.

Л. М. Лобойко, А. Л. Пуларія, М.А. Грічаний [3] провели дослідження міцності кузова пасажирського вагона після проведення капітально-відновлювального ремонту (КВР). Авторами виконано аналіз результатів випробувань на міцність двох пасажирських вагонів (відкритого типу побудови 1970 р. та жорсткого купейного побудови 1964 р.) Аналізуючи результати ударних випробувань, автори приходять до висновку, що рівень напружень, що виникають в елементах рами та кузова після проведення КВР, значно менші, ніж напруження, що допускаються за «Нормами для розрахунку вагонів...[8]».

В дослідженні [4] виконана комплексна оцінка ресурсу пасажирських вагонів після капітально-відновлювального ремонту. На першому етапі авторами було проведено вибір об'єктів випробувань для визначення терміну служби пасажирських вагонів та запропонована методика оцінки ресурсу несучих конструкцій пасажирських вагонів. В другій частині дослідження було проведено вибір режимів і схем навантаження несучих конструкцій та проведений та проведено випробування двох пасажирських вагонів на вібро комплексі.

С. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdag, F. Aruk, T. Toprak, A. Mugan, [5] досліджували статистичні та динамічний аналіз напруги на кузов та раму пасажирського вагона.

Дэмбэрэлсүрен Очирхуу визначав оцінку остаточного ресурсу та продовження строку служби пасажирських вагонів УБЖД «Улан-Баторська залізниця» Автор розглянув питання використання методів планування обчислювальних експериментів для оптимізації виконання розрахунків міцності, надійності та довговічності вагонів, та зроблений аналіз розрахунків.

Слід зазначити дослідження які проводилися в визначені продовження терміну служби пасажирських вагонів не дають конкретної відповіді, чи можливо продовжити експлуатацію вагонів чи ні.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є встановлення найбільш вразливих місць в вузлах рами пасажирських вагонів.

Матеріали та методи дослідження. З урахуванням дефіциту пасажирських вагонів, викликаного скороченням інвентарного парку в зв'язку з виключенням вагонів по досягненні нормативного терміну служби, та закупівлею в недостатній кількості нових вагонів актуальним є продовження вищевказаного терміну.

Види та періодичність технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів не повною мірою враховує його технічний стан металоконструкції кузова

кожного вагона. В той же час корозійні ушкодження основних елементів, які знижують здатність кузова пасажирського вагону, можуть бути різними у кузовів вагонів одного випуску, та відповідно, залишковий ресурс вже відремонтованого вагону теж буде різний.

Для визначення можливості подовження ресурсу вагонів необхідно проводити дослідження їх технічного стану після багаторічної експлуатації.

Для розгляду проблеми було підібрано та розглянуто різний діапазон пасажирських вагонів, як за роками побудови (1969-1991) так і за моделями:

- купейний моделі 47D, 47K збудованих на заводі Waggonbau Ammendorf (Аммендорф);
- некупейний відкритого типу (плацкарт) моделей 61-425, 61-821, збудованих на Калінінському вагонобудівному заводі (Тверь);
- вагон-ресторан моделі SK/k, збудований на заводі Waggonbau Ammendorf (Аммендорф);
- багажні вагони моделі 61-517, збудованих на Ленінградському вагонобудівному заводі (Росія);

Під час аналізу було вирішено більш детально дослідити раму пасажирського вагону, а саме: хребтову балку, шворневу балку, кінцеву балку.

Рама кузова має одну наскрізну хребтову балку, дві шворневі і дванадцять поперечні. Хребтова балка [10] складається з трьох частин: кінцевих - з швелера № 30В-1, середньої полегшеної – з швелера № 30а. Кінцева балка складається з швелера № 30, шворневі балка коробчатого перетину складається з вертикальних стінок, перекритих верхнім і нижніми листами.

У практиці вагонобудування кузова пасажирських вагонів мають два різновиди: з наскрізною хребтовою балкою і з хребтовою балкою тільки на консолях рами, так звані кузова без хребтової балки. Тому в кузові вагону такої конструкції нижня обв'язка бічних стін навантажена більше, ніж у кузовів з наскрізною хребтовою балкою.

На (рис. 1) зображені схеми перевірки товщини металу хребтової балки, шворневої балки та кінцевої балки.

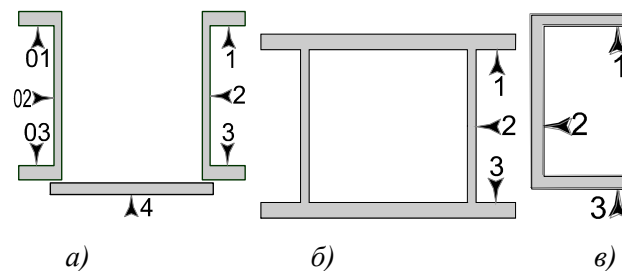


Рис. 1. Схеми виміру товщини металу: а) хребтової балки; б) шворневої балки; в) кінцевої балки

Обстеженням технічного стану кузова пасажирських вагонів виконувалось фахівцями ДП «Укр-НДІВ» (м. Кременчук).

Стан вузлів пасажирських вагонів оцінювався методами товщинометрії з точністю вимірювання 0,1 мм. Вимірювання проводиться в точках згідно методики технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження [7].

Дослідженню підлягали несучі елементи та вузли металоконструкції рами пасажирського вагона. Огляд проводиться з метою виявлення деформації, злами, прогини, обриви, пробоїни, ослаблення кріплення, відсутність вузлів та деталей, а також пошкодження елементів корозійного характеру.

Один з етапів дослідження стало порівняння зносу металу кузовів пасажирських вагонів, що досліджувалися, з їх номінальними розмірами при побудові, для виявлення величини спрацювання.

В результаті чого було отримано залежності зносу вузлів пасажирських вагонів за час експлуатації.

Під час дослідження були прийняті допущення, всі моделі дослідних вагонів були розглянуті по двом типам, вагони купейні та вагони відкритого типу.

На (рис. 2) представлено аналіз пошкоджень хребтової балки. Під час аналізу, починаючи з 2011 року, спостерігається збільшення зносу хребтової балки на 0,1-0,5 %, та різниця між типами вагонів приблизно однакова. Найменшим показником пошкодження відмічена в 2013 році, саме тоді різниця між купейними вагонами та вагонами відкритого типу майже зрівнялась. Проте за останні 5 років, розрив між ними виріс майже у 2 рази.



Рис. 2. Аналіз хребтової балки пасажирських вагонів

Аналіз зносу шворневої балки показав (рис. 3), що починаючи з 2011 року спостерігається поступовий знос на 0,3%, а різниця між моделями вагонів зростає в 2 рази.



Рис. 3. Аналіз зносу шворневої балки пасажирських вагонів

У ході аналізу зносу кінцевої балки (рис.4), спостерігається зношення приблизно на 0,1 %, розбіжність між зносами у різних моделей пасажирських вагонів мінімальна.



Рис. 4. Аналіз зносу кінцевої балки пасажирських вагонів

Приведені фактичні залежності відсоткової товщини вузлів пасажирських вагонів для різних моделей мають неоднозначний характер, що може бути пояснений неоднорідністю вузлів вагонів обстеження різного віку. Така ситуація спостерігається за рахунок того, що пасажирські вагони побудовані в різні роки, різними виробниками.

На другому етапі дослідження було визначено так звані «вузькі міста» вузлів рами пасажирського вагону, а саме хребтової балки, шворневої балки та кінцевої балки.

Було вибрано пасажирські вагони з терміном експлуатації більш ніж 40 років та виявлено знос хребтової балки в кожній точці (таб. 1)

За результатом аналізу хребтової балки в залежності від терміну експлуатації пасажирських вагонів, встановлено, що вразливе місце хребтової балки знаходиться у верхній частині лівого швелера № 30В-1 в точці «о1», де простежується товщина корозійного зносу до 1.98 мм..

Таблиця 1. Знос хребтової балки в точках виміру та по роках експлуатації

Термін експлуатації / рік	Точки виміру хребтової балки													
	1	о1	2	о2	3	о3	4	1	о1	2	о2	3	о3	4
49	0,85	1,33	0,05	0,43	0,3	0,73	0	0,3	1,75	0,38	0,4	0,85	1,08	0,075
48	1,25	0,78	0,75	0,78	0,78	0,68	0,18	0,88	1,1	0,85	0,9	0,7	0,9	0,35
47	1	0,8	0,7	0,43	0,13	0,93	0	0,23	2	0,87	0,07	0,8	1,27	0
46	0,45	1,23	0,73	0,45	0,53	0,17	0,03	0,37	1,22	0,6	0,6	0,55	0,48	0,05
45	1,13	1,25	1,03	1,27	0,62	1,19	0,02	1,08	1,98	1,05	0,94	0,99	1,4	0,03
44	1,22	1,24	0,79	0,93	0,66	0,73	0,01	0,86	1,39	1,01	0,97	1,12	0,72	0,033
43	0,52	0,62	1,2	1,07	0,47	0,48	0	0,97	0,7	1,23	1,22	1,02	0,57	0
42	0,79	1,04	1,01	1,08	1,05	0,44	0,05	1,38	0,8	1,03	1,49	0,43	0,29	0,063
41	1,46	1,19	1,07	1,07	0,33	0,61	0,03	0,68	1,48	1,18	1,11	0,5	0,43	0,022
40	1,37	1,19	1,68	1,36	0,69	0,49	0	0,81	0,82	1,49	1,37	0,48	0,48	0

Під час аналізу кінцевої балки залежно від терміну експлуатації пасажирських вагонів, встановлено, що вразливе місце припадає на середню частину швелера № 30, точка «2», де простежується товщина корозійного зносу до 0.64 мм. (табл. 2)

Таблиця 2. Знос кінцевої балки в точках виміру та по роках експлуатації

Термін експлуатації / рік	Среднее значение по точкам					
	1	2	3	1	2	3
49	0,44	0,2	0,2	0,36	0,64	0,36
48	0,53	0,33	0,43	0,4	0,53	0,37
47	0,2	0,25	0,1	0,4	0,5	0,85
46	0,34	0,42	0,24	0,82	0,32	0,76
45	0,44	0,57	0,13	0,33	0,62	0,51
44	0,28	0,48	0,19	0,39	0,51	0,29
43	0,23	0,28	0,35	0,38	0,23	0,1
42	0,19	0,5	0,04	0,17	0,52	0,13
41	0,49	0,18	0,2	0,42	0,13	0,28
40	0,19	0,69	0,1	0,13	0,72	0,09

За результатом шворневої балки в залежності від терміну експлуатації пасажирських вагонів, встановлено, що вразливе місце шворневої балки припадає на середню та верхню частини коробчатого перетину, точки «1,2», простежується товщина корозійного зносу до 1.95 мм. (табл. 3).

Таблиця 3. Знос шворневої балки в точках виміру та по роках експлуатації

Термін експлуатації / рік	Среднее значение по точкам					
	1	2	3	1	2	3
49	0,94	0,5	1,54	0,7	0,78	0,84
48	1,45	1	0,83	0,8	0,9	0,8
47	0,1	0,63	0,53	0,8	1,93	1,03
46	0,68	0,87	0,3	0,23	1,43	0,73
45	0,93	0,88	0,44	0,51	1,55	1,27
44	0,6	0,54	0,49	0,92	1,25	1,41
43	0,45	1,48	0,13	0,95	0,68	0,58
42	1,95	0,42	0,41	1,41	0,77	1,05
41	0,58	0,17	0,18	0,38	0,19	0,88
40	0,81	0,35	0,5	0,64	0,33	0,53

Висновки. Обстеження технічного стану пасажирських вагонів показало, що ушкодження рами вагону відбувається із-за корозії, особливо в хребтовій балці та кінцевих частинах. Інтенсивність ушкоджень з роками збільшується, це веде до зниження міцних характеристик пасажирських вагонів і експлуатація таких вагонів повинно бути заборонено. Продовження експлуатації пасажирських вагонів може існувати тільки при умовах їх відновлення, у іншому випадку пасажирські вагони потребують повної утилізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мямлін С.В., Рейдемейстер О. Г., Пуларія А. Л., Калашник В. О. Обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів із осередками корозії Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 5 (59)
2. Остапук Б. Я. Подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, Вип. 4. 2004. С. 165–173.
3. Рейдемейстер О. Г., Пуларія А. Л., Грінчаний М. А. [та інш.] Міцність та залишковий ресурс кузовів пасажирських вагонів з локальними корозійними пошкодженнями хребтової балки Проблеми та перспективи розвитку залізн. трансп: тези 74 Міжнар. наук.-практ. конф. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. Дніпропетровськ, 2014. С. 86–87.
4. Блохин Е. П., Савчук В. П., Горобец В. Л., Рейдемистер Г. В., Богомаз Г. И., Ключко В. А., Бойко А. З., Марко В. В., Таслицкий Л. Я. Комплексная оценка ресурса пассажирских вагонов после капитальновосстановительного ремонта. Залізничний транспорт України. № 6, № 3.
5. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E., Aruk F., Toprak T., Mugan A. Numerical static and dynamic stress analysis in railway passenger and freight car International Iron & Steel Symposium, 04 April 2012, Karabük, Türkiye
6. Дэмбэрэлсүрен Очирхуу Оценка остаточного ресурса и продление сроков службы пассажирских вагонов УБЖД. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. №3 (43) 2014
7. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження : ЦЛ-0070. Київ : Нескінчене джерело, 2008. 60 с.
8. РД 24.050.37-90 Вагоны грузовые и пассажирские (Методы испытания на прочность и ходовые качества) М.: Транспорт. 1990 г. 98 с.
9. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 319 с
10. Лукин В. В., Анисимов П. С., Федосеев П. С. Вагоны общий курс: учебник для вузов ж.д. транспорта М.: Маршрут, 2004. С. 424.
11. Устич П. А. Вагонное хозяйство: учебник М.: Маршрут. 2003. С. 367.
12. Цыган Б. Г., Цыган А. Б., Мокроусов С. Д. Современное вагоностроение. Т. 1. Железнодорожный подвижной состав: монография. Х. : Корпорация «Техностандарт». 2008. С. 431.
13. Лобойко Л. М., Бараш Ю. С., Карась О. О Оцінка варіантів подовження терміну служби пасажирських вагонів Наука та прогрес транспорту Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2008. С. 240-245.
14. Kovalev R., Yazykov V., Mikhalechenko G., Pogorelov D. Railway Vehicle Dynamics: Some Aspects of Wheel-Rail Contact Modeling and Optimization of Running Gears Mechanics Based Design of Structures and Machines 2003. № 31. P. 315-334.
15. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку : ЦЛ-0069. Київ Нескінчене джерело, 2008. 40 с.

REFERENCES

1. Myamlin S. V., Rejdemejster O. G., Pulariya A. L., Kalashnik V. O. (2015). Obgruntuvannya prodovzhennya terminu sluzhbi pasazhirskih vagoniv iz oseredkami koroziyi [Rationale for the extension of the service life of passenger cars with corrosion cells]. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu - Science and progress of transport. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, № 5, 59 [in Ukrainian].
2. Ostapyuk B. Y. (2004) Podovzhennya terminu ekspluatatsiyi pasazhirskih vagoniv [Extension of life of passenger cars]. *Visn. Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana. Dnipropetrovsk - Visn. Dnepropetrovsk. nat. un-that of iron. trans. them. Acad. V. Lazaryan. Dnipropetrovsk*, 4, 165–173. [in Ukrainian].
3. Rejdemejster O. G., Pulariya A. L., Grinchaniy M. A. [et al.] (2014) Micnist ta zalishkovij resurs kuzoviv pasazhirskih vagoniv z lokalnimi korozijnimi poshkodzhenniyami hrebtovoyi balki [Strength and Residual Life of Passenger Wagon Bodies with Local Corrosion Damage to the Spine Beam]. *Problemi ta perspektivi rozvitku zalizn. transp: tezi 74 Mizhnar. nauk.-prakt. CONF. Dnipropetr. nac. untzalizn. transp. – Dnipropetrovsk - Problems and prospects for the development of railways. trans: abstracts 74 International. Research Practice Conf. Dnepropetrovsk. nat. non-iron. trans. Dnipropetrovsk*, 86–87. [in Ukrainian].
4. Blohin E. P., Savchuk V. P., Gorobec V. L., Rejdemester G. V. [et al.] (2004) Kompleksnaya ocenka resursa passazhirskih vagonov posle kapitalnovosstanovitelnogo remonta [Comprehensive assessment of the

resource of passenger cars after major repairs]. *Zaliznichnij transport Ukrayini - Railway transport of Ukraine*. № 6, № 3 [in Ukrainian].

5. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E., Aruk F., Toprak T., Mugan A. (2012) Numerical static and dynamic stress analysis in railway passenger and freight car International Iron & Steel Symposium, 04 April Karabük, [in Türkiye].

6. Demberelsuren Ochirhuu (2014) Ocenka ostatocznego resursa i prodlenie srokov sluzhbi passazhirskih vagonov UBZhD [Estimation of residual life and extension of service life of passenger cars of UBZD]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie - Modern technologies. System analysis. Modeling*. №3, 43 [in Mongolia].

7. Metodika tehničnogo diagnostuvannya pasazhirskih vagoniv, sho visluzhili priznachений termin, z metoyu jogo prodovzhennya : CL-0070 (2008) [Technique of technical diagnostics of the passenger cars which have served the appointed term, for the purpose of its extension: CL-0070]. *Kiyiv, Neskinchene dzherelo*, 60 [in Ukrainian].

8. RD 24.050.37-90 Vagony gruzovye i passazhirskie (Metody ispytaniya na prochnost i hodovye kachestva) (1990) [Freight and passenger cars (Test methods for strength and driving performance)]. M.: Transport 98 [in Ukrainian].

9. Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) (1996) [Norms for calculation and design of railroad cars of the Ministry of Railways of 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. M.: GosNIIV-VNIIZhT, 319 [in Russian].

10. Lukin V. V., Anisimov P. S., Fedoseev P. S. (2004) Vagony obshij kurs: uchebnik dlya vuzov zh.d. transport [Wagons general course: textbook for high schools. of transport]. M.: Marshrut, 424. [in Russian].

11. Ustich P. A. (2003) Vagonnoe hozyajstvo: uchebnik [Wagon economy: textbook]. M.: Marshrut, 367 [in Russian].

12. Cygan B. G., Cygan A. B., Mokrousov S. D. (2008) Sovremennoe vagonostroenie. T. 1. Zheleznodorozhnyj podvizhnoj sostav: monografiya [Modern car building. T. 1. Railway rolling stock: monograph.]. Kh.: Korporaciya «Tehnostandart». 431 [in Ukrainian].

13. Lobjko L. M., Barash Yu. S., Karas O. O (2008) Ocinka variantiv podovzhennya terminu sluzhbi pasazhirskih vagoniv [Evaluation of options for extending the life of passenger cars]. *Nauka ta progres transportu Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana - Science and progress of transport Dnipropetrovsk. nat. un-that of iron. trans. them. Acad. V. Lazaryan*. 240-245 [in Ukrainian].

14. Kovalev R., Yazykov V., Mikhachenko G., Pogorelov D. (2003) Railway Vehicle Dynamics: Some Aspects of Wheel-Rail Contact Modeling and Optimization of Running Gears Mechanics Based Design of Structures and Machines. № 31, 315-334 [in Russian].

15. Pravila viklyuchennya pasazhirskih vagoniv iz inventarnogo parku : CL-0069 (2008) [Rules for exclusion of passenger coaches and inventory park: CL-0069]. *Kiyiv, Neskinchene dzherelo*, 40 [in Ukrainian].

Мартынов И. Е., д. т. н.

(профессор кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков)

Труфанова А.В., к. т. н.

(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков)

Сергиенко М.О.

(аспирант кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков)

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАМ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Одной из наиболее важных отраслей народного хозяйства Украины является железнодорожный транспорт. Основным ресурсом, который обеспечивает эффективность хозяйственной деятельности в сфере пассажирских перевозок, является подвижной состав. Преимуществами этого вида транспорта является большая разветвленность и низкие тарифы.

В статье проводится анализ технического состояния элементов рамы пассажирских вагонов. Показано, что узлы рамы пассажирских вагонов, а именно: хребтовая балка, шворневая балка, концевая балка, имеют достаточно большой коррозионный износ. Полученные графики зависимости износа узлов рам за время эксплуатации. Установлены наиболее изношенные зоны узлов рамы пассажирских вагонов. В сложившейся ситуации, актуальной является проблема обеспечения работоспособность и поддержание надежного технического состояния, имеющегося вагонного парка пассажирских вагонов через проведение капитально-восстановительных ремонтов, в том числе с модернизацией и продлением срока службы. То есть центр тяжести по решению этих вопросов в настоящее время смещается на качество ремонтных мероприятий. Необходимо искать новые подходы для решения проблемы восстановления технического ресурса пассажирских вагонов.

Ключевые слова: пассажирский вагон, рама, хребтовая балка, шворневая балка, конечная балка, коррозионный износ.

Martynov Igor Sc.D.

(Professor of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

Alyona Trufanova Ph.D.

(Associate Professor of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

Maksim Serhiienko

(Postgraduate of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

TO THE QUESTION OF FORECASTING THE RESIDUAL RESOURCE OF THE FRAMES TO PASSENGER CARS

One of the most important sectors of the national economy of Ukraine is railway transport. The main resource that ensures the efficiency of economic activity in the field of passenger transportation is rolling stock. The advantages of this type of transport are its large ramification and low tariffs.

The article analyzes the technical condition of the frame elements of passenger cars. It is shown that the nodes of the frame of passenger cars, namely: spinal beam, shvornevoy beam, end beam, have a fairly large corrosion wear. The obtained graphs of the dependence of the wear of the frame nodes during operation. The most worn-out zones of the nodes of the frame of passenger cars were established. In this situation, the urgent problem is to ensure the operability and maintenance of a reliable technical condition of the existing rolling stock of passenger cars through major overhauls, including modernization and extension of service life. That is, the center of gravity in addressing these issues is currently shifting to the quality of repair activities. It is necessary to look for new approaches to solve the problem of restoring the technical resource of passenger cars.

Keywords: passenger car, frame, spinal beam, shvorneva beam, final beam, corrosion wear.

УДК.621.314

*Юрій Дубравін, к. т. н., доц.
(доцент кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного
університету інфраструктури та технологій)
Віктор Ткаченко, д. т. н., проф.
(завідувач кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного
університету інфраструктури та технологій)*

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АКТИВНОГО ЧОТИРИКВАДРАНТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА МАГІСТРАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА ЗМІННОГО СТРУМУ

В роботі приведено математичний опис перехідного процесу при перемиканні силових ключів 4QS-перетворювача, виконано розрахунок параметрів математичної моделі. Розроблена імітаційна модель 4QS-перетворювача електровоза ДСЗ та проведено дослідження його регульовальних та енергетичних характеристик. Запропоновано заходи щодо підвищення коефіцієнта потужності, зниження рівня спотворень вхідного струму та пульсації напруги в ланці постійного струму.

Ключові слова: активний чотириквadrантний перетворювач, імітаційна модель, енергетичні характеристики електровоза.

Вступ. В системах управління сучасного електрорухомого складу (ЕРС) активні чотириквadrантні перетворювачів з широтно-імпульсною модуляцією є основною ланкою асинхронного тягового привода. Застосування чотириквadrантних перетворювачів (далі 4QS-перетворювачів) покращує енергетичні показники за рахунок реалізації близького до одиниці коефіцієнта потужності, знижує рівень високочастотних гармонік струму в системі енергопостачання, забезпечує двосторонній обмін енергією між ЕРС і мережею живлення та стабілізує напругу в ланці постійного струму (ЛПС). Асинхронним тяговим електроприводом обладнані вантажопасажирські електровози серії ДСЗ, що експлуатуються на ділянках змінного струму Укрзалізниці. Тягові перетворювачі електровозів виготовлені фірмою «Siemens» з використанням сучасної компонентної бази і схемних рішень та мають ряд конструктивних недоліків. Метою даної роботи є оцінка енергетичних параметрів 4QS-перетворювачів електровоза та вибір способів для їх покращення.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Питання використання 4QS-перетворювачів на ЕРС розглянуті в багатьох публікаціях як найбільш перспективного тягового привода [1,2] для сучасного ЕРС. Значна увага приділена розгляду математичних моделей 4QS-перетворювачів та розробці їх систем керування.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-13

На даний час існує велика кількість різних систем управління 4QS-перетворювачів, в яких найчастіше використовують систему керування на основі широтно-імпульсної [3-6] і гістерезисної [7,8] модуляції. В якості моделюючих сигналів при формуванні ШІМ-сигналів керування використані в більшості сигнали пропорційні напрузі живлення перетворювачів. В гістерезисних системах керування зміна моделюючого сигналу відбувається під впливом різниці між масштабованими входною напругою та миттєвим значенням входного струму. Частота комутації силових ключів при гістерезисній модуляції на порядок вище в порівнянні з ШІМ, що обумовлює значні втрати в потужних перетворювачах.

У значній частині публікацій досліджуються 4QS-перетворювачі та системи керування швидкісних електропоїздів [9-17] з метою підвищення їх енергоефективності та зменшення рівня емісії вищих гармонік спожитого струму в контактну мережу живлення. Відсутні дослідження 4QS-перетворювачів електровозів ДСЗ, оснащених асинхронними тяговими двигунами (АТД) потужністю 1200 кВт. Характерною особливістю цих перетворювачів є відсутність буферних дроселів на входах 4QS-перетворювачів. Їх роль виконують індуктивності розсіювання обмоток тягового трансформатора (ТТ), завдяки порівняно високому значенню відносної напруги короткого замикання трансформатора. Для порівняння, напруга короткого замикання ТТ типу ОНДЦЭД-6316/25 електровоза ДСЗ $u_k = 25.2\%$, тоді як аналогічний параметр близького за потужністю ТТ типу ОДЦЭ-5000/25 електровоза ВЛ80^С $u_k = 8.9\%$. Висока індуктивність розсіювання ТТ виконує функції: підвищення вихідної напруги ЛПС, зменшення пікових значень струму при замиканні ключів та значень струму високочастотних гармонік в контактній мережі і рейкових колах. Дослідження 4QS-перетворювачів електровозів ДСЗ дасть змогу оцінити їх конструктивні особливості та вибрати найбільш доцільний спосіб підвищення коефіцієнта потужності, покращення якості входного струму та вихідної напруги.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є: аналіз впливу параметрів системи управління та схемотехнічних рішень перетворювача на енергетичні характеристики 4QS-перетворювачів електровоза ДСЗ; пошук шляхів щодо підвищення коефіцієнта потужності, зниження рівня емісії високочастотних гармонік в контактну мережу та зниження пульсації випрямленої напруги в ЛПС.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі: проведено аналіз конструктивних особливостей тягового перетворювача електровоза ДСЗ; розроблена математична модель, яка дає змогу виконати всебічний аналіз параметрів та перехідних процесів в перетворювачі; розроблена віртуальна модель тягового перетворювача, яка дає змогу дослідити залежність енергетичних характеристики тягового 4QS-перетворювача від конструктивних параметрів та керуючих впливів.

Матеріали та методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використовувалися: класична теорія електричних кіл; імітаційне моделювання перетворювачів. Розрахунок параметрів та дослідження електромагнітних процесів виконано стосовно 4QS-перетворювача електровоза ДСЗ (рис.1). Тяговий електропривод електровоза складається з двох аналогічних тягових перетворювачів. Параметри ТТ наведені в таблиці 1.

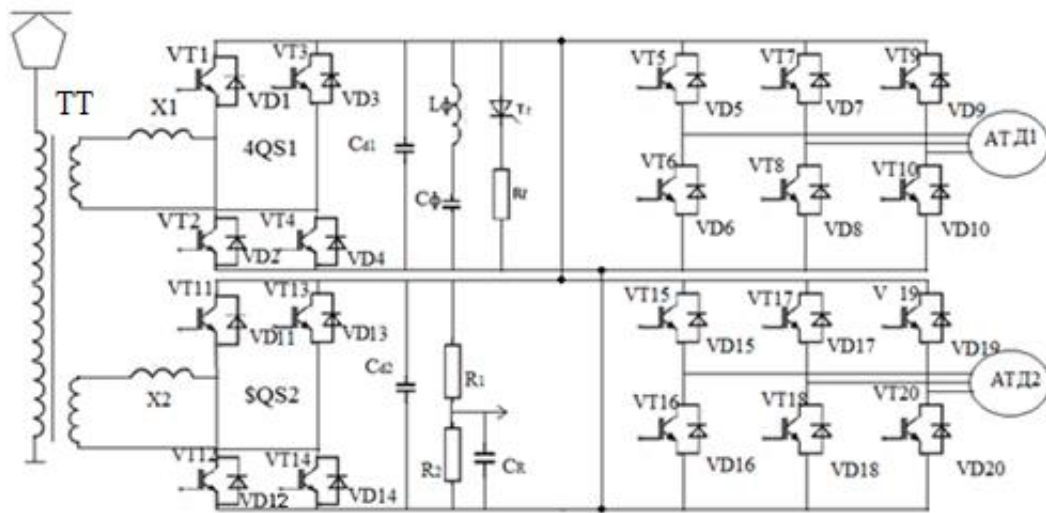


Рис. 1. Структура тягового перетворювача електровоза ДСЗ

Таблиця 1. Основні параметри тягового трансформатора (ТТ)

Потужність трансформатора, кВА:	6316
Номинальна частота мережі, Гц	50
Мережева обмотка (МО):	
Потужність, кВА:	6316
Номинальний струм, А	252,64
Номинальна напруга, В	25000
Тягові обмотки (ТО):	
Потужність, кВА	4x1218
Номинальна напруга, В	1300
Номинальний струм, А	936,9
Напруга КЗ між МО і однією ТО, віднесена до потужності однієї ТО, %	25,2

4QS- перетворювачі мають спільну ЛПС і складаються з двох паралельно увімкнутих фазових модулів з транзисторними ключами VT1-VT4, VT11-VT14 та зустрічно увімкненими діодами. IGBT модулі виконують роль ключів з великою частотою комутаційних операцій. З метою забезпечення рівномірного розподілу тепла в кожному півперіоді ключі працюють по чергові: VT1 або VT4 протягом одного півперіоду та VT2 або VT3- в другому півперіоді. Основні параметри перетворювача приведені в таблиці 2.

Індуктивності X1, X2 вхідного кола перетворювачів еквівалентні індуктивностям розсіювання обмоток ТТ. Ключі VT5-VT10 та VT15-VT20 входять до складу відповідно АПН1 і АПН2. Конденсатори C_{d1} , C_{d2} забезпечують накопичення енергії для згладжування і виконують функцію буфера між імпульсними вхідним та вихідним перетворювачами.

Таблиця 2. Основні технічні характеристики 4QS-перетворювача

Технічна характеристика	Значення
Номинальна вхідна напруга, В	1300
Частота на вході, Гц	50
Тактність перетворювача	7-ми або 9-ти кратна
Частота комутації IGBT ключів, Гц	350
Максимальний вхідний струм, режим тяги, А	1040
Максимальний вхідний струм, режим гальмування, А	865
Максимальний імпульсний струм ключа	2100
Тип IGBT модуля	FZ600R65KF1
Напруга ЛПС (режим тяги), В	2300-2400
Напруга ЛПС (режим гальмування), В	2500
Ємність ланки постійного струму	8,28 мФ
Тип охолодження	примусове (антифриз)

Резонансний фільтр L_ϕ, C_ϕ розрахований на подвійну частоту мережі. Елементи R_1, R_2, C_R, R_Z та T_Z входять до складу реєстратора замикання на землю в ЛПС та модуля захисту. Система керування 4QS-перетворювача побудована на основі широтно-імпульсної модуляції з ШІМ-модулятором, який забезпечує постійну частоту комутації фазових модулів. Система керування 4QS-перетворювачем двоканальна на основі двосторонньої ШІМ-модуляції. Для розрахунку і аналізу електромагнітних процесів в 4QS-перетворювачі використана спрощена схема заміщення, зображена на рис.2.

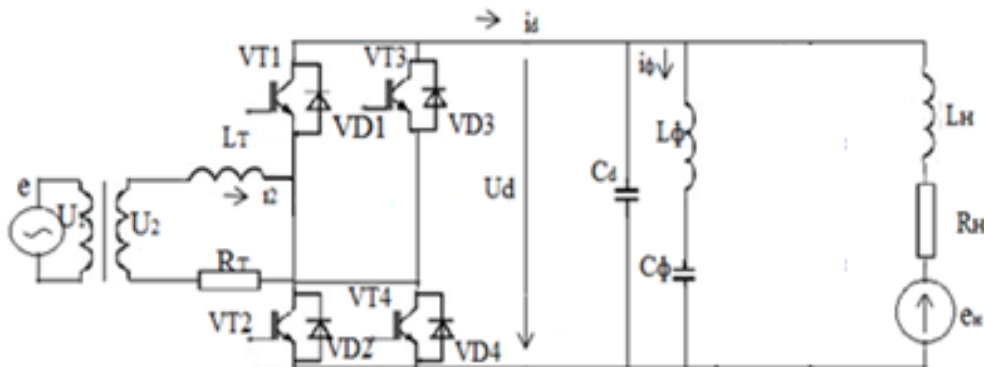


Рис. 2. Розрахункова схема заміщення 4QS- перетворювача

В роботі прийняті наступні позначення: u_1, u_2 – напруга первинної та вторинної обмоток ТТ; L_T – індуктивність розсіювання обмоток ТТ, приведена до вторинної обмотки ТТ; R_T – активний опір первинної та вторинної обмоток ТТ, приведений до вторинної обмотки. Еквівалентне навантаження 4QS – перетворювача включає індуктивність L_n , активний опір R_n та ЕРС e_n . В залежності від режиму роботи ЕРС змінюється співвідношення між напругою U_d та ЕРС АТД e_n .

Математична модель 4QS-перетворювача. Алгоритм управління побудований на основі синусоїдної ШІМ. Стан транзисторних ключів описується комутаційними функціями S_1, S_2, S_3, S_4 , які приймають значення 0 або 1. Модулюючий сигнал частотою $\omega = 2\pi f$

$$U_M(t) = \sin(\omega t + \psi) \quad (1)$$

порівнюється з трикутною тактовою напругою

$$U_T(t) = \frac{2}{\pi} \arcsin[\sin(\omega_T t + \frac{\pi}{2})]. \quad (2)$$

Відношення частот тактового і модулюючого сигналів оцінюється коефіцієнтом кратності

$$\varepsilon = \frac{f_T}{f_M}. \quad (3)$$

Глибина модуляції оцінюється відношенням амплітуд напруги модулюючого і тактового сигналів

$$\mu = U_M/U_T. \quad (4)$$

Комутаційні функції для транзисторів однієї фази VT1,VT2 та VT3,VT4 інверсні: $S1=\overline{S2}$, $S3=\overline{S4}$. При $U_M(t) > U_T(t)$ вмикається ключ VT1, при цьому $S1=1$, а ключ VT2 – вимикається і $S2=0$. Для транзисторів протилежної фази при $-U_M(t) > U_T(t)$ вмикається VT3 і $S3=1$, а VT4 – вимикається і $S4=0$. Ключі VT1-VT4 забезпечують імпульсне перетворення напруги вторинної обмотки ТТ.

Перехідний процес при комутації тиристорних ключів 4QS- перетворювача
Для розрахунку перехідних процесів в колі вторинної обмотки трансформатора використана спрощена схема заміщення (рис.3), де прийняті наступні позначення: К – тиристорний ключ; e_1 , e_2 – ЕРС обмоток ТТ; R_T , L_T – відповідно активний опір та індуктивність розсіювання ТТ, віднесені до вторинної обмотки; VD – зворотній діод модуля; Cd – ємність ЛПС.

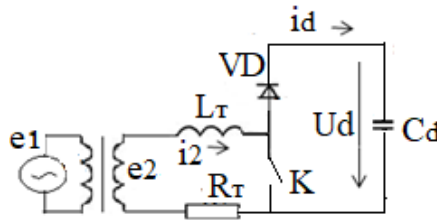


Рис. 3. Схема заміщення електричного кола при аналізі перехідного процесу

Перехідний процес при замиканні вторинної обмотки ТТ ключом К.
Створюється електричне коло: вторинна обмотка ТТ, індуктивність L_T і опір R_T . Струм i_2 в колі вторинної обмотки ТТ зростає за лінійним законом, відбувається накопичення енергії в магнітному полі. ЕРС самоіндукції $e_s = -L_T \frac{di}{dt}$ при цьому протидіє струму. Для контуру, що створився, за другим законом Кірхгофа складемо рівняння:

$$e_2 = i_2 R_T + L_T \frac{di_2}{dt}. \quad (5)$$

Розв'язок рівняння дає струм:

$$i = i_{y1} + i_{b1}, \quad (6)$$

який складається з усталеної та вільної складових. Усталений струм

$$i_{y1} = \frac{E_{2m} \sin(\omega t + \varphi)}{Z_1}, \quad (7)$$

де $Z_1 = \sqrt{R_T^2 + (\omega L_T)^2}$ – повний опір кола вторинної обмотки ТТ.

Рівняння для вільної складової

$$i_{b1} R_T + L_T \frac{di_{b1}}{dt} = 0. \quad (8)$$

Як відомо, рішення однорідного диференційного рівняння для вільної складової можна подати у вигляді

$$i_{b1} = A_1 e^{pt}, \quad (9)$$

де p – показник затухання. Похідна від вільного струму

$$\frac{di_{b1}}{dt} = p A_1 e^{pt} = p i_{b1}. \quad (10)$$

Отримаємо характеристичне рівняння

$$i_{b1} R_T + L_T p i_{b1} = 0, \quad (11)$$

звідки знаходимо показник затухання і сталу часу:

$$p = -\frac{R_T}{L_T}, \tau = \left| \frac{1}{p} \right| = \frac{L_T}{R_T}. \quad (12)$$

Сумарний струм в кінці інтервалу замкнутого стану ключа

$$i_{\Sigma 1} = \frac{E_{2m}}{Z_1} \sin(\omega t + \varphi) + A_1 e^{pt}. \quad (13)$$

Сталу інтегрування A_1 знайдемо, використовуючи початкові умови і перший закон комутації. Після підстановки початкових умов $i(0) = i_0$ у вираз (13) знаходимо

$$A_1 = i_0 - \frac{E_{2m}}{Z_1} \sin(\varphi). \quad (14)$$

Кінцеве значення струму в колі

$$i_{\Sigma k1} = \frac{E_{2m}}{Z_1} [\sin(\omega t + \varphi) - \sin(\varphi)] + i_0. \quad (15)$$

Перехідний процес при вимиканні ключа К. При цьому ЕРС e_s починає діяти в протилежному напрямі. Під дією ЕРС e_s і e_2 на затискачах змінного струму 4QS-перетворювача формується імпульс напруги u_s , який відкриває відповідні зворотні діоди транзисторного моста. Під дією напруги u_s в ЛПС протікає випрямлений струм i_d . ЕРС самоіндукції e_s визначається різницею між ЕРС e_2 і напругою ЛПС U_d . Для кола, що утворилось після комутації К мають місце ненульові початкові умови. Початкове рівняння для контуру, що утворився після комутації, за другим законом Кірхгофа

$$u_{R_T} - e_s + U_d = e_2, \quad (16)$$

де $e_s = -L_T \frac{di_2}{dt}$ - ЕРС індуктивності розсіювання ТТ.

Виразимо напругу через струм:

$$i_2 R_T + L_T \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C} \int i_2 dt = e_2. \quad (17)$$

Розв'язок для струму шукаємо аналогічно попередньому прикладу за формулою:

$$i_{\Sigma 2} = i_{y2} + i_{b2}. \quad (18)$$

Усталене значення струму

$$i_{y2} = \frac{E_{2m}}{Z_2} \sin(\omega t + \varphi), \quad (19)$$

де повний опір $Z_2 = \sqrt{R_T^2 + (\omega L_T - \frac{1}{\omega C})^2}$.

Рівняння для вільної складової струму

$$i_{b2} R_T + L_T \frac{di_{b2}}{dt} + \frac{1}{C} \int i_{b2} dt = 0. \quad (20)$$

Розв'язок рівняння в загальному вигляді: $i_{b2} = A_2 e^{pt}$, а похідна від вільного струму $\frac{di_{b2}}{dt} = p A_2 e^{pt}$. Після алгебраїзації диференційне рівняння має вигляд:

$$i_{b2} R_T + L_T p i_{b2} + \frac{i_{b2}}{Cp} = 0. \quad (21)$$

Із цього виразу отримаємо характеристичне рівняння:

$$p^2 + \frac{R_T}{L_T} p + \frac{1}{L_T C} = 0, \quad (22)$$

корені якого

$$p_{1,2} = -\frac{R_T}{2L_T} \pm \sqrt{\left(\frac{R_T}{2L_T}\right)^2 - \frac{1}{L_T C}} = -\alpha \pm \sqrt{\beta^2}, \quad (23)$$

де позначено: $\alpha = \frac{R_T}{2L_T}$; $\beta^2 = (\frac{R_T}{2L_T})^2 - \frac{1}{L_T C}$.

Як відомо, при $\beta^2 > 0$ корені рівняння різні, дійсні та негативні, а процес аперіодичний, стійкий. Розв'язок для струму має вигляд:

$$i_{B2} = A_{21}e^{p_1 t} + A_{22}e^{p_2 t}. \quad (24)$$

Зводимо складові струму і отримуємо загальний вираз для струму:

$$\frac{E_{2m}}{Z_2} \sin(\omega t + \varphi) + A_{21}e^{p_1 t} + A_{22}e^{p_2 t} = i_{S2}. \quad (25)$$

Сталі інтегрування знайдемо, використовуючи наступні початкові умови в момент розмикання ключа К: $t_{\text{п}} = 0$; струм в колі $i = i_{S_{K1}}$ (згідно першому закону комутації); ЕРС обмотки ТТ $e_2(t_K)$. Підставляємо початкові умови у вирази ЕРС і струму та отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{E_{2m}}{Z_2} \sin(\varphi) + A_{21} + A_{22} &= i_{S2}; \\ R_T \left(\frac{E_{2m}}{Z_2} \sin(\varphi) + A_{21} + A_{22} \right) + L_T \frac{E_{2m}}{Z_2} \cos(\varphi) + U_d &= e_2(t_K). \end{aligned} \quad (26)$$

Розв'язання системи рівнянь дає сталі A_{21} і A_{22} , після підстановка яких у (25) отримуємо вираз для струму в колі вторинної обмотки ТТ.

При подальшому замиканні чергового ключа починається наступний етап перехідного процесу, початкове значення якого рівне i_{S2} .

Полярність імпульсної напруги u_S на входних затискачах 4QS- перетворювача залежить від функцій перемикавання силових ключів:

$$\begin{aligned} u_S &> 0, \text{ при } (S1=1 \wedge S4=1) \wedge U_M(t) \geq 0; \\ u_S &< 0, \text{ при } (S2=1 \wedge S3=1) \wedge U_M(t) < 0. \end{aligned} \quad (27)$$

Струм на виході транзисторного моста

$$i_d = \begin{cases} i_2(t)(S1 - S2), & \text{при } U_M(t) > 0; \\ i_2(t)(S3 - S1), & \text{при } U_M(t) < 0. \end{cases} \quad (28)$$

Струм транзисторів моста

$$i_{VTi}(t) = i_2(t)Si, \quad (29)$$

де $i = 1 \div 4$.

Еквівалентне навантаженням 4QS-перетворювача. Обмотки статора АТД є симетричною трифазною системою з фазними опорами: $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z$, де Z -повний опір фази статора АТД. В трифазному АІН з ШІМ модуляцією і з'єднанні обмоток статора в «зірку» в будь-який момент часу має місце баланс напруги

$$U_d = U_1 + U_2, \quad (30)$$

де U_1 – фазова напруга обмотки (обмоток), з’єднаної з анодною шиною АІН;
 U_2 – фазові напруги обмоток (обмотки), з’єднаних з катодною шиною АІН.

Розподіл вхідної напруги АІН по фазах АТД при цьому наступний:

$$U_1 = \frac{2}{3}U_d, U_2 = \frac{1}{3}U_d. \quad (31)$$

Під дією фазової напруги протікає струм намагнічування I_n , який створює магнітний потік. Основний магнітний потік індуктує ЕРС E_i , а потік розсіювання – індуктивний опір x_i ($i=1\dots3$). При $U_2 = U_3$ маємо рівність ЕРС $E_2=E_3$.

Згідно з другим законом Кірхгофа ЕРС фазових обмоток $\dot{E}_1 = \frac{2}{3}U_d - Z\dot{I}_1$, $\dot{E}_2 = \frac{1}{3}U_d - Z\dot{I}_2$, а загальна ЕРС підсистеми навантаження 4QS- перетворювача

$$E' = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 = U_d - z(\dot{I}_1 + \dot{I}_2). \quad (32)$$

Зміна навантаження АТД викликає зміну струму ротора і статора, при цьому діюче значення магнітного потоку машини та ЕРС залишаються практично незмінними на протязі всього діапазону навантажень від неробочого ходу до номінального режиму.

При переході АТД в генераторний режим полярність напруги U_d на вході інвертора залишається незмінною, АІН працює як керований випрямляч і створює в статорі магнітне поле, синхронна частота якого менше частоти обертання ротора. Ковзання ротора стає від’ємним і АТД працює як асинхронний генератор. Напрямок середнього випрямленого струму I_n змінюється на протилежний.

Керуючі впливи 4QS-перетворювача. Зміна вихідних параметрів 4QS-перетворювача забезпечується вхідними впливами: глибиною модуляції μ , фазовим зсувом ψ та частотою тактового сигналу f_T .

Глибина модуляції μ змінює тривалість увімкнутого стану силових ключів. При цьому змінюється випрямлений струм та напруга на виході 4QS-перетворювача.

Фазовий зсув ψ імпульсної напруги. Для реалізації в режимі тяги коефіцієнта потужності $K_p \approx 1$ необхідні: відсутність зрушення між основними гармоніками напруги u_{21} та струму i_{21} (кут зрушення $\varphi = 0$; мінімальний рівень вищих гармонік в мережі живлення. В режимі рекуперативного гальмування вторинна обмотка ТТ – споживач електроенергії. При цьому ЕРС і струм в ній, для повернення енергії в мережу, мають кут зрушення $\varphi = 180^\circ$. Значення кута φ в режимах тяги та гальмування залежить від фазового зсуву ψ між імпульсною напругою u_{s1} на затискачах змінного струму 4QS-перетворювача та напругою вторинної обмотки трансформатора u_{21} . Для забезпечення кута $\varphi = 0$ в режимі тяги необхідно змістити основну гармоніку імпульсної напруги $u_{s1}(t)$ в сторону відставання ($\psi < 0$), тоді

$$u_{s1}(t) = U_{s1m} \sin(\omega t - \psi). \quad (33)$$

Щоб отримати значення кута $\varphi = 180^\circ$ необхідно створити випередження імпульсної напруги U_s на кут $\psi > 0$.

$$u_{s1}(t) = U_{s1m} \sin(\omega t + \psi). \quad (34)$$

Необхідний кут зсуву ψ забезпечується відповідним зміщенням по фазі модулюючого та тактового сигналів в системі ШІМ.

Амплітуда основної гармоніки вхідної імпульсної напруги згідно [1]:

$$U_{s1m} = U_d K_{max} \quad (35)$$

де $K_{max} = \tau_{max}/T_T$ -максимальний коефіцієнт модуляції.

Миттєве значення основної гармоніки імпульсної напруги може бути отримане з рівняння балансу вхідної і вихідної потужності 4QS- перетворювача

$$u_{s1}(t)i_{21}(t) = U_d i_d, \quad (36)$$

звідки

$$u_{s1}(t) = \frac{U_d i_d}{i_{21}(t)}, \quad (37)$$

де $i_{21}(t) = I_{21m} \sin(\omega t - \varphi)$ – миттєве значення основної гармоніки струму вторинної обмотки ТТ.

Регулювання кута ψ здійснюється шляхом зрушення фази модулюючого U_m та тактового U_T сигналів відносно напруги $u_{21}(t)$. Кут ψ може бути знайдений з векторної діаграми (рис.4.) вхідних затисків змінного струму 4QS-перетворювача, де $\bar{U}_L = \omega L_T \bar{I}_{21}$.

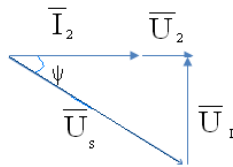


Рис.4. Векторна діаграма вхідного кола 4QS-перетворювача

З векторної діаграми $\psi = \arctan \frac{\omega L_T I_{21}}{U_2}$, а амплітуда основної гармоніки струму в колі змінного струму

$$I_{21m} = \frac{U_{s1m}}{\omega L_T} \sin \psi, \quad (38)$$

де L_T – індуктивність розсіювання обмоток ТТ та контактної мережі.

Індуктивність L_T впливає на швидкість зростання струму в колі вторинної обмотки ТТ при вмиканні силового ключа. Враховуючи, що приведений активний опір R_T обмоток ТТ незначний, миттєве значення струму в замкнутому колі

$$i_2(t) = I_{2m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \quad (39)$$

Різниця значень струму на початку і в кінці імпульсу струму

$$i_2(t) - i_1(t) = \frac{U_{2m}}{\omega L_T} \left[\sin\left(\omega t_2 - \frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(\omega t_1 - \frac{\pi}{2}\right) \right] = \frac{U_{2m}}{\omega L_T} (\cos \omega t_1 - \cos \omega t_2). \quad (40)$$

Сумарна індуктивність кола протікання імпульсу струму

$$L_T = \frac{U_{2m}(\cos \omega t_1 - \cos \omega t_2)}{\omega[i_2(t) - i_1(t)]}. \quad (41)$$

Індуктивність розсіювання контактної мережі при русі електровоза змінюється, тому система керування повинна забезпечувати з певною періодичністю вимірювання інтенсивності зростання імпульсів струму $i_2(t)$ та корегувати кут зрушення ψ .

Віртуальна модель 4QS-перетворювача. Для підтвердження аналітичних виразів, дослідження реакції перетворювача на керуючі впливи та зміну параметрів схеми в пакеті MatLab була розроблена віртуальна модель 4QS-перетворювача у відповідності параметрам ТП електровоза ДС3. Модель приведена на рис.5.

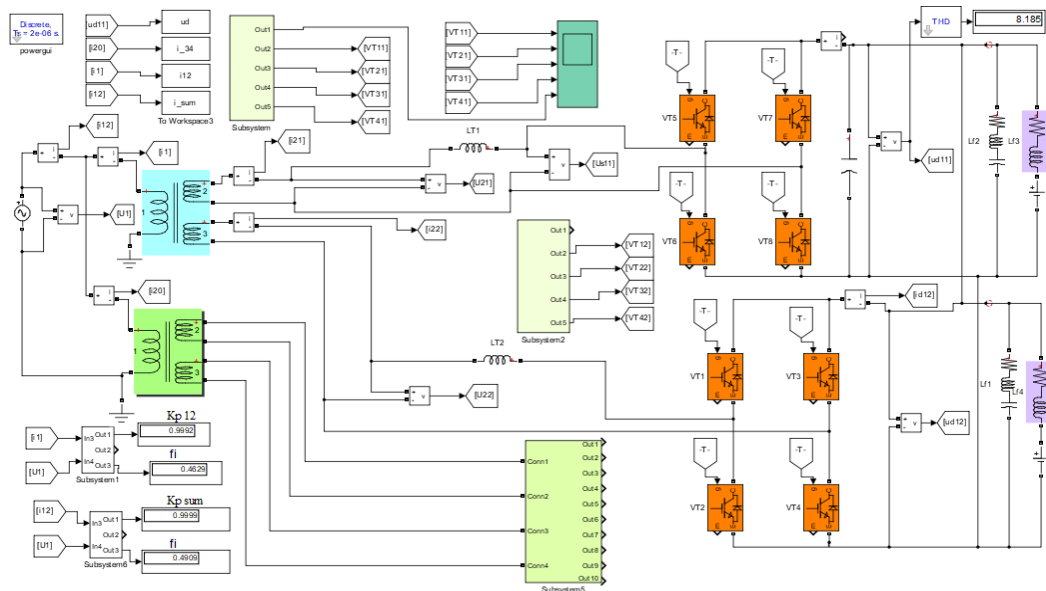


Рис. 5. Віртуальна модель тягового перетворювача електровоза ДС3

Індуктивність розсіювання обмоток трансформатора:

$$L_T = \frac{X_T}{2 \cdot \pi \cdot f}.$$

Моделювання електромагнітних процесів в колі 4QS-перетворювача виконано з урахуванням ТТ, від параметрів якого суттєво залежить режим роботи тягового перетворювача та його енергетичні характеристики [19].

Опір обмоток трансформатора, приведений до фази вторинної обмотки:

$$R_T = r_2 + \frac{r_1}{K_T^2}, \quad (42)$$

де r_1, r_2 – відповідно активні опори первинної та вторинної обмоток ТТ;
 K_T – коефіцієнт трансформації ТТ.

В результаті розрахунку параметрів еквівалентної схеми заміщення отримані значення: $r_1 = 0,512$ Ом; $r_2 = 0,0025$ Ом; $K_T=19,2$. Опір обмоток ТТ відповідно формулі (42) $R_T=3,889 \cdot 10^{-3}$ Ом. Індуктивність розсіювання обмоток трансформатора L_T , приведена до фази вторинної обмотки залежить від індуктивності первинної і вторинної обмоток ТТ:

$$L_T = L_2 + L_1/L_T^2. \quad (43)$$

Для визначення L_T скористаємось паспортним значенням напруги короткого замикання ТТ $u_k\%$. Якщо вважати активну складову опору короткого замикання ТТ рівною нулю, то для напруги короткого замикання ТТ можна вважати

$$U_k = \frac{I_{1н} \cdot X_T \cdot K_T^2}{U_{1н}}, \quad (44)$$

де $I_{1н}$, $U_{1н}$ – відповідно номінальні значення напруги та струму первинної обмотки ТТ; X_T – індуктивний опір обмоток, віднесений до вторинної обмотки.

З виразу (44) індуктивний опір обмоток ТТ: $X_T = \frac{U_{1н} \cdot u_k\%}{I_{1н} \cdot K_T^2 \cdot 100} = \frac{U_{2н} \cdot u_k\%}{I_{2н} \cdot 100} = 0,35$ Ом.

У віртуальній моделі використано отримане значення $L_T=1,114$ мГн. Основні параметри моделі наведені в табл. 3.

В моделі за допомогою лінійних трансформаторів реалізовано паралельну роботу 4QS-перетворювачів ТП№1,2 та досліджено вплив зсуву по фазі опорних сигналів синхронізації. Дворівнева підсистеми керування Subsystem забезпечує формування імпульсів керування роботою транзисторних мостів тягових перетворювачів в режимі ШІМ. Математичний модуль вимірювання енергетичних характеристик побудований на основі блоків бібліотеки Simulink.

Таблиця 3. Параметри віртуальної моделі 4QS-перетворювача електровоза ДСЗ

Параметри	Значення параметрів
Номінальна вхідна напруга	1300 В 1АС
Частота на вході	50 Гц
Напруга ЛПС, режим тяги	2300- 2400 В
Напруга ЛПС, режим гальмування	2500 В
Ємність ланки постійного струму	8,28 мФ
Приведена до ЛПС індуктивність АТД	1,191 мГн
Приведений до ЛПС активний опір АТД	0,132 Ом
Приведена до ЛПС ЕРС АТД	2350 В

В ході моделювання проведено дослідження енергетичних характеристик 4QS-перетворювачів при опорних частотах 350 Гц та 450 Гц. Розглянуто наступні варіанти: робота двох перетворювачів (аварійна схема) із зсувом по фазі опорних частот на 90°; робота всіх чотирьох 4QS-перетворювачів без зсуву по фазі опорних частот та із зсувом на кут $\alpha = \frac{360}{n}$, де n – кількість вхідних перетворювачів.

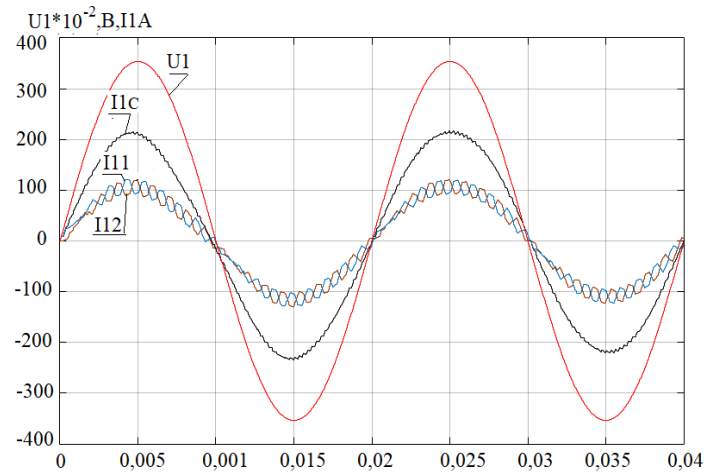


Рис. 6. Осцилограма струмів і напруги в первинній обмотці ТТ в режимі тяги.
U1 – напруга; I11 – складова струму ТП №1; I12 – складова струму ТП №2;
I1c – сумарний струм первинної обмотки ТТ

Вірогідність моделювання підтверджена шляхом порівняння даних розрахунку з реальними паспортними параметрами 4QS-перетворювача електровоза ДСЗ. Отримані значення: коефіцієнта потужності електровоза; коефіцієнта гармонійних викривлень струму первинної обмотки трансформатора THD (total harmonic distortion); коефіцієнта пульсації вихідної напруги U_d ; залежності рівня напруги в ЛПС від глибини модуляції μ ; значення фазового зсуву ψ , необхідного для реалізації тягового та гальмівного режимів. Для тягового режиму та номінального навантаження отримані наступні поліноміальні регресії вказаних залежностей:

$$\varphi = 159,6\mu^2 - 346,4\mu + 152,1 ; \varphi = 23,7\psi^2 - 122,42\psi - 68,45 ; \quad (45)$$

$$U_d = 155,6 \mu^2 - 15,42 \mu + 2426 . \quad (46)$$

Залежності (45), (46) свідчать, що для стабілізації фазового зсуву φ необхідне синхронне регулювання глибини модуляції μ та кута зрушення ψ . Осцилограма струмів і напруги в первинній обмотці ТТ в режимі тяги (рис.7) відповідає параметрам: глибина модуляції $\mu=0,6$, кут зрушення $\psi = -0.345$ рад., частота комутації тиристорних ключів 350 Гц, зсув по фазі опорних частот перетворювачів $\alpha = -45^\circ$. Значення коефіцієнта потужності електровоза $K_p = 99,03\%$ при куті зсуву $\varphi = -0,2^\circ$. При частоті комутації тиристорних ключів 450 Гц коефіцієнт потужності $K_p = 99,98\%$, а кут зсуву $\varphi = -0,78^\circ$.

Осцилограми випрямлених напруги і струму в ЛПС в режимі тяги приведені на рис.8. Коефіцієнт пульсації випрямленої напруги 3,49%. При аварійній схемі, коли вимкнено два 4QS- перетворювача з АТД та частоті комутації тиристорних ключів 350 Гц коефіцієнт потужності $K_p = 96,61\%$.

Результати Фур'є-аналізу струму первинної обмотки ТТ для режиму тяги приведені на рис.7.

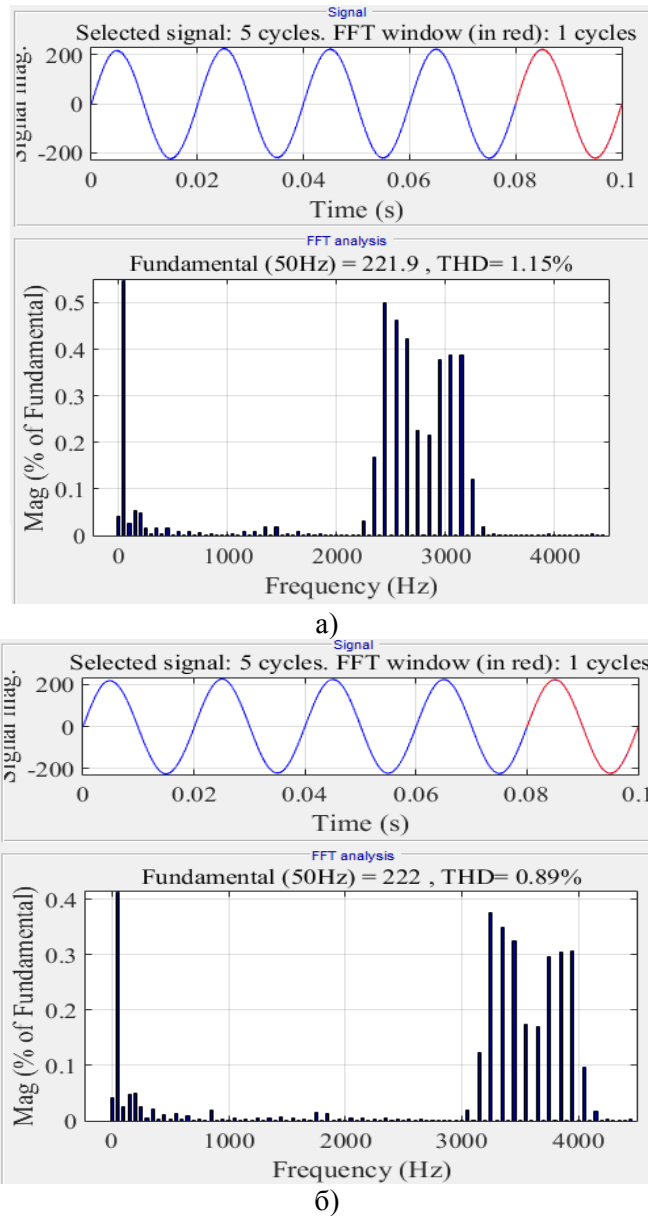


Рис. 7. Результати Фур'є-аналізу струму первинної обмотки ТТ в тяговому режимі при використанні: а) ШІМ з частотою опорного сигналу 350 Гц; б) ШІМ з частотою опорного сигналу 450 Гц

Для мінімізації паразитних струмів впроваджено зсув по фазі тактової напруги всіх чотирьох 4QS-перетворювачів. В тяговому режимі при опорній частоті 350 Гц, фазових зсувах опорних частот відповідно 0, -45° , -90° , -135° , глибини модуляції $\mu=0,6$ коефіцієнт спотворень вхідного струму $THDi1 = 1,15\%$. (рис.7.а) . При частоті 450 Гц і аналогічних фазових зсувах опорних частот $THDi1 = 0,89\%$ (рис.7.б).

Спектри гармонік струму змінюються в залежності від частоти опорного сигналу. При частоті опорного сигналу 350 Гц характерний шестикратний, а при частоті 450 Гц – восьмикратний спектр вищих гармонік.

Значно кращі енергетичні характеристики можна отримати при фазовому зсуві опорних частот ТП №1,2 на 45° , а опорних частот в кожному фазовому модулі на 90° , що відповідає схемі $0^\circ, 90^\circ, -45^\circ, 45^\circ$ при глибині модуляції $\mu=0,6$. Отримані наступні енергетичні показники: $K_p = 99,99\%$; $THDi1 = 1,15\%$; $THDud = 0,25\%$.

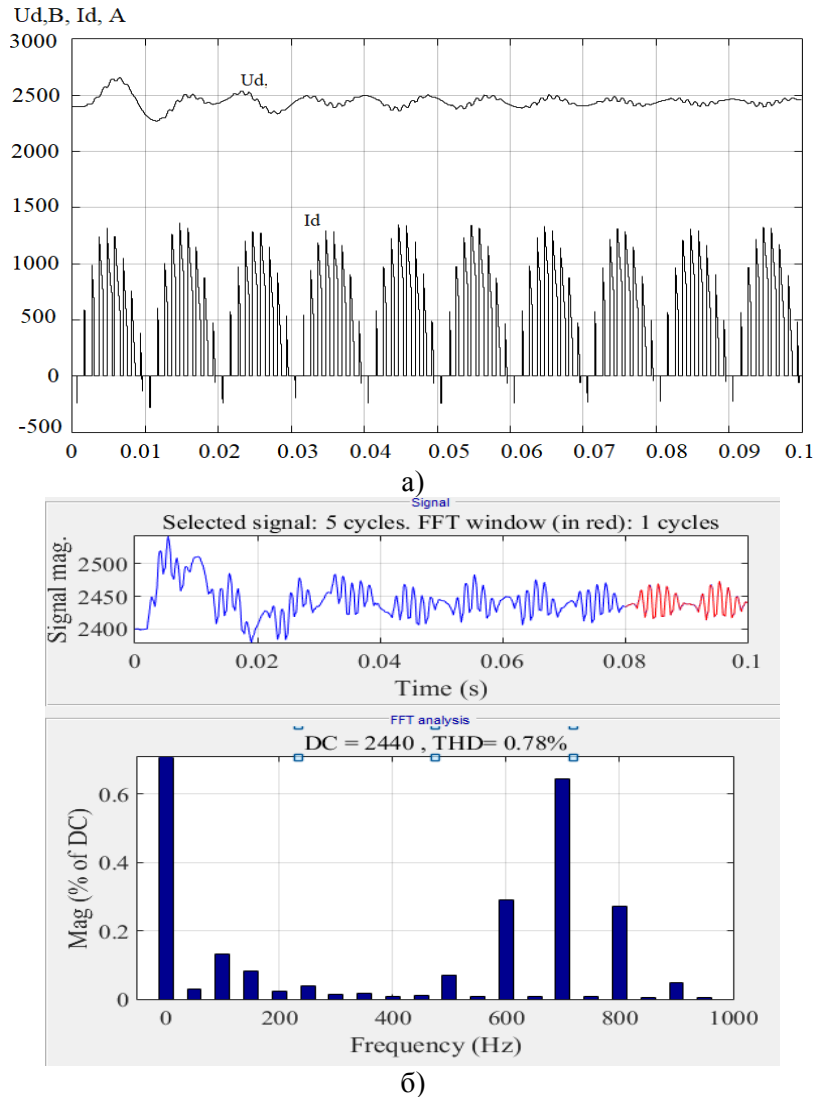


Рис. 8. Осцилограми вихідної напруги U_d і струму I_d (а) та результати Фур'є-аналізу вихідної напруги ЛПС (б)

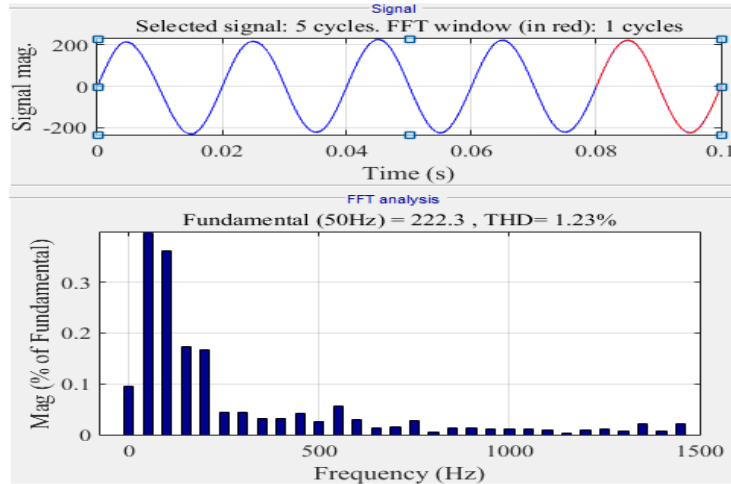
При підвищенні глибини модуляції до $\mu=0,8$, якщо не змінювати кут зрушення ψ енергетичні показники погіршуються: $K_p = 72\%$; $THDi1 = 1,93\%$. Зменшення кута зрушення до $\psi = -1,5708$ рад дає змогу відновити енергетичні показники: $K_p = 99,999\%$; $THDi1 = 0,38\%$. Підвищення глибини модуляції приводить також до збільшення пульсації випрямленої напруги, $THDud = 1,49$.

Осцилограми вихідної напруги U_d і струму I_d ЛПС та результати Фур'є-аналізу вихідної напруги для режиму тяги приведені на рис.8.

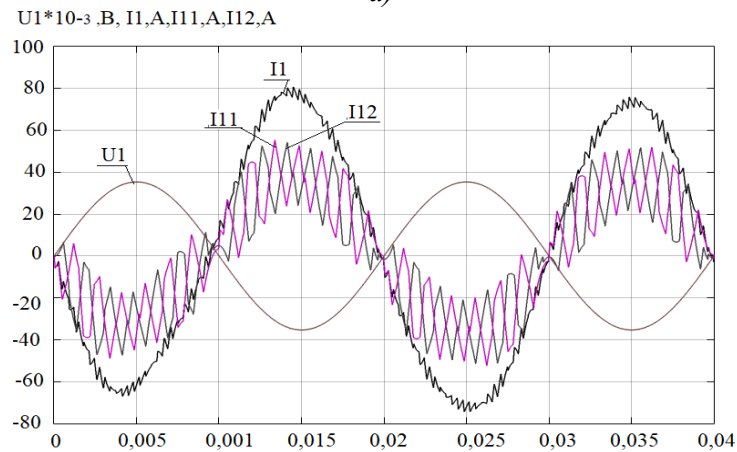
Коефіцієнт пульсації вихідної напруги відносно постійної складової складає 0,78%. Найбільшу амплітуду мають гармоніки 3, 12, 14 та 16.

В режимі рекуперативного гальмування зсув по фазі між напругою та струмом $\varphi=180^\circ$ (рис.9.а), а коефіцієнт потужності перетворювача $K_p = -99,74\%$.

Коефіцієнта спотворень струму первинної обмотки ТТ (рис.9.б) згідно Фур'є-аналізу $THDi1 = 1,23\%$ при напрузі в ЛПС $U_d = 2500$ В.



а)



б)

Рис. 9. Осцилограма струмів і напруги в первинній обмотці ТТ в режимі рекуперативного гальмування. I11 – складова струму ТП №1; I12 – складова струму ТП №2; I1 – сумарний струм первинної обмотки ТТ(а). Фур'є-аналіз струму первинної обмотки ТТ (б)

Висновки. Отримані результати моделювання адекватні реальним робочим параметрам 4QS- перетворювача електровоза. Розроблена віртуальна модель дає змогу виконувати дослідження з метою покращення енергетичних показників. Установлена причина підвищеної пульсації напруги в ланці постійного струму. Визначено характер зміни кута зрушення φ при зміні глибини модуляції та значення кута зрушення ψ в режимах споживання та повернення енергії.

Отримані результати свідчать, що нема необхідності збільшувати частоту комутації силових ключів тягових перетворювачів електровозів до 1 кГц. Високі енергетичні показники 4QS- перетворювачів можна отримати, при відповідному виборі параметрів схеми та системи керування, також при частотах 350 Гц та 450 Гц.

ЛІТЕРАТУРА

1. Иньков Ю.М., Литовченко В.В., Назаров Д.В. Особенности тягового электрооборудования перспективного электроподвижного состава// Журнал «Электротехника». 2016. №. 9. С. 38-44. ISSN: 0013-5860
2. Бурков А.Т., Валинский О.С., Евстафьев А.М., Мазнев А.С., Третьяков А.В. Системы управления тяговым приводом современных локомотивов // Журнал «Электротехника». 2019. №10. С.33-36. ISSN: 0013-5860
3. Arpit Bohra, Divya Sajeesh, Chintan Patel and Michael Saldanha. Modulation Techniques in Single Phase PWM Rectifier // IJCA Proceedings on International Conference on Advances in Science and Technology, (ICAST), 2015 (3): 5–7, February 2016. P. 5–7.
4. Киселев М.Г., Лепанов М.Г., Крюков К.В. Расчёт и выбор основных параметров четырёхквadrанных регуляторов на основе компьютерного моделирования // Журнал «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты». Труды МКЭЭЭ-2016. 2016. С.185-187. ISSN: 0013-5860
5. Полуянович Н.К. Математическое описание процессов 4Q-S преобразователя// Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. №6 (155). С. 32-39. ISSN: 1999-9429e ISSN: 2311-3103.
6. Крюков А. В., Черепанов А. В., Шафиков А. Р. Моделирование несинусоидальных режимов в системах электроснабжения железных дорог при движении локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями // Иркутский государственный университет путей сообщения.Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. Т.60. № 4. С.99-108. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.4(60)99-108.
7. Щербак Я.В., Плахтій О.А., НерубацькийВ.П. Анализ энергетических характеристик активного четырехквadrантного выпрямителя с различными типами шипотно-импульсной модуляции // Вісник НТУ «ХПІ», 2017. 27(1249). ISSN: 2079-8024.
8. Щербак Я.В., Плахтій О.А., НерубацькийВ.П. Регульовальні характеристики активного чотириквadrантного перетворювача в режимах випрямлення і рекуперації// Технічна електродинаміка. 2017. №6. С. 26-31. ISSN: 1607-7970, 2218-1903.
9. Lin F. et al. Analysis of electrical characteristics of the four-quadrant converter in high speed train considering pantograph-catenary arcing //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2017. T. 231. №. 2. С. 185-197.
- 10 . Fei Lin, Xiaofan Wang, Zhongping Yang, Hu Sun.Wenzheng Liu, Ruixiang Hao, Jinghai Jiao and Jin Yu. Analysis of electrical characteristics of the four-quadrant converter in high speed train considering pantograph-catenary arcing// Rail and Rapid Transit. 2017.Vol. 231(2). P. 185–197.
11. Сокол Е. И. Ивахно В. В.,Замаруев В. В.,Стысло Б.А.. Сравнение показателей эффективности различных схем двухзвенных обратимых преобразователей с разделенной коммутацией с четырехквadrантными ключами в силовом коммутаторе звена инвертора тока// Вестник Национального технического университета ХПИ. [сб. науч. тр.] : Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Силовая электроника и энергоэффективность. – Харьков, 2017. С. 171-176.
12. Титова Т.С., Евстафьев А.М., Сычугов А.Н. Повышение энергетической эффективности подвижного состава переменного тока // Журнал «Электротехника». 2017. №10.С.46-52. ISSN: 0013-5860
13. Monteiro V. et al. A Novel Single-Phase Bidirectional Nine-Level Converter Employing Four Quadrant Switches //2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). – IEEE, 2018. P. 1-6.
14. Kejian S. et al. High performance control strategy for single-phase three-level neutral-point-clamped traction four-quadrant converters //IET Power Electronics. 2017. T. 10. №. 8. P. 884-893.
15. Runze Zhang, Fei Lin , Zhongping Yang, Hu Cao and Yuping Liu. A Harmonic Resonance Suppression Strategy for a High-Speed Railway Traction Power Supply System with a SHE-PWM Four-Quadrant Converter Based on Active-Set Secondary Optimization// Energies. 2017. T.№10. 1567. P. 1-23.doi: 10.3390/en10101567.
16. Song Kejian, Georgios Konstantinou, Li Jing, Wu Mingli , Vassilios Georgios Agelidis. High performance control strategy for singlephase three-level neutral-point-clamped traction four-quadrant

converters// IET Power Electron. 2017. Vol. 10 Iss. 8. P. 884-893. doi: 10.1049/iet-pel.2016.0153. ISSN 1755-4535/2017.

17. He L., Xiong J., Ouyang H., et al.: High-performance indirect current control scheme for railway traction four-quadrant converters// IEEE Trans. Ind. Electron. 2014, 61, (12), P. 6645–6654.

18. Goolak S., Gerlici J., Sapronova S., Tkachenko V., Lack T., Kravchenko K. Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives// Communications-Scientific letters of the University of Zilina. 2019. 21(2), P.24-31.

<http://komunikacie.uniza.sk/index.php/communications/article/view/1465>

19. Якушев А.Я., Серeda А.Г. Компьютерное моделирование тягового трансформатора с секционированными вторичными обмотками// Журнал «Известия Петербургского университета путей сообщения». 2016/1135 №1815-588x.C.50-59.

REFERENCES

1. Inkov Yu.M., Litovchenko VV, Nazarov D.V. (2016). *Osobennosti tyagovogo elektrooborudovaniya perspektivnogo elektrodvizhushchego sostava* [Features of traction electrical equipment of promising electric rolling stock]. Journal "Electrical Engineering", 9, 38-44.

2. Burkov A.T., Valinsky O.S., Evstafiev A.M., Maznev A.S., Tretyakov A.V. (2019). *Sistemy upravleniya tyagovym privodom sovremennykh lokomotivov* [Traction drive control systems for modern locomotives]. Zhurnal «Elektrotehnika» [Journal "Electrical Engineering"], 10, 33-36.

3. Arpit Bohra, Divya Sajeesh, Chintan Patel and Michael Saldanha. (2016). Modulation Techniques in Single Phase PWM Rectifier// IJCA Proceedings on International Conference on Advances in Science and Technology, (ICAST), 3, 5–7.

4. Kiselev M.G., Lapanov M.G., Kryukov K.V. (2016). *Raschot i vybor osnovnykh parametrov chetyrokhkvadrantnykh regulyatorov na osnove komp'yuternogo modelirovaniya* [Calculation and selection of the main parameters of four-quadrant controllers based on computer simulation]. Zhurnal «Elektromekhanika, elektrotehnologii, elektrotekhnicheskiye materialy i komponenty». Trudy MKEEE-2016 [Journal "Electromechanics, Electrotechnologies, Electrotechnical Materials and Components". Proceedings of the FEEEEE-2016]. 185-187.

5. Poluyanovich N.K. (2014). *Matematicheskoye opisaniye protsessov 4Q-S preobrazovatelya* [A mathematical description of the processes of a 4Q-S converter]. Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhn. nauki [News of the Southern Federal University. Engineering]. 6 (155), 32-39.

6. Kryukov A. V., Cherepanov A. V., Shafikov A. R. (2018). *Modelirovaniye nesinusoidal'nykh rezhimov v sistemakh elektrosnabzheniya zheleznyye dorogi pri dvizhenii lokomotivov s asinkhronnymi tyagovymi dvigatelyami* [Modeling of non-sinusoidal modes in power supply systems of railways during the movement of locomotives with asynchronous traction motors]. Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya.Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye [Irkutsk State Transport University. Modern Technologies. System analysis. Modeling], 60(4), 99-108.

7. Scherbak Ya.V., Plakhtiy O.A., Nerubatsky V.P. (2017). *Analiz energeticheskikh kharakteristik aktivnogo chetyrekhkvadrantnogo vupryamitelya s razlichnymi tipami shipotno-impul'snoy modulyatsii* [Analysis of the energy characteristics of an active four-quadrant rectifier with various types of pulse-pulse modulation]. Visnik NTU «KHPI» [Visnik NTU "KhPI"], 27(1249).

8. Scherbak Ya.V., Plakhtiy O.A., Nerubatsky V.P. (2017). *Regulyuval'ni kharakteristiki aktivnogo chotirikvadrantnogo peretvoryuvacha v rezhimakh retsipieratsii* [Regular characteristics of the active four-dimensional quadrant overvoltage in the modes of direct and recuperation]. Tekhnichna yelektrodinamika [Technological electrodynamics], 6, 26-31.

9. Lin F. et al. (2017). Analysis of electrical characteristics of the four-quadrant converter in high speed train considering pantograph-catenary arcing //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 231(2), 185-197.

10. Fei Lin, Xiaofan Wang, Zhongping Yang, Hu Sun, Wenzheng Liu, Ruixiang Hao, Jinghai Jiao and Jin Yu. (2017). Analysis of electrical characteristics of the four-quadrant converter in high speed train considering pantograph-catenary arcing// Rail and Rapid Transit, 231(2), 185–197.
11. Sokol E.I. Ivakhno V.V., Zamaruev V.V., Styslo B.A. (2017). *Sravneniye pokazateley effektivnosti razlichnykh skhem dvukhzvennykh preobrazovateley s razdelitel'noy kommutatsiyey i chetyrekhkvadrantnymi klyuchami v silovom kommutatore transformatora toka* [Comparison of the performance indicators of various schemes of two-link reversible converters with divided switching with four-quadrant keys in the power switch of the current inverter link]. *Vestnik tekhnicheskogo universiteta KHPI* [Bulletin of the National Technical KhPI University]. *Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika. Silovaya elektronika i energoeffektivnost* [Problems of an automated electric drive. Theory and practice. Power electronics and energy efficiency], Kharkov, 171-176.
12. Titova T.S., Evstafiev A.M., Sychugov A.N. (2017). *Povysheniye energeticheskoy effektivnosti podvizhnogo sostava peremennogo toka* [Improving the energy efficiency of rolling stock of alternating current]. *Zhurnal «Elektrotekhnika»*. [Journal "Electrical Engineering"], 10, 46-52.
14. Kejian S. et al. (2017). High performance control strategy for single-phase three-level neutral-point-clamped traction four-quadrant converters // IET Power Electronics, 10(8), 884-893.
15. Runze Zhang, Fei Lin, Zhongping Yang, Hu Cao and Yuping Liu. (2017). A Harmonic Resonance Suppression Strategy for a High-Speed Railway Traction Power Supply System with a SHE-PWM Four-Quadrant Converter Based on Active-Set Secondary Optimization// Energies, 10(1567), 1-23.
16. Song Kejian, Georgios Konstantinou, Li Jing, Wu Mingli, Vassilios Georgios Agelidis. (2017). High performance control strategy for singlephase three-level neutral-point-clamped traction four-quadrant converters// IET Power Electron, 10(8), 884-893.
17. He L., Xiong J., Ouyang H., et al. (2014). High-performance indirect current control scheme for railway traction four-quadrant converters// IEEE Trans. Ind. Electron, 61(12), 6645–6654.
18. Goolak S., Gerlici J., Sapronova S., Tkachenko V., Lack T., Kravchenko K. (2019). Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives// Communications-Scientific letters of the University of Zilina, 21(2), 24-31.
19. Yakushev A.Ya., Sereda A.G. (2016). *Komp'yuternoye modelirovaniye tyagovogo transformatora s sektionirovannymi vtorichnymi obmotkami* [Computer simulation of a traction transformer with sectioned secondary windings]. *Zhurnal «Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya»* [Journal "Bulletin of the St. Petersburg University of Railways"], 1135(1815-588x), 50-59.

Юрий Дубравин, к. т. н., доц.

*(доцент кафедры тягового подвижного состава железных дорог
Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

Виктор Ткаченко, д. т. н., проф.

*(заведующий кафедрой тягового подвижного состава железных дорог
Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ АКТИВНОГО ЧЕТЫРЕХКВАДРАНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В работе приведено математическое описание переходного процесса при переключении силовых ключей 4QS-преобразователя, выполнен расчет параметров математической модели. Разработана имитационная модель 4QS-преобразователя электровоза ДСЗ и проведено исследование его регулировочных и энергетических характеристик. Предложены мероприятия по повышению

коэффициента мощности, снижению уровня искажений входного тока и пульсации напряжения в звене постоянного тока.

Ключевые слова: активный четырехквadrантный преобразователь, имитационная модель, энергетические характеристики электровоза

Yuri Dubravin, Ph.D. in Technical Science, docent,
(Associate Professor of Department «Traction Rolling Stock Department» of the State University of Infrastructure and Technology)
Viktor Tkachenko, Doctor of Engineering, prof.,
(Head of Department «Traction Rolling Stock Department» of the State University of Infrastructure and Technology)

RESEARCH OF THE MODEL OF AN ACTIVE FOUR-QUADRANT TRANSMITTER OF AC MAIN ELECTRIC VEHICLE

The article considers the analysis of the features of the asynchronous traction electric drive of the DS-3 electric locomotive with an active four-quadrant converter when powered by a contact AC network. The calculation of the model parameters was performed and the transient process when switching power keys is studied on the basis of a mathematical description of the processes of the four-quadrant converter.

Expressions are given for determining the power factor and phase shift between voltage and current. A simulation model of the four-quadrant converter of the DS-3 electric locomotive has been developed. The relative parameters of the traction transformer are calculated based on the passport data. A study of the model of a four-quadrant converter was carried out, the dependences that were obtained: phase shift between the input voltage and current on the modulation depth and phase shift of the clock signal; output voltage on modulation depth. The values of the phase shift angles were determined during the implementation of traction and regenerative braking modes. The influence of the parameters of the four-quadrant converter on the energy characteristics of the traction converter were analyzed. Measures are proposed to increase the power factor, improve the quality of the current consumed from the contact network and reduce the level of voltage ripple in the DC link.

Keywords: active four-quadrant converter, simulation model, energy characteristics of an electric locomotive

УДК 004.02:004.89

Завгородня Ганна Анатоліївна
(старший викладач кафедри інформаційних технологій, Державний університет інфраструктури та технологій)
Завгородній Валерій Вікторович, к.т.н, доцент
(доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет інфраструктури та технологій)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРОБКИ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ ТЕХНОГЕННИХ АВАРІЙ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Розглянуті нові підходи, що дозволяють розширити логічні можливості алгоритмів управління на основі ретельного аналізу логіки процесу виробки рішень для формалізації процесу управління об'єктами. Встановлено, що автоматизація процесів виробки рішень в разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру при керуванні силами і засобами повинна ґрунтуватися на семіотичному принципі.

***Ключові слова:** моделювання, техногенна аварія, семіотична система, ситуаційний підхід, аксіоматичний підхід, синтез,*

Вступ. Як відомо, основу автоматизації управління становить моделювання процесів аналізу поточної ситуації, виробки рішення і трансформація цих моделей у програмне забезпечення систем управління.

Проведений аналіз показує, що моделювання дій з управління черговими силами відповідних підрозділів для протидії техногенних аварій на кількісній основі або неможливо (важке), або при побудові таких моделей у них припускаються сильні спрощення і припущення [1].

Це обумовлено тим, що об'єкти моделювання не задовольняють основним принципам, на яких базується застосовність класичних обчислювальних методів у силу наявності наступних характерних властивостей [1, 2]:

- конфліктний та ієрархічний характер взаємодії як між елементами усередині об'єкта, так і з навколишніми об'єктами, при сильному впливі на процеси функціонування людського фактору;
- переважно понятійний характер наявних описів умов і поточної ситуації в зовнішньому середовищі, у рамках якої передбачається використання об'єкта;
- присутність досить великої невизначеності в описі параметрів зовнішнього середовища і об'єкта управління.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-1

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У цей час створені об'єктивні передумови для формалізації завдань виробки рішень. Так, питанням структуризації знань системи управління присвячений ряд робіт [3, 4]; формалізації оцінки ситуацій – робота [5]; створенню адаптивних і рефлексивних алгоритмів управління – роботи [6, 7]; підвищенню оперативності і обґрунтованості рішень на управління – робота [8, 9].

У роботі [10] розглядаються питання організації діалогу особи, що приймає рішення з керуючою електронно-обчислювальною машиною мовою, близькою до природної.

Подальший розвиток одержала концепція експертних систем і систем підтримки прийняття рішень, у рамках яких розробляються підходи до рішення ряду проблем розпізнавання ситуацій і прийняття рішень [11, 12].

Однак відсутні роботи, у яких досліджувалися б питання формалізації завдання виробки рішень для управління черговими силами при виявленні техногенної аварії, а також їхнього нарощування при наявності результатів рішення прогностичних завдань.

Мета і завдання дослідження – необхідно розглянути нові підходи, що дозволяють розширити логічні можливості алгоритмів управління на основі ретельного аналізу логіки процесу виробки рішень для формалізації процесу управління об'єктами.

Матеріали та методи дослідження. Під управлінням розуміється здійснюваний на підставі одержуваної інформації про стан об'єктів управління і зовнішнього середовища цілеспрямований вплив на керовані об'єкти, що забезпечує досягнення необхідних цільових настанов.

У розглянутій предметній області керуючий орган, що здійснює виробку рішень, виконує збір і об'єднання інформації про поточний стан об'єкта управління і зовнішнього середовища та на основі зібраних даних формує узагальнене представлення про обстановку і прогнозування її розвитку (рис. 1).



Рис. 1. Функції керуючих органів у процесі виробки рішень при управлінні об'єктом підвищеної небезпеки

Далі виконується зіставлення прогнозованого стану обстановки з цільовою настановою системи та виявляються ситуації, що вимагають втручання, і завдання управління, що підлягають рішенню. На основі обрання планів і засобів рішення окремих часткових завдань, які узгоджуються між собою, здійснюється прийняття рішень, формування і видача команд на керований об'єкт. Також керуючий орган здійснює контроль реалізації прийнятих рішень та корегування планів відповідно до ходу реального процесу.

Проведений в [13] докладний аналіз процесу виробки рішень показує, що останній характеризується строгою логічною послідовністю та етапом узагальнення елементів обстановки до рівня, характерного для особи, що приймає рішення.

Таким чином, розроблювальний формальний апарат виробки рішень повинен дозволяти моделювати елементи розумової діяльності особи, що приймає рішення.

Другою важливою вимогою до спеціального математичного забезпечення є адаптація реалізованих принципів виробки рішень до умов функціонування системи управління, зокрема, до поточної обстановки. Під адаптацією спеціального математичного забезпечення тут розуміється двоїтий процес [14], з одного боку, уточнення знань та даних про зовнішнє середовище і керовані об'єкти шляхом коректування відповідних моделей, з іншого боку, зміни системи правил виробки рішення на управління підлеглими об'єктами, а при необхідності – і правил обробки інформації стосовно конкретної обстановки.

Одним із кроків у створенні спеціального математичного забезпечення, що задовольняє цим вимогам, може бути використання систем, здатних оцінювати поточну ситуацію і ухвалювати рішення щодо управління. Особливістю таких систем є те, що вони будуються на базі понять, що характеризують об'єкти системи і зовнішнього середовища.

В умовах апріорної невизначеності функціонування системи управління такими узагальненими поняттями можуть бути цілі системи. Такі системи називаються семіотичними або логіко-лінгвістичними [18]. Під семіотичною системою [16] розуміють кортеж:

$$W = (T, H, G, Q, X, L, E) \quad (1)$$

у якому підсистема $A = (T, H, G, Q)$ є формальною системою, а підсистема $B = (X, L, E)$ призначена для зміни зазначеної формальної системи в режимах навчання і адаптації стосовно до конкретної предметної області. Підсистема A виражає синтаксичний аспект системи W , а підсистема B – її семантичний і прагматичний аспекти.

У підсистемі A множина T є множина базисних символів; H – множина синтаксичних правильних виразів; G – підмножина безлічі синтаксично правильних виразів, обумовлених як семантично правильні вирази; Q – правила, що дозволяють одержувати з елементів G нові семантично правильні вирази.

Підсистема B відбиває основну специфіку семіотичних систем. Правила X змінюють множину G шляхом модифікації, введення або видалення законів предметної області. Правила L визначають зміну правил Q . В теорії цілеспрямованих систем [12] проблема зміни правил Q звичайно трактується як завдання адаптації до даної предметної області. Правила E змінюють правила H , тобто синтаксис системи W .

Існують два основних підходи до побудови семіотичних систем: ситуаційний і аксіоматичний [12].

Ситуаційний підхід застосовується, в основному, до систем, для яких характерна велика кількість ситуацій і порівняно невелике число схем рішень.

Позитивною властивістю ситуаційного підходу є широке використання апарата узагальнення, що дозволяє представляти моделі складних проблемних середовищ у компактному вигляді без втрати істотної для рішення завдання інформації [12].

Основними недоліками, що знижують ефективність використання ситуаційного підходу для формалізації завдань прийняття рішень, є:

використання в ситуаційному підході мов представлення знань, що породжують громіздкі і малоефективні для користувача конструкції;

внесення в систему знань нових понять і відношень може привести до необхідності перебудови всієї структури моделі проблемного середовища на всіх рівнях узагальнення (порушення умови адаптивності);

в умовах апріорної невизначеності і великої розмаїтості варіантів розвитку подій різко знижується обґрунтованість рішень;

неможливість обґрунтування рішення, пропонуваного для реалізації, якщо відповідь у готовому вигляді не зберігається в системі знань, тобто відсутність можливості організації роботи системи в питально-відповідальному режимі.

Від перерахованих недоліків вільний аксіоматичний підхід, що базується на формально-логічному описі проблемного середовища і використовує процедури дедуктивного виводу [17]. Його головна перевага полягає в тому, що немає необхідності знати, яке рішення необхідно прийняти в тій або іншій ситуації. Воно логічно виводиться із загальних принципів, положень, правил, що описують властивості проблемної області і опис сформованої ситуації.

Однак даний підхід припускає інформаційну повноту, несуперечність і конкретність моделі знань про предметну область, що суперечить особливостям знань про завдання, розв'язувані при управлінні силами і засобами відповідних підрозділів в умовах суперечливості і обмеженості вихідних даних.

Вихід з цього положення полягає у розвитку аксіоматичного підходу на основах розробки способів подання знань у системах підтримки прийняття рішень, що враховує неповноту і можливу суперечливість інформації [13].

Основним напрямком досліджень, що задовольняють зазначеним вимогам, є використання аксіоматичного підходу до формалізації і рішення завдань виробки рішень для управління ризиками виникнення техногенної аварії, що мають розрахунковий і логіко-аналітичний характер, і дозволяють проводити формалізацію тільки на базі кількісних математичних методів. Використання аксіоматичного підходу лежить у рамках розробки інтелектуальної системи, заснованої на знаннях експертів у розглянутій предметній області і теорії нечітких множин.

Передача керуючій електронно-обчислювальній машині функцій, що забезпечують рішення складних логічних завдань у процесі виробки рішень, припускає дослідження ряду питань, основним з яких є розробка методу синтезу варіанта рішення в ході динамічного коректування планів, що дозволяє синтезувати адаптивні алгоритми управління обстановки, що склалася моделюванням розумової діяльності людини і здійснювати структурування знань системи управління.

Висновки. Аналіз розглянутих методів виробки рішень дозволяє зробити такі висновки:

1. Автоматизація процесів виробки рішень в разі надзвичайних ситуацій техногенного характеру при керуванні силами і засобами повинна ґрунтуватися на семіотичному принципі.
2. Аксіоматичний підхід є найбільш прийнятний для рішення завдання виробки рішень при надзвичайних ситуаціях техногенного характеру.
3. Розробка методу синтезу варіантів рішень дозволяє використати адаптивні алгоритми управління з моделюванням розумової діяльності людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Coit W., Chatwattanasiri N., Wattanapongsakorn N., Konak A. Dynamic k-out-of-n system reliability with
2. Liu H.C., Liu L., Liu N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*. 2013. Т.40. №2. Р. 828-838.
3. Отрох С.І., Завгородній В.В., Завгородня Г.А. Аналіз взаємозв'язку збитку з ризиком при виникненні техногенних аварій в концепції прийнятного ризику. *Телекомунікаційні та інформаційні технол*
4. Lu J.M., Wu X.Y. Reliability evaluation of generalized phased-mission systems with repairable components. *Reliability Engineering & System Safety*. 2014. Т. 121. Р. 136-145.
5. Tinga T. Introduction: The Basics of Failure. *Principles of Loads and Failure Mechanisms*. 2013. Р. 3-10.
6. Завгородній В.В., Завгородня Г.А. Метод подання знань про оцінку ризику виникнення техногенних аварій. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2018. Випуск 4 (111). С. 43–48. DOI:10.30929/1995-0519.2018.4.43-48.
7. Han X., Zhang J. A combined analysis method of FMEA and FTA for improving the safety analysis qual
8. Wu W., Tang Y., Yu M., Jiang Y. Reliability analysis of a k-out-of-n: G repairable system with single vas. *оп. Applied Mathematical Modelling*. 2014. 38(24). Р. 6075-6097.
9. Отрох С.І., Завгородній В.В., Завгородня Г.А., Грищенко О.О. Аналіз методів подання знань при розпізнаванні надзвичайних ситуацій техногенного характеру. *Наукові записки Українського науково-дос.*
10. Levitin G., Liudong X., Suprasad A., Yiwu D. Reliability of non-repairable phased-mission systems with propagated failures. *Reliability Engineering & System Safety*. 2013. Т. 119. Р. 218-228.
11. Завгородній В.В., Завгородня Г.А. Модель управління ризиком об'єктів підвищеної небезпеки. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2018. №18 (58). С. 53-55. DOI:10.25313/2520-2057-2018-18
12. Ruijters E., Stoelinga M. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Cor*
13. Xing L., Levitin G. BDD-based reliability evaluation of phased-mission systems with internal/external common-cause failures. *Reliability Engineering & System Safety*. 2013. №112. Р. 145-153.
14. Завгородній В.В., Завгородня Г.А. Метод кількісної оцінки ризику технічних систем. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2018. Вип. 32-33. С. 87-95. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-87-95>.
15. Hua D., Elsayed E.A., Al-Khalifa K.N., Hamouda A.S. Reliability estimation of load sharing capacity-c-out-of-n pairs: G Balanced system. *Prognostics and System Health Management Conference (PHM)*. 2015. Р.1-8.
16. Zavgorodnya A., Zavgorodnii V., Maiko V., Malikov V., Zhuk D. Methods and models for assessment of reliability of structural-complex systems. *World Science*. 11(39). 2018. PP. 5-14. DOI: 10.31435/rsglobal ws/30112018/6227.
17. Zhai Q., Xing L., Peng R., Yang J. Multi-Valued Decision Diagram-Based Reliability Analysis of k-out-of-n Cold Standby Systems Subject to Scheduled Backups. *IEEE Transactions on Reliability*. 64(4). 2015. Р. 1310-1324.

REFERENCES

1. Coit, D. W., Chatwattanasiri, N., Wattanapongsakorn, N., & Konak, A. (2015). Dynamic k-out-of-n system
2. Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*, 40(2), 828-838.
3. Otrokh, S.I., Zavgorodnii, V.V., & Zavgorodnya, G.A. (2018). Analiz vzayemozv'yazku zbytku z ryzykom pry vynykenni tekhnohennykh avariiv v kontseptsii pryynatnoho ryzyku [Analysis of interaction of risk damage in the case of technogenic accidents in the concept of acceptable risk]. *Telekomunikatsiyni ta informatsiyni tekhnolohiyi – Telecommunication and Information Technologies*, 2 (59), 117-123, DOI: 10.316.
4. Lu, J. M., & Wu, X. Y. (2014). Reliability evaluation of generalized phased-mission systems with repairal
5. Tinga, T. (2013). Introduction: The Basics of Failure. In *Principles of Loads and Failure Mechanisms* (pp. 3-10). Springer, London.
6. Zavgorodnii, V.V., & Zavgorodnya, G.A. (2018). Metod podannya znan' pro otsinku ryzyku vynykennya tekhnohennykh avariiv [Method of representation of knowledge about the assessment of risk of appearance of technogenic accidents]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrad'skoho – Bulletin of Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskyi National University*, 4 (111), 43-48, DOI: 10.30929/1995-0519.2018.4.43-48 [in Ukraine]
7. Han, X., & Zhang, J. (2013, December). A combined analysis method of FMEA and FTA for improving the safety analysis quality of safety-critical software. In *Granular computing (GrC), 2013 IEEE international conference on* (pp. 353-356). IEEE.
8. Wu W. et al. Reliability analysis of a k-out-of-n: G repairable system with single vacation // *Applied Mathematical Modelling*. – 2014. – T. 38. – №. 24. – С. 6075-6097.
9. Otrokh, S.I., Zavgorodnii, V.V., Zavgorodnya, G.A. & Hryshchenko, O.O. (2018). Analiz metodiv podannya znan' pry rozpoznavanni nadzvychaynykh sytuatsiy tekhnohennoho kharakteru [Analysis of the methods of presentation of knowledge in the recognition of emergency situations of anthropogenic nature]. *Naukovi zapysky Ukrayins'koho naukovo-doslidnoho instytutu zv'yazku. – Scientific notes of the Ukrainian Research*
10. Levitin, G., Xing, L., Amari, S. V., & Dai, Y. (2013). Reliability of non-repairable phased-mission systems with propagated failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 119, 218-228.
11. Zavgorodnii, V.V., & Zavgorodnya, G.A. (2018). Model' upravlinnya ryzykom ob'yektiv pidvyshchenoyi nebezpeky [Risk management model of high danger objects]. *Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal "Internauka" – International scientific journal «Internauka»*, 18 (58), 53-55, DOI: 10.25313/2520-2057-2018-058-053-055
12. Ruijters E., Stoelinga M. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools // *Computer science review*. – 2015. – T. 15. – С. 29-62.
13. Xing L., Levitin G. BDD-based reliability evaluation of phased-mission systems with internal/external common-cause failures // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2013. – T. 112. – С. 145-153.
14. Zavgorodnya, A., & Zavgorodnii, V. (2018). Metod kil'kisnoyi otsinky ryzyku tekhnichnoyi systemy [Method of quantification of risk of technical system]. *Transportni systemy i tekhnolohiyi – Transport Systems*
15. Hua D. et al. Reliability estimation of load sharing capacity-c-out-of-n pairs: G Balanced system // *Prognostics and System Health Management Conference (PHM)*, 2015. – IEEE, 2015. – С. 1-8.
16. Valerii Zavgorodnii, Anna Zavgorodnya, Vladyslav Maiko, Valerii Malikov, Dmytro Zhuk. (2018) Methods And Models For Assessment Of Reliability Of Structural-Complex Systems. *World Science*. 11(39). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30112018/6227
17. Zhai Q. et al. Multi-Valued Decision Diagram-Based Reliability Analysis of \$ k \$-out-of-\$ n \$ Cold Standby Systems Subject to Scheduled Backups // *IEEE Transactions on Reliability*. – 2015. – T. 64. – №. 4. – С. 1310-1324.

Завгородняя Анна Анатольевна
(старший преподаватель кафедры информационных технологий,
Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Завгородний Валерий Викторович, к.т.н, доцент
(доцент кафедры информационных технологий, Государственный
университет инфраструктуры и технологий)

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЙ
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ
В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Рассмотрены новые подходы, позволяющие расширить логические возможности алгоритмов управления на основе тщательного анализа логики процесса выработки решений для формализации процесса управления объектами. Установлено, что автоматизация процессов выработки решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера при управлении силами и средствами должна основываться на семиотическом принципе.

Ключевые слова: моделирование, техногенная авария, семиотическая система, ситуационный подход, аксиоматический подход, синтез

Zavgorodnya Anna
(Senior teacher of Department of information technology, State University of
Infrastructure and Technology)
Zavgorodnii Valerii, Ph.D. in Technical Sciences,
(Associate Professor of Department of information technology, State
University of Infrastructure and Technology)

**ANALYSIS OF DECISION MAKING METHODS IN THE EVENT
OF TECHNOGENIC ACCIDENTS IN REAL-TIME MANAGEMENT
SYSTEMS**

New approaches that allow to expand the logical capabilities of control algorithms based on a thorough analysis of the logic of the decision making process for formalizing the process of object management is considered. Based on the analysis of decision-making methods, it is established that the automation of decision-making processes in the event of emergencies of an anthropogenic nature in the management of forces and facilities should be based on the semiotic principle. To solve the problem of developing solutions in emergency situations of anthropogenic nature, the axiomatic approach is the most acceptable. The development of a method for the synthesis of solution options allows the use of adaptive control algorithms with the modeling of human mental activity. The use of an axiomatic approach to formalizing and solving problems of developing solutions for managing the risks of an industrial accident can only be formalized on the basis of quantitative mathematical methods.

Keywords: modeling, technogenic accident, semiotic system, situational approach, axiomatic approach, synthesis

УДК 004.45:629.4.05:625.4

Андрій Сулим, к.т.н.

(заступник директора з наукової роботи державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»)),

Олександр Сіора

(менеджер відділу кваліфікації і калібрування обладнання ТОВ «НВП Радікс»),

Павло Хозя, к.т.н., с.н.с.

(завідувач лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки ДП «УкрНДІВ»),

Олександр Мельник

(завідувач науково-дослідної групи досліджень мікропроцесорних систем управління, тягово-енергетичного обладнання, електричного обладнання та комфорту залізничної техніки ДП «УкрНДІВ»).

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДА МЕТРОПОЛІТЕНУ

В статті обґрунтовано необхідність розробки програмного забезпечення для дослідження динамічних і енергетичних показників під час заданих умов ведення поїзда метрополітену з системами рекуперації. Проаналізовано наявні математичні моделі, які описують рух поїзда метрополітену та прийняті в цих моделях припущення.

Ключові слова: *поїзд метрополітену, математична модель, система рекуперації, програмне забезпечення, дослідження, автоматизація.*

Вступ та постановка проблеми. Метрополітен є одним з основних засобів забезпечення мобільності населення міст-мегаполісів. На долю Київського метрополітену припадає більше ніж 50 % від обсягу міських пасажирських перевезень [1]. Інтенсивне зростання чисельності населення міст-мегаполісів призводить до необхідності розширення міських меж, збільшення площі транспортної мережі та ущільнення графіка руху поїздів, а значить, і до подальшого збільшення енергоспоживання метрополітеном. При цьому значна частина витрат електроенергії припадає на тягу рухомого складу [1–3]. Тому нові технічні рішення, направлені на економію електричної енергії, що витрачається на тягу рухомого складу метрополітену, є необхідними та актуальними.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-2

Аналіз останніх досліджень. Одним з перспективних напрямків економії електроенергії є підвищення ефективності використання енергії рекуперативного гальмування рухомого складу метрополітену. За результатами аналізу існуючих робіт [3–7] встановлено, що ефективним заходом з підвищення використання енергії рекуперативного гальмування, який в значній мірі дозволить економити електроенергію, є впровадження бортових ємнісних накопичувачів енергії (ЄНЕ). Серед основних переваг застосування бортових ЄНЕ порівняно з стаціонарними є наступні: максимальна ефективність енергообміну, стабілізація напруги контактної мережі, забезпечення автономного ведення рухомого складу [3–7].

На даний час в світі існують прототипи поїздів метрополітену, в яких впроваджені системи рекуперативного гальмування з бортовими ЄНЕ. Це, передусім, метрополітени США, Японії, Великобританії. На території України поки що експлуатуються поїзди метрополітену з системами рекуперації без бортових ЄНЕ (вагони метрополітену моделей 81-7036, 81-7037 та модернізовані вагони моделей 81-7080, 81-7081, 81-7081-01 виробництва ПАТ «КВБЗ»), проте теоретичні дослідження у цьому напрямку активно ведуться.

Одним з необхідних, недостатньо вивчених та актуальних питань є визначення раціональної потужності та енергоємності бортового ЄНЕ для заданого режиму ведення рухомого складу метрополітену з системами рекуперації. Вирішенню цього питання присвячено чимало робіт [3–5, 8–12]. Проте в зазначених роботах запропоновані підходи та методи визначення раціональних параметрів бортового ЄНЕ базуються на проведенні експериментальних досліджень енергетичних процесів між контактною мережею та тяговим електроприводом. Основним недоліком розроблених методів та підходів є значні фінансові витрати на виконання експериментальних досліджень енергетичних процесів. Тому, враховуючи зазначене, для оцінки раціональних параметрів бортового ЄНЕ, необхідна розробка програмного забезпечення для моделювання руху поїзда метрополітену з системами рекуперації, здатного виконувати дослідження реальних динамічних і енергетичних процесів під час штатних умов його експлуатації. Аналіз робіт [10, 12, 13] показав, що вирішенню цього питання приділено недостатньо уваги. Використання такого програмного забезпечення дозволить зменшити витрати та пришвидшити виконання досліджень з визначення раціональної потужності та енергоємності бортового ЄНЕ.

Мета і завдання дослідження – розробка програмного забезпечення для дослідження динамічних і енергетичних показників під час заданих умов ведення поїзда метрополітену з системами рекуперації.

Матеріали та результати досліджень. Перед розробкою програмного забезпечення проаналізовано наявні математичні моделі для імітації руху поїзда метрополітену та прийняті в цих моделях припущення. За результатами цього аналізу встановлено, що основу будь-якої математичної моделі складає диференційне рівняння руху поїзда, яке отримано з другого закону Ньютона [14–17]. При цьому в математичних моделях зазвичай приймаються наступні припущення: вся маса поїзда зосереджена в центрі тяжіння, а рух поїзда розглядається як рух матеріальної точки або поїзд розглядається як «нерозтяжима жорстка нитка» з урахуванням його довжини. В першому випадку, під час вирішення рівняння руху поїзда опір від ухилу профілю на кроці інтегрування приймається рівним ухилу, на якому знаходиться центр поїзда. В іншому випадку (моделі є більш точними), припускається, що маса поїзда рівномірно розподілена

по його довжині та враховується, що поїзд одночасно знаходиться на декількох елементах профілю.

З урахуванням вищезазначеного, для описання динамічних і енергетичних показників під час заданих умов ведення поїзда метрополітену з системами рекуперації запропонована удосконалена математична модель, яка представлена у вигляді системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = m \frac{dV}{dt} (1 + \gamma) + W_{\text{осн}} \pm W_i; \\ W_{\text{осн}} = aV^2 + bV + c; \\ W_i = mgi; \\ A_{\text{мережі}} = A_{\text{тяги}} - A_{\text{рек}}; \\ A_{\text{тяги}} = \frac{U_{\text{кмтяги}} \cdot \int_0^t I_{\text{тяги}} dt}{3600}; \\ A_{\text{рек}} = \frac{U_{\text{кмрек}} \cdot \int_0^t I_{\text{рек}} dt}{3600}; \\ I_{\text{тяги}} = \frac{FV}{U_{\text{кмтяги}} \eta_{\text{інв}} \eta_{\text{ТД}} \eta_{\text{ред}}}; \\ I_{\text{рек}} = \frac{FV \eta_{\text{інв}} \eta_{\text{ТД}} \eta_{\text{ред}}}{U_{\text{кмрек}}}; \eta_{\text{ТД}} = f(V), \end{array} \right.$$

де F – сила тяги (гальмування) рухомого складу; m – маса рухомого складу; V – швидкість руху; t – поточний час; $(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції обертових мас; $W_{\text{осн}}$ – основний опір руху; W_i – додатковий опір руху від приведенного ухилу; g – значення прискорення вільного падіння; a, b, c – коефіцієнти, які залежать від конструкції рухомого складу; i – приведений ухил; $A_{\text{мережі}}$ – кількість спожитої електроенергії з контактної мережі; $A_{\text{тяги}}$ – кількість спожитої електроенергії в режимі тяги; $A_{\text{рек}}$ – кількість електроенергії, що віддається в режимі рекуперативного гальмування; $U_{\text{кмтяги}}$ – напруга контактної мережі в режимі тяги; $U_{\text{кмрек}}$ – напруга контактної мережі в режимі рекуперативного гальмування; $I_{\text{тяги}}$ – струм, що споживається рухомим складом в режимі тяги; $I_{\text{рек}}$ – струм, що генерується рухомим складом в режимі рекуперативного гальмування; $\eta_{\text{інв}}$ – ККД інвертора; $\eta_{\text{ТД}}$ – ККД тягового двигуна; $\eta_{\text{ред}}$ – ККД редуктора.

В запропонованій математичній моделі (1) прийнято наступні припущення: поїзд розглядається як матеріальна точка з центром тяжіння по середині; напруга контактної мережі для заданих режимів тяги, вибігу, рекуперативного гальмування є величиною незмінною. Слід зазначити, що розроблена математична модель дозволяє враховувати конструктивні та технічні особливості поїзда, зміну ККД тягового двигуна залежно від швидкості руху, а також досліджувати енергетичні процеси в режимі рекуперативного гальмування рухомого складу метрополітену.

В подальшому з використанням рівнянь математичної моделі (1) розроблено процедуру, яка дозволяє досліджувати динамічні та енергетичні показники під час заданих режимів ведення рухомого складу метрополітену. Алгоритм цієї процедури досліджень зображено на рис. 1.

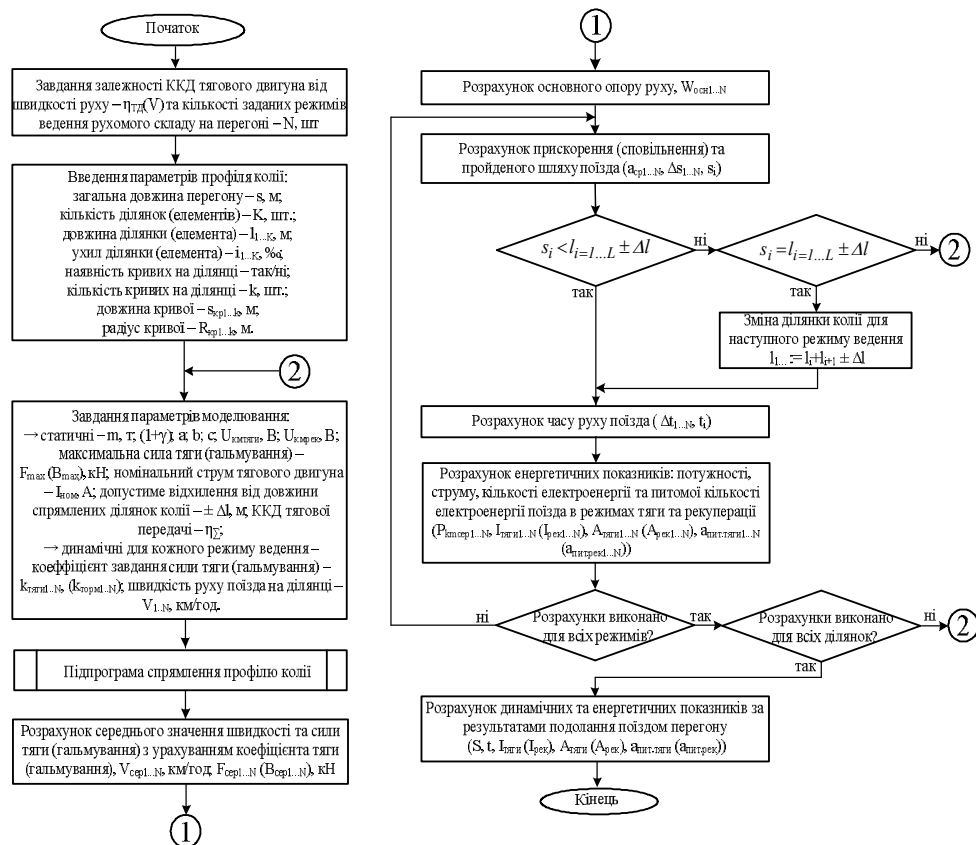


Рис. 1. Алгоритм процедури досліджень динамічних та енергетичних показників під час заданих умов експлуатації поїзда метрополітену з системами рекуперації

Процедура досліджень включає етапи обчислень та розрахунків, суть яких розглянуто нижче.

1) Задається енергетична характеристика (залежність ККД тягового двигуна від швидкості руху) та кількість заданих режимів ведення рухомого складу на перегоні.

2) Вводяться параметри профілю колії: загальна довжина перегону (s), кількість ділянок (K), довжина кожної ділянки ($l_{1...K}$), ухил кожної ділянки ($i_{1...K}$), наявність кривих на кожній з ділянок (так/ні), у випадку наявності кривих на ділянці, вказується їх кількість (k), для кожної кривої – довжина ($s_{кр1...k}$), та радіус ($R_{кр1...k}$).

3) Заданоються параметри моделювання:

– статичні (m ; $1+\gamma$; a ; b ; c ; $U_{\text{кмтяги}}$; $U_{\text{кмрек}}$); максимальна сила тяги (гальмування) – F_{max} (B_{max}); номінальний струм тягового двигуна – $I_{\text{ном}}$; допустиме відхилення від довжини спрямлених ділянок колії – $\pm \Delta l$; ККД тягової передачі – $\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{інв.}} \cdot \eta_{\text{ред.}}$

– динамічні для кожного режиму ведення – коефіцієнт завдання сили тяги (гальмування) – $k_{\text{тяги}1\dots N}$, $k_{\text{гальм}1\dots N}$; швидкість руху поїзда на ділянці – $V_{1\dots N}$.

4) Виконується підпрограма спрямлення профілю колії, описання та методика розрахунків якої більш детально описана в роботах [15, 16, 18]. Алгоритм роботи підпрограми спрямлення профілю колії зображено на рис. 2.

5) Розраховуються середні значення швидкості та сили тяги (гальмування) з урахуванням коефіцієнта тяги (гальмування):

$$V_{\text{ср}1\dots N} = \frac{(V_i + V_{i+1})}{2}; \quad (2)$$

$$F_{\text{ср}1\dots N} = \frac{(k_i F_{\text{max}}(B_{\text{max}}) + k_{i+1} F_{\text{max}}(B_{\text{max}}))}{2};$$

6) Обчислюється основний опір руху:

$$W_{\text{осн.}1\dots N} = (aV_{1\dots N}^2 + bV_{1\dots N} + c)9,81\text{m}.$$

7) Виконується розрахунок прискорення (сповільнення) поїзда:

$$a_{\text{ср}1\dots N} = \frac{(F_{\text{ср}1\dots N}(B_{\text{ср}1\dots N}) - W_{\text{осн.}1\dots N} \pm W_{i1\dots L})}{m(1+\gamma)}$$

8) Після розрахунку прискорення (сповільнення) перевіряється умова: « $a_{\text{ср}1\dots N} = 0?$ ». Якщо умова виконується, тоді оператором задається значення пройденого шляху $\Delta s_{1\dots N}$. В іншому випадку виконується розрахунок:

– пройденого шляху під час зміни швидкості [14–17]

$$\begin{aligned} \Delta s_{1\dots N} &= \frac{m(1+\gamma)}{(F(B)_{\text{ср}1\dots N} - W_{\text{осн.}1\dots N} \pm W_{i1\dots L})} \int_{V_i}^{V_{i+1}} V dV = \\ &= \frac{m(1+\gamma)(V_{i+1\dots N}^2 - V_{i\dots N}^2)}{25,92(F(B)_{\text{ср}1\dots N} - W_{\text{осн.}1\dots N} \pm W_{i1\dots L})}, \end{aligned}$$

– поточного пройденого шляху [13–15, 17]

$$s_i = s_{i-1} + \Delta s_i. \quad (7)$$

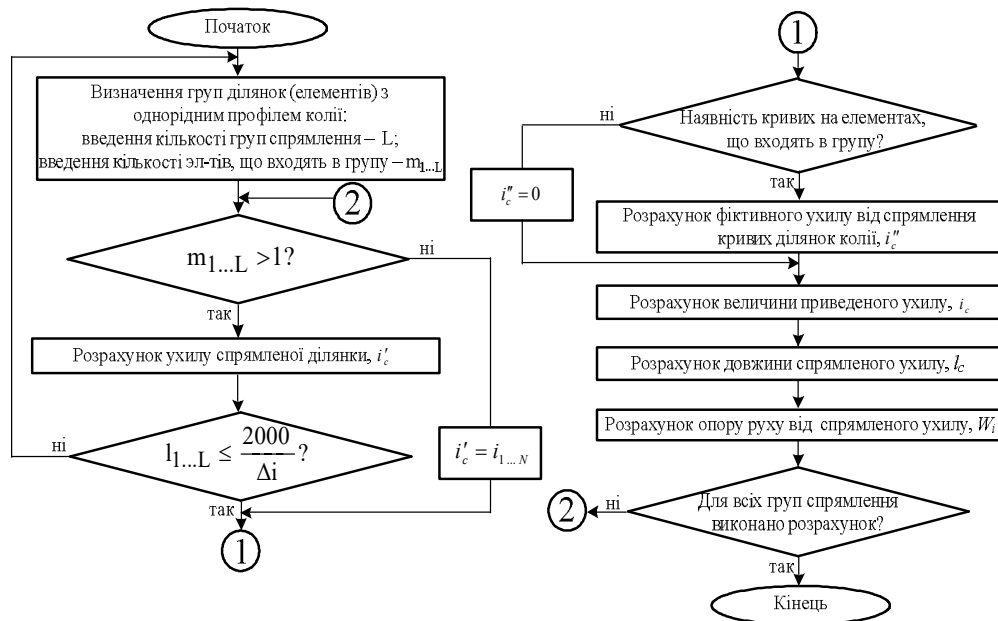


Рис. 2. Алгоритм роботи підпрограми спрямлення профілю колії

9) Перевіряється умова « $(s_i < l_{i=1...L} \pm \Delta l)$ ».

Якщо умова виконується, тоді розраховується час руху під час зміни швидкості для заданого режиму ведення та поточний час руху поїзда. В іншому випадку перевіряється умова « $(s_i = l_{i=1...L} \pm \Delta l)$ »

10) Перевіряється умова « $(s_i = l_{i=1...L} \pm \Delta l)$ ».

Якщо умова виконується, тоді відбувається зміна ділянки колії для наступного режиму ведення та розраховується час руху під час зміни швидкості та поточний час руху поїзда для заданого режиму ведення. При цьому розрахунок показників для заданого режиму ведення виконується для поточної ділянки спрямленого профілю колії.

В іншому випадку необхідно ввести коригування вхідних даних (збільшити допустиме відхилення від довжини спрямлених ділянок колії або змінити режим ведення).

11) Обчислюється час руху під час зміни швидкості поїзда та поточний час руху:

– час руху під час зміни швидкості поїзда за однією з приведених формул [14–17]

$$\Delta t_{1...N} = \frac{m(1+\gamma)}{(F(B)_{cp1...N} - W_{осн.1...N} \pm W_{il...K})} \int_{V_i}^{V_{i+1}} dV =$$

$$= \frac{m(1+\gamma)(V_{i+1=1...N} - V_{i=1...N})}{3,6(F(B)_{cp1...N} - W_{осн.1...N} \pm W_{il...K})};$$

$$\Delta t_{1...N} = \frac{(V_{i+1=1...N} - V_{i=1...N})}{a_{cp1...N}};$$

– поточного часу руху [14–17]

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i. \quad (10)$$

12) Розраховуються енергетичні показники для заданого режиму ведення: середнє значення потужності на ободах коліс, середніх значень струмів споживання (рекуперації), витрат (рекуперації) та питомих витрат (рекуперації) електроенергії:

– середнє значення потужності на ободах коліс під час зміни швидкості [14–17]

$$P_{kmp1...N} = \frac{F_{cp1...N}(B_{cp1...N})V_{cp1...N}}{3,6}.$$

– середніх значень струмів споживання та рекуперації [14–17]

$$I_{тяги1...N} = \frac{1000P_{kmp1...N}}{U_{кмтяги}\eta_{\Sigma}\eta_{ТД}};$$

$$I_{рек1...N} = \frac{1000P_{kmp1...N}\eta_{\Sigma}\eta_{ТД}}{U_{кмрек}}.$$

– витрат (рекуперації) та питомих витрат (рекуперації) електроенергії [14–17]

$$A_{тяги1...N} = \frac{I_{тяги1...N}U_{кмтяги}\Delta t_{1...N}}{3,6 \cdot 10^6};$$

$$A_{рек1...N} = \frac{I_{рек1...N}U_{кмрек}\Delta t_{1...N}}{3,6 \cdot 10^6};$$

$$a_{пит.тяги1...N} = \frac{I_{тяги1...N}U_{кмтяги}\Delta t_{1...N}}{3,6m \cdot \Delta s_{1...N}}.$$

$$a_{пит.рек1...N} = \frac{I_{рек1...N}U_{кмрек}\Delta t_{1...N}}{3,6m \cdot \Delta s_{1...N}}.$$

13) Перевіряється умова «Розрахунки виконано для всіх режимів?».

Якщо умова виконується, тоді перевіряється інша умова «Розрахунки виконано для всіх ділянок?» В іншому випадку виконуються розрахунки для наступного режиму ведення.

14) Перевіряється умова «Розрахунки виконано для всіх ділянок?».

Якщо умова виконується, тоді розраховуються динамічні та енергетичні показники за результатом подолання поїздом перегону. В іншому випадку з'являється повідомлення про необхідність коригування вхідних даних (введення додаткових параметрів профіля колії). При цьому оператор має можливість коригувати вхідні дані або перейти до виконання розрахунків динамічних та енергетичних показників для заданих режимів ведення. У разі закінчення спрямлених ділянок колії за умов наявності режимів ведення має з'явитись повідомлення про необхідність коригування вхідних даних.

15) Розраховуються динамічні та енергетичні показники за результатом подолання поїздом перегону [14–17]:

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta s_i; \quad (18)$$

$$t = \sum_{i=1}^N \Delta t_i; \quad (19)$$

$$I_{\text{тяги}} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N I_{\text{тяги}_i} \cdot t_{\text{тяги}_i};$$

$$I_{\text{рек}} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N I_{\text{рек}_i} \cdot t_{\text{рек}_i};$$

$$A_{\text{тяги}} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N A_{\text{тяги}_i} \cdot t_{\text{тяги}_i};$$

$$A_{\text{рек}} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N A_{\text{рек}_i} \cdot t_{\text{рек}_i};$$

$$a_{\text{пит.тяги}} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N a_{\text{пит.тяги}_i} \cdot t_{\text{тяги}_i};$$

$$a_{\text{пит.рек}} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^N a_{\text{пит.рек}_i} \cdot t_{\text{рек}_i};$$

З використанням запропонованої математичної моделі та процедури досліджень розроблено програмне забезпечення (ПЗ) «Motion Simulation» (далі – ПЗ) для моделювання руху поїзда з системами рекуперації під час заданих умов його ведення. При цьому розроблене ПЗ дозволяє автоматизувати розрахунок динамічних та енергетичних показників. Вищезазначене ПЗ включає в себе підпрограму «Спрямлення», алгоритм роботи якої зображено на рис. 2. Підпрограма «Спрямлення» дозволяє спростити розрахунки та згладити зміни сили додаткового опору під час переходу з одного профілю колії на інший. Сутність спрямлення колії полягає в заміні заданого профілю на еквівалентний, який має меншу кількість ділянок колії та в якому криві замінені на фіктивні ухили.

Програми розроблені в середовищі графічного програмування LabVIEW, головними перевагами якої є можливість реалізації алгоритмів високого рівня складності, простота реалізації, наявність зручного графічного інтерфейсу.

Зовнішній вигляд графічного інтерфейсу оператора програми «Motion Simulation», зображено на рис. 3. Інтерфейс програми умовно поділений на кілька фрагментів за їх функціональним призначенням. Так можна виділити блок вводу статичних параметрів, блок вводу динамічних параметрів, блок управління програмою, блок відображення результатів та блок графічної індикації.

Після запуску програма розпочинає роботу в режимі очікування. Перед переведенням програми в робочий режим оператор повинен вказати шлях до файлу даних, який містить параметри двигуна, що моделюється в п. 1 та задати кількість елементів (режимів ведення) в п. 2 (рис. 4). На рис. 5 представлено блок управління програмою, який містить шість двійкових перемикачів для керування основним функціоналом. Так після вводу даних в п. 1 та п. 2 необхідно натиснути регулятор «Ініціал».

Програма проведе початкову ініціалізацію та буде очікувати введення параметрів моделювання.

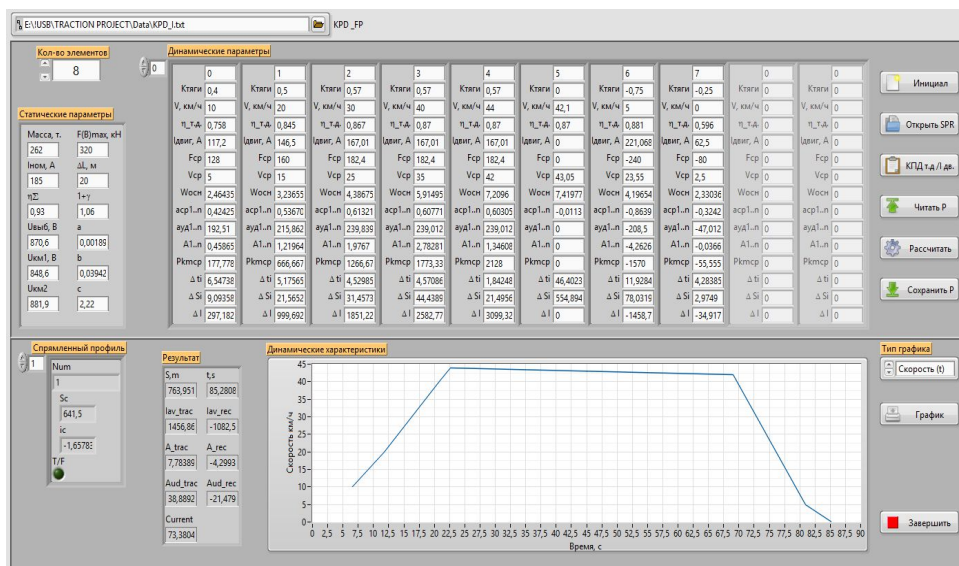


Рис. 3. Загальний вигляд інтерфейсу ПЗ «Motion Simulation»

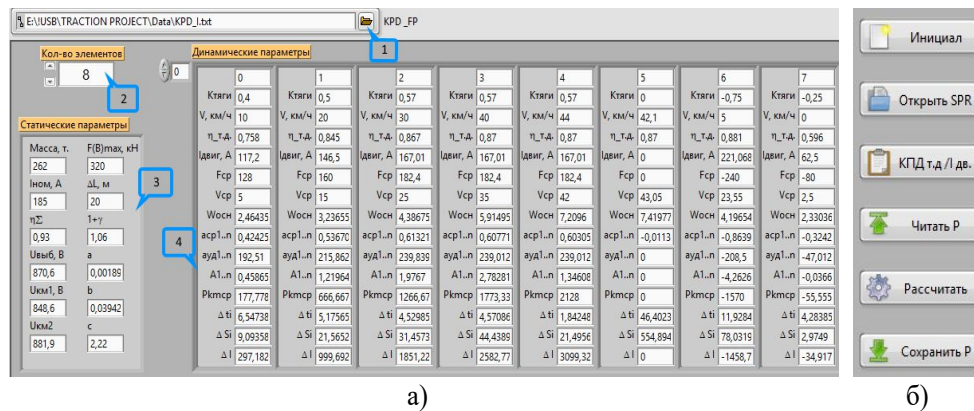


Рис. 4. Зовнішній вигляд блоку вводу статичних і динамічних параметрів (а) та блоку управління ПЗ «Motion Simulation» (б)

Необхідно вручну ввести статичні та динамічні ($K_{тяги}$, $V_{км/год}$) параметри моделювання відповідно в п. 3 та п. 4. (рис. 4, б) та натиснути регулятор управління «КПД т.д./дв.». За допомогою паспортних даних визначеного типу двигуна, що містяться в зовнішньому файлі (п.1 рис. 4, а) програма проведе початковий розрахунок ККД тягового двигуна та споживаної сили струму в залежності від введених $K_{тяги}$ та $V_{км/год}$. Результати цього розрахунку будуть занесені в відповідні поля масиву даних «Динамічні параметри» (п. 4 рис. 4, а). Коли перераховані вище кроки виконані оператор має змогу зберегти всі введені дані в зовнішніх файлах *.xml для подальшого використання. Так статичні параметри будуть збережені в файлі nameA.xml, а динамічні – в фалі nameB.xml. Для виконання такого збереження необхідно натиснути регулятор «Сохранить Р» (рис. 4, б). Відповідно для заповнення параметрів лицевої панелі даними з раніше збережених файлів необхідно натиснути регулятор «Читать Р» та з діалогу відкриття фалів обрати файл nameA.xml.

Після успішної ініціалізації для виконання основного розрахунку динамічних та енергетичних параметрів під час заданого режиму ведення поїзда метрополітену необхідно завантажити файл даних зі спрямленим профілем перегону, отриманим на виході створеної раніше підпрограми «Спрямлення». Для цього оператор має натиснути регулятор «Открыть SPR» та вибрати відповідний файл даних. Після завантаження оператор, в разі необхідності, може перевірити коректність даних за допомогою регулятору «Спряmlений профіль» (рис. 3). Після введення всіх параметрів та вводу даних з зовнішніх файлів для виконання моделювання необхідно натиснути регулятор «Рассчитать». При цьому проміжні результати розрахунку будуть занесені в основний масив даних (п. 4 рис. 4, а), а підсумкові – в окремий кластер індикаторів «Результат» (рис. 3).

Після завершення розрахунків результати можуть бути представлені в графічному вигляді на індикаторі «Динамические параметры». Для цього необхідно вибрати один з чотирьох доступних режимів відображення «Тип графика»: швидкість (час); швидкість (шлях); струм (час); струм (шлях). Після чого натиснути регулятор «График».

Послідовність роботи з ПЗ «Motion Simulation»:

- запустити ПЗ «Motion Simulation» на виконання;
- вказати шлях до файлу KPD_I.txt і кількість елементів (режимів ведення) на перегоні та натиснути «Инициал»;
- ввести статичні та динамічні параметри моделювання вручну або за допомогою «Читает Р»;
- завантажити дані для спрямленого перегону за допомогою «Открыть SPR»;
- провести моделювання, натиснувши кнопку «Рассчитать»;
- виконати графічне відображення результатів (за необхідністю). Вибрати тип графіку, що буде побудовано, та натиснути «График»;
- натиснути двійковий регулятор «Завершить» для повного виходу з програми.

Оцінку придатності розробленого ПЗ «Motion Simulation» виконано за точністю визначення основних вихідних динамічних та енергетичних параметрів під час заданих умов руху поїзда. Алгоритм тестування та оцінки заснований на принципі порівняння результатів досліджень, виконаних за допомогою ПЗ «Motion Simulation» та випробувального комплексу, при однакових заданих умовах. Оцінка проводилась наступним чином:

- виконувались теоретичні розрахунки основних вихідних параметрів за допомогою ПЗ «Motion Simulation» для заданого режиму ведення поїзда метрополітену на заданих ділянках колії;
- виконувались експериментальні дослідження основних вихідних параметрів за допомогою випробувального комплексу, який складається з дослідного поїзда метрополітену, датчиків струму, напруги та швидкості, аналого-цифрового перетворювача, атестованої комп'ютерної програми «ЕЛЕКТРО» для аналогічних умов, що задані в ПЗ «Motion Simulation» (тягово-енергетичні характеристики рухомого складу, режим ведення, ділянки колії);
- придатність ПЗ для моделювання динамічних та енергетичних параметрів під час заданого режиму ведення рухомого складу визначалась при порівнянні результатів досліджень, виконаних в ПЗ «Motion Simulation» та за результатами обробки даних експериментальних досліджень.

Послідовність операцій, що виконуються при оцінці придатності ПЗ наступна:

- введення вхідних даних для проведення теоретичних розрахунків в ПЗ «Motion Simulation»;
- розрахунок параметрів в ПЗ «Motion Simulation»;
- робота ПЗ «Motion Simulation» відповідно до інструкції користувача;
- збереження результатів теоретичних розрахунків, виконаних ПЗ «Motion Simulation» в формі звітів в форматі *.csv;
- проведення експериментальних досліджень за допомогою випробувального комплексу для аналогічних умов, що задані в ПЗ «Motion Simulation»;
- визначення параметрів за допомогою комп'ютерної програми «ЕЛЕКТРО», які отримані в ході експериментальних досліджень за допомогою випробувального комплексу;
- збереження результатів експериментальних досліджень в формі звітів в форматі *.xls;
- оцінка та порівняння результатів, виконаних за допомогою ПЗ «Motion Simulation» та випробувального комплексу.

Методика тестування та оцінки ПЗ «Motion Simulation» складалась з чотирьох окремих експериментів. При цьому для кожного експерименту тягово-енергетичні характеристики поїзда однакові, режим ведення та профіль колії – різний.

Теоретичні дослідження за допомогою ПЗ виконані в приміщенні інституту. Експериментальні дослідження за допомогою випробувального комплексу виконані в умовах КП «Київський метрополітен» під час експлуатації дослідного рухомого складу метрополітену на ділянці «Арсенальна–Університет» Святошинсько-Броварської лінії. Умови проведення експериментів наступні:

- досліджувана ділянка «Арсенальна–Хрещатик» (режим ведення поїзда наступний: розгін до швидкості 64 км/год – режим вибігу – гальмування зі швидкості 46 км/год);
- досліджувана ділянка «Хрещатик–Театральна» (режим ведення поїзда наступний: розгін до швидкості 44 км/год – режим вибігу – гальмування зі швидкості 42 км/год);
- досліджувана ділянка «Театральна–Університет» (режим ведення поїзда наступний: розгін до швидкості 49 км/год – режим вибігу – гальмування зі швидкості 38 км/год);
- досліджувана ділянка «Арсенальна–Університет», яка включає відповідно перегони «Арсенальна–Хрещатик», «Хрещатик–Театральна» та «Театральна–Університет». (режим ведення поїзда аналогічний вищевказаному на перелічених перегонах).

Результати порівняння досліджень, виконаних за допомогою ПЗ «Motion Simulation» та випробувального комплексу, наведено у табл. 1–4.

При визначенні одного або декількох вихідних параметрів оцінювались похибка:

- абсолютна похибка між даними, що отримані в результаті досліджень за допомогою ПЗ «Motion Simulation» та випробувального комплексу:

$$\Delta = |X_{MS} - X_{BK}|,$$

де X_{MS} – значення параметру, отриманого в ПЗ «Motion Simulation»;

X_{BK} – значення параметру, отриманого за допомогою випробувального комплексу;

- відносна похибка:

$$\delta = \frac{|X_{MS} - X_{BK}|}{X_{BK}} \cdot 100,$$

Таблиця 1. Результати порівняння досліджень на ділянці «Арсенальна–Хрещатик»

Досліджуваний параметр	ПЗ «Motion Simulation»	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
S, м	1666,7	1665,5	1,2	0,07	4,8
t, с	131,0	129,0	2,0	1,53	
I _{тяги} , А	1936,5	2011,3	74,8	3,7	
I _{рек} , А	-1072,8	-1118,9	46,1	4,1	
A _{тяги} , кВт·год	12,03	12,54	0,51	4,1	
A _{рек} , кВт·год	-5,01	-4,78	0,23	4,6	
a _{тяги} , Вт·год/т·км	27,55	28,74	1,19	4,1	
a _{рек} , Вт·год/т·км	-10,94	-11,49	0,55	4,8	

Таблиця 2. Результати порівняння досліджень на ділянці «Хрещатик–Театральна»

Досліджуваний параметр	КП "Motion Simulation"	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
S, м	764,0	770,4	6,4	0,83	4,7
t, с	85,3	83	2,3	2,7	
I _{тяги} , А	1456,9	1528,5	71,6	4,7	
I _{рек} , А	-1082,5	-1118,6	36,1	3,2	
A _{тяги} , кВт·год	7,78	8,11	0,33	4,1	
A _{рек} , кВт·год	-4,3	-4,11	0,19	4,4	
a _{тяги} , Вт·год/т·км	38,89	40,16	1,27	3,2	
a _{рек} , Вт·год/т·км	-21,48	-20,63	0,85	4,0	

Таблиця 3. Результати порівняння досліджень на ділянці «Театральна–Університет»

Досліджуваний параметр	КП "Motion Simulation"	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
S, м	898,0	882,3	15,7	1,7	4,1
t, с	92,2	88,5	3,7	4,0	
I _{тяги} , А	1688,8	1753,1	64,3	3,7	
I _{рек} , А	-747,1	-772,0	24,9	3,2	
A _{тяги} , кВт·год	9,15	9,2	0,05	0,54	
A _{рек} , кВт·год	-3,74	-3,9	0,16	4,1	
a _{тяги} , Вт·год/т·км	38,87	39,81	0,94	2,4	
a _{рек} , Вт·год/т·км	-16,6	-16,2	0,4	2,4	

Таблиця 4. Результати порівняння досліджень на ділянці «Арсенальна–Університет»

Досліджуваний параметр	КП "Motion Simulation"	Випробувальний комплекс	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %	Максимальна похибка, %
S, м	3321,2	3318,2	3	0,09	4,8
t, с	308,8	300,5	8,3	2,7	
I _{тяги} , А	1727,1	1781,5	54,4	3,1	
I _{рек} , А	-942,4	-990,0	47,6	4,8	
A _{тяги} , кВт·год	28,88	29,85	0,97	3,2	
A _{рек} , кВт·год	-12,87	-12,79	0,08	0,62	
a _{тяги} , Вт·год/т·км	33,19	31,69	1,5	4,5	
a _{рек} , Вт·год/т·км	-14,79	-14,86	0,07	0,47	

Порівняльний аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень (табл. 1–4) дозволив встановити, що для заданих однакових вхідних даних (режим ведення поїзда та профіль колії) розбіжність значень основних вихідних параметрів

не перевищує 5 %. Отримана розбіжність обумовлена прийнятими припущеннями в математичні моделі. Отже, в цілому збіжність результатів задовільна, що свідчить про правильність та достовірність розробленого програмного забезпечення для моделювання руху поїзда метрополітену.

Висновки

1. Розроблено ПЗ «Motion Simulation», яке дозволяє моделювати рух поїзда метрополітену при заданих умовах його ведення та досліджувати при цьому динамічні та енергетичні показники. Це програмне забезпечення дозволить зменшити час та вартість виконання досліджень з визначення раціональної потужності та енергоємності бортового ємнісного накопичувача енергії.

2. Результати досліджень, отримані за допомогою ПЗ «Motion Simulation» та експериментальним шляхом, відрізняються не більше ніж на 5 %.

Порівняльний аналіз показав задовільну збіжність результатів, що свідчить про правильність та достовірність виконання досліджень розробленим програмним забезпеченням. Тому ПЗ «Motion Simulation» можливо використовувати для моделювання руху поїзда метрополітену.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комунальне підприємство «Київський метрополітен» (офіційний сайт) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.metro.kiev.ua>. Назва з екрану.
2. Мелешин И.С. Как сэкономить на тягу. Энергоэффективность и энергосбережение. 2013. Вып. № 7-8. С. 65–67.
3. Шевлюгин, М.В., Желтов К.С. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии. НТТ – Наука и техника транспорта. 2008. Вып. № 1. С. 15–20.
4. Саблін, О.І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Вып. 8 (72)/том 6/. С. 9–13. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30483.
5. Костин Н.А., Никитенко А.В. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока. Железнодорожный транспорт Украины. 2014. № 3. С. 15–23.
6. Жемеров, Г.Г., Ильина Н.А., Тугай Д.В. Уменьшение потерь энергии в системах электрооборудования подвижного состава метрополитена при использовании энергоёмких накопителей электроэнергии. Техническая электродинамика. 2014. № 5. С. 137–138.
7. Allègre, A.-L., Bouscayrol A., Delarue P., Barrade P., Chattot E., El-Fassi S. Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 57. Issue 12. 2010. P. 4001–4012.
8. Васильев В.А. Повышение энергетической эффективности электропоездов постоянного тока : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07; Петербургский гос. ун-т путей сообщения. СПб, 2012. 16 с.
9. Рыбалко А.Я., Дыбрин С.В. Выбор ёмкости накопителя энергии для обеспечения снижения максимума потребляемой мощности. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 8. С. 356–361.
10. Sulym A., Fomin O., Khozia P., Mastepan A. Theoretical and practical determination of parameters of On-board capacitive energy storage of the rolling stock. Naukovi Visnyk NHU. – Dnipro, 2018. № 5. P. 79–87.
11. Мятёж А.В., Ярославцев М.В. Определение энергоемкости бортового буферного конденсаторного накопителя энергии для городского электрического транспорта. Транспорт Российской Федерации. Электроснабжение и электротехника. 2013. № 4 (47). С. 62–65.
12. Fomin O., Sulym A., Kulbovskiy I., Khozia P., Ishchenko V. Determining rational parameters of the capacitive energy storage system for the underground railway rolling stock. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Issue 2 (92). P. 63–71. doi: 10.15587/1729-4061.2018.126080.
13. Yatsko S., Sytnik B., Vashchenko Y., Sidorenko A., Liubarskyi B., Veretennikov I., Glebova M. Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail

electric traction. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Issue 1 (97). P. 48–57. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154520.

14. Байрыева Л.С., Прокопович А.В. Теория электрической тяги. Методическое пособие. М.: Издательство МЭИ, 2004. 40 с.

15. Гетьман Г.К. Теорія електричної тяги: підручник у 2 т. Т. 1 – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2014. 580 с.

16. Слепцов М.А., Долаберидзе Г.П., Прокопович А.В. и др. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений М.: Издательский центр «Академия». 2006. 464 с.

17. Баранов Л.А., Ерофеев Е.В., Мелешин И.С., Чинь Л.М. Оптимизация управления движением поездов / подред. доктора технических наук Л.А. Баранова. М.: МИИТ, 2011. 164 с.

18. Сулим А.А., Сиора А.С., Мельник А.А., Федоров В.В. Программное обеспечение для автоматизации расчетов энергоемкости накопителя при возникновении аварийных режимов в системе энергообеспечения метрополитена. Збірник наукових праць ДЕТУТ «Транспортні системи і технології». К.: ДЕТУТ, 2014. Вип. 25. С. 121 – 130.

REFERENCES

1. Communal enterprise "Kyiv Metro" (official site) [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.metro.kiev.ua>. The name of the screen.

2. Meleshin I.S. (2013) How to save on traction. Energy Efficiency and Energy Saving. Issue. 7-8. Pp. 65–67.

3. Shevlyugin M.V., Zheltov K.S. (2008) Reduced energy consumption for train traffic in Moscow metro when using capacitive energy storage. NTT - Science and technology of transport. Issue. No. 1. - Pp. 15–20.

4. Sablin O.I. (2014) Preliminary efficiency of the process of energy recovery in the minds of the metropolitan. East European Journal of Advanced Technologies. Issue. 8 (72) / Volume 6 /. Pp. 9–13. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30483.

5. Kostin N.A., Nikitenko A.V. (2014) Autonomy of regenerative braking - the basis of reliable energy-efficient recovery on electrically-moving DC power. Railway transport of Ukraine. No. 3. Pp. 15-23.

6. Zhemerov, G.G., Ilyina O.N., Tugay D.V. (2014) Reducing energy losses in the power supply systems of the rolling stock of the subway when using energy-intensive energy storage devices. Technical electrodynamics. No. 5. Pp. 137–138.

7. Allègre, A.-L., Bouscayrol A., Delarue P., Barrade P., Chattot E., El-Fassi S. (2010) Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 57. Issue 12. Pp. 4001-4012.

8. Vasiliev V.A. (2012) Improving the energy efficiency of direct current electric trains: author. dis. Cand. tech. Sciences: 05.22.07; Petersburg state. un-t of communication lines. St. Petersburg. 16 p.

9. Rybalko A.Ya., Dybrin S.V. (2008) The choice of energy storage capacity to ensure a decrease in the maximum power consumption. Mountain Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). No. 8. Pp. 356–361.

10. Sulym A., Fomin O., Khozia P., Mastepan A. (2018) Theoretical and practical determination of parameters of On-board capacitive energy storage of the rolling stock. Naukovyi Visnyk NHU. Dnipro. No. 5. Pp. 79–87.

11. Mutiny A.V., Yaroslavitsev M.V. (2013) Determination of the energy intensity of an onboard buffer capacitor energy storage device for urban electric transport. Transport of the Russian Federation. Power supply and electrical engineering. No. 4 (47). Pp. 62–65.

12. Fomin O., Sulym A., Kulbovskiy I., Khozia P., Ishchenko V. (2018) Determining rational parameters of the capacitive energy storage system for the underground railway rolling stock. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Issue 2 (92). Pp. 63–71. doi: 10.15587/1729-4061.2018.126080.

13. Yatsko S., Sytnik B., Vashchenko Y., Sidorenko A., Liubarskyi B., Veretennikov I., Glebova M. (2019) Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail electric traction. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Issue 1 (97). Pp. 48–57. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154520.

14. Bayryeva L.S., Prokopovich A.V. (2004) Theory of electric traction. Methodical manual - M.: Publishing House MPEI. 40 p.

15. Hetman G. (2014) Theory of electric traction: 2-volume textbook Vol. 1 - Dnipropetrovsk: Accent of PP – 580 p.

16. Sleptsov M.A., Dolaberidze G.P., Prokopovich A.V. et al. (2006) The basics of electric transport: a textbook for students. higher textbook. Institutions. M.: Publishing Center "Academy". 464 p.

17. Baranov L.A., Erofeev E.V., Meleshin I.S., Chin L.M. (2011) Optimization of train traffic control / ed. Doctors of technical sciences L.A. Baranova. M.: MIIT. 164 p.
18. Sulim A.A., Siora A.S., Melnik A.A., Fedorov V.V. (2014) Software for the automation of energy storage calculations of the drive in the event of emergency conditions in the metro energy supply system. Zbirnik naukovih prots DETUT "Transport systems and technologies". K.: DETUT. VIP. 25. Pp. 121 - 130.

Андрій Сулим, к.т.н.

(заступник директора з наукової роботи державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»)),

Олександр Сіора

(менеджер відділу кваліфікації і калібрування обладнання ТОВ «НВП Радікс»),

Павло Хозя, к.т.н., с.н.с.

(завідувач лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки ДП «УкрНДІВ»),

Олександр Мельник

(завідувач науково-дослідної групи досліджень мікропроцесорних систем управління, тягово-енергетичного обладнання, електричного обладнання та комп'ютерної техніки ДП «УкрНДІВ»).

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА МЕТРОПОЛИТЕНА

В статье обоснована необходимость разработки программного обеспечения для исследования динамических и энергетических показателей при заданных условиях ведения поезда метрополитена с системами рекуперации. Проанализированы имеющиеся математические модели, описывающие движение поезда метрополитена и принятые в этих моделях допущения.

Ключевые слова: *поезд метрополитена, математическая модель, система рекуперации, программное обеспечение, исследование, автоматизация.*

Andrii Sulym, Ph.D. in Engineering Science

(Deputy Director State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute» (SE «UkrNDIV»)),

Oleksandr Siora

(Equipment Qualification and Calibration Department Manager, Radics LLC),

Khozia Pavel, Ph.D. in Engineering Science

(Head of the Research lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the SE «UkrNDIV»),

Oleksandr Melnyk

(Head of the RD Group for microprocessor control systems, traction power equipment and ride comfort of railway vehicles, SE «UkrNDIV»).

SOFTWARE FOR METRO TRAIN MOVEMENT SIMULATION

The article justifies the need to develop software for the study of dynamic and energy performance under specified conditions of operation of the train with recovery systems. The existing mathematical models that describe the movement of a metro train and the assumptions relevant to these models are analyzed. One of the existing mathematical models of train movement considering the change of the performance factor of the traction engine as a function of the movement speed, as well as the capability to study energy processes under regenerative braking of the metro train is improved, which generally allows to reduce the error and describe the energy during the simulation in more detail. The procedure for research of dynamic and energy performance under specified operating conditions of a metro train with recovery systems is described. Software for automation of calculation of dynamic and energy performance is developed. The appearance of the interface of the developed software is shown. The developed software is tested by use of the comparative analysis of theoretical and experimental results for the same set of operating conditions. Appropriateness and validity of the research using the developed software was proven (the discrepancy of the research results does not exceed 5%).

Keywords: *metro train, mathematical model, recovery system, software, research, automation.*

УДК 004.925.5

Ботвін М.М. (аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

Бутрик Н.О. (аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

Герцій О.А., к.т.н., доц. (завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний університет інфраструктури та технологій)

АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ K-MEANS В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

В статті розглянуто ідентифікацію зображень на основі алгоритму кластеризації k-means. Проаналізовано принцип роботи алгоритму, проведено моделювання по сегментації теплових зображень для розпізнавання теплових характеристик досліджуваних об'єктів. Запропоновано схему реалізації системи машинного зору в процесі виявлення перегрітих букс на залізничному транспорті.

Ключові слова: зображення, алгоритм, кластеризація, моделювання, сегментація, температурні показники, букса.

Вступ. У даний час напрямок ідентифікації графічних зображень набув величезної популярності серед дослідників та науковців. Це пов'язано з тим, що розв'язання задач у даній області знаходить все більш прикладне застосування в повсякденній діяльності людини. В якості прикладу можна навести розпізнавання текстів, відбитків пальців, автомобільних номерів, облич та ін. Достатньо важливим фактором в популярності ідентифікації зображень є постійний розвиток теоретичного та математичного апаратів. Серед основних підходів для вирішення завдань розпізнавання варто виділити: класифікації за допомогою вирішальних функцій і функцій відстані; машини опорних векторів; нейронні мережі; різні статистичні методи та алгоритми кластеризації [1].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Кластеризація чи кластерний аналіз в задачах ідентифікації являє собою процес розбиття заданої вибірки об'єктів на непересічні підмножини (кластери) так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів. Подібність об'єктів визначається на основі метрики, обраної відповідно до критерію кластеризації.

Вихідні дані для процедури кластеризації – це набір об'єктів, кожен з яких задається вектором своїх характеристик. У цих алгоритмах векторами зазвичай є пікселі або околиці пікселів. Множинність векторів може містити такі компоненти [2]:

- значення інтенсивності;
- коди кольору або кольорові характеристики;

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-3

- обчислені характерні ознаки;
- текстурні характеристики.

Сам алгоритм кластеризації – це функція $a: X \rightarrow Y$, яка будь-якому об'єкту $x \in X$ ставить у відповідність номер кластера $y \in Y$. Множинність Y у деяких випадках відома заздалегідь, однак частіше ставиться завдання визначити оптимальну кількість кластерів, з точки зору того чи іншого критерію якості кластеризації.

Але рішення завдання кластеризації принципово неоднозначне, і тому є кілька причин:

- не існує однозначно найкращого критерію якості кластеризації;
- кількість кластерів, як правило, невідомо заздалегідь і встановлюється у відповідності з деяким суб'єктивним критерієм;
- результат кластеризації істотно залежить від метрики, вибір якої, як правило, також суб'єктивний і визначається експертом [3].

Така неоднозначність потребує гнучкого налаштування засобів обробки даних, що необхідно враховувати при розробці відповідних методів ідентифікації графічних зображень.

Над даним питанням в області цифрової обробки зображень працюють дослідники та науковці багатьох країн світу, зокрема, питання щодо сегментації кольорових зображень на основі кластеризації з метою ідентифікації зображень набуло великої популярності [4-6].

Так, наприклад, на залізниці для інспекції вагонів та локомотивів на предмет виявлення технічних несправностей, а саме, перегрітих букс застосовується широко відома система приладів виявлення нагрітих букс (ПОНАБ) [7]. Принцип дії даного обладнання полягає у вимірюванні температури букс в процесі проходження поїзда повз інфрачервоних датчиків. Але дана система має ряд недоліків: ПОНАБ може помилково спрацювати при перевезенні гарячих вантажів (агломерат-окатиші), при течії гарячої води з системи опалення пасажирських вагонів або при проходженні ПОНАБ в режимі гальмування фрикційним гальмом (через нагрівання гальмівних колодок) [7].

В одній із іноземних статей авторами представляється система машинного зору для ефективного моніторингу, аналізу та представлення візуальних даних, отриманих з декількох камер (рис. 1). Це рішення спрямоване на підвищення безпеки повсякденного залізничного перевезення двома способами: 1) шляхом оцінки безлічі вимог безпеки з використанням алгоритмів аналізу зображень, які можуть обробляти великі зображення поїздів, 2) допомагаючи операторам безпеки поїздів виявляти будь-які можливі несправності в поїзді. Система використовує високошвидкісні видимі і теплові камери, які спостерігають за поїздом, що проходить під залізничною рамою [8].

Тому, на заміну таких застарілих систем як ПОНАБ, можна було б застосувати системи технічного зору на базі термографічних камер [9]. Термографічні камери виявляють випромінювання в інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра (приблизно 0,9-14 мкм) і на основі цього випромінювання створюють зображення, що дозволяють визначити перегріті або переохолоджені об'єкти. В таких зображеннях колір являється показником рівня температури, наприклад, синій колір означає, що температура об'єкта складає 27-28 °C, фіолетовий – 29-31 °C, оранжевий – 32-34 °C, жовтий – 35-36 °C, білий – вище 36 °C і т. д.

Переваги таких камер полягають в такому:

- можуть показувати візуальні зображення, що допомагає в порівнянні температур на великій площі;
- дозволяють знаходити аварійні елементи до їх виходу з ладу;
- вимірювання в областях, де інші методи неможливі (об'єкти з малою теплоємністю) або пов'язані з ризиком для здоров'я;
- неруйнівний контроль;
- полегшує пошук дефектів (тріщин) в колонах або інших металевих частинах;
- можливість бачити тепло зі швидкістю 1 кадр за секунду, навіть з невисоким просторовим розширенням [10].

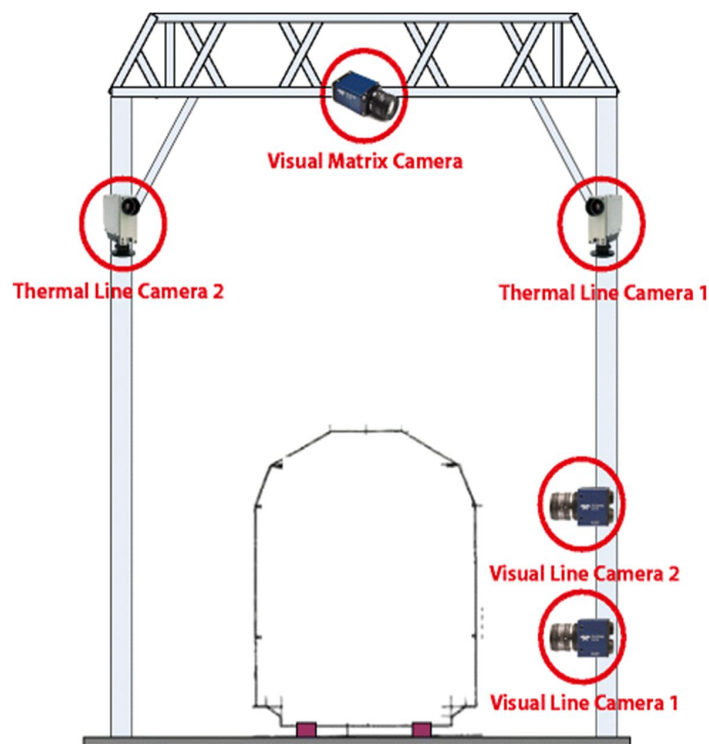


Рис. 1. Багатокамерна система обробки і візуалізації зображень для оцінки безпеки руху поїздів

Для реалізації системи машинного зору з метою виявлення перегрітих букс на залізниці на рис. 2 представлена структурна схема. Принцип дії даної системи наступний: коли до датчика S1 наближається колісна пара – він видає сигнал на систему керування CS (яка фіксує порядковий номер колісної пари) та на термографічні камери C1, C2 для старту зйомки. Камери опрацьовують термічні зображення і, в залежності від результату, видають сигнал високого рівня на CS, якщо зафіксовано перевищення температури. CS поєднує номер колісної пари із сторонністю букси, фіксує результати інспекції до бази даних та, наприклад, видає сигнал на контролер, який, в свою чергу, маркує букси фарбою, для сигнал для машиністів про необхідність зменшити швидкість і т. д.

Тобто, проблема полягає в розробці якісного алгоритму розпізнавання зображень, в даному випадку, термографічних, який водночас був би швидкодіючим та ефективним на фоні інших теплових завод, які присутні на залізниці.

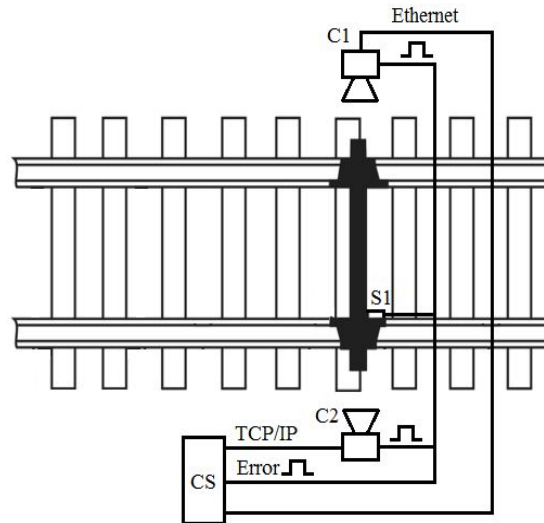


Рис. 2. Структурна схема реалізації системи машинного зору в процесі виявлення перегрітих букс на залізничному транспорті

Мета і завдання дослідження. Проаналізувати принцип роботи алгоритму кластеризації k-means в задачах розпізнавання графічних зображень, провести експериментальне моделювання даного алгоритму, сегментуючи теплові зображення на основі кольору з метою розпізнавання теплових характеристик досліджуваних об'єктів в середовищі MATLAB.

Матеріали та методи дослідження. Алгоритм кластеризації k-means розбиває множинність елементів n-векторного простору на кількість кластерів k, в яких кожен об'єкт належить кластеру з найближчим середнім значенням. Цей метод видає рівно k різних кластерів з найбільшою можливою різницею. Найкраща кількість кластерів k, що призводить до найбільшого відокремлення, не відома і тому повинна бути обчислена з даних. Ціль кластеризації алгоритмом k-means полягає в тому, щоб мінімізувати загальну внутрішньо-кластерну дисперсію або функцію квадратичної помилки [11, 12]:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2, \quad (1)$$

де J – цільова функція;

k – кількість кластерів;

n – кількість спостережень;

x_i – спостереження i ;

c_j – центроїд для кластера j ;

$\|x_i^{(j)} - c_j\|^2$ – дистанційна функція.

Опис алгоритму. Спочатку відбувається розподілення об'єктів по кластерам. Обирається кількість кластерів k , і на першому кроці ці точки вважаються «центрами» кластерів. Кожному кластеру відповідає один центр. Вибір початкових центроїдів може здійснюватися наступним чином:

- вибір k -спостережень для максимізації початкової відстані;
- випадковий вибір k -спостережень;
- вибір перших k -спостережень.

В результаті кожен об'єкт призначений певному кластеру.

Далі відбувається ітеративний процес. Вираховуються центри кластерів, якими потім і далі вважаються покоординатні середні кластерів. Об'єкти знову перерозподіляються.

Процес обчислення центрів і перерозподілу об'єктів триває до тих пір, поки не виконана одна з умов:

- кластерні центри стабілізувалися, тобто всі спостереження належать кластеру, до якого належали до поточної ітерації;
- кількість ітерацій дорівнює максимальній кількості ітерацій.

На рис. 3 та 4 зображено принцип роботи алгоритму k -means (де $k = 2$) та його блок-схему [13].

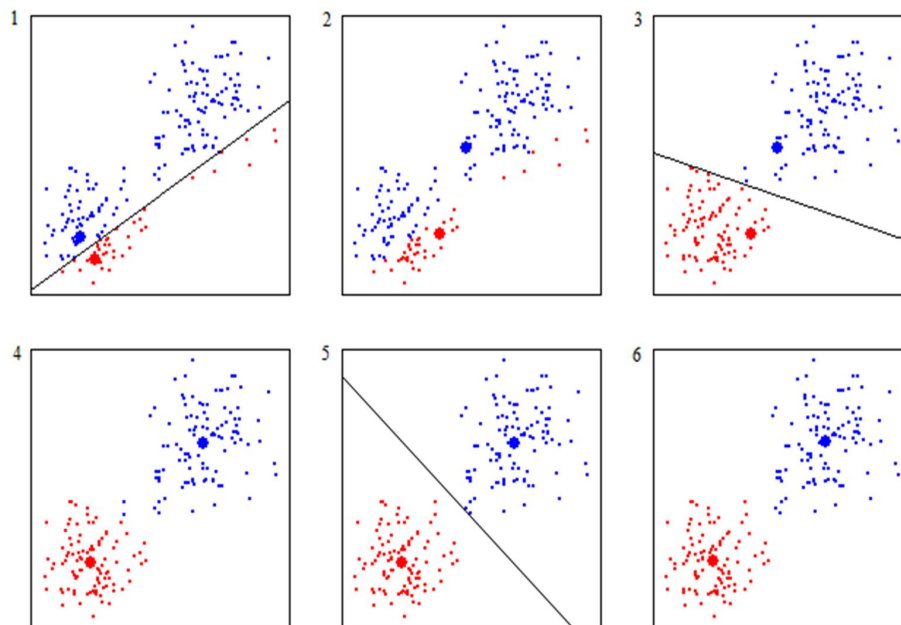


Рис. 3. Ілюстрація роботи алгоритму k -means

Вибір кількості кластерів являється складним питанням. Якщо немає припущень відносно цієї кількості, то рекомендується створювати 2 кластера, потім 3, 4, 5 і т.д. Після отримання результатів кластерного аналізу варто перевірити правильність кластеризації, тобто оцінити, наскільки кластери відрізняються один від одного. Для цього розраховуються середні значення для кожного кластера. При хорошій кластеризації повинні бути отримані середні, які сильно відрізняються для всіх вимірювань або хоча б для більшої їх частини [14].

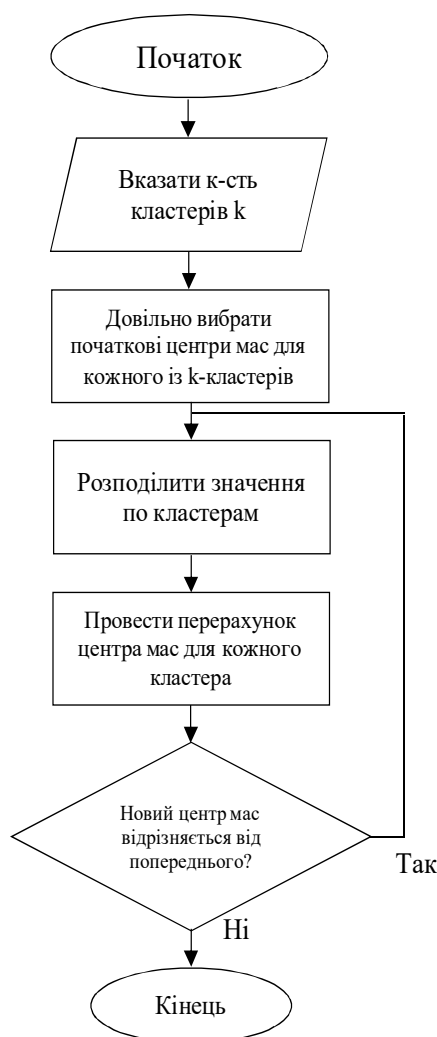


Рис. 4. Блок-схема алгоритму k-means

Алгоритм кластеризації k-means в задачах ідентифікації образів. Вилучення інформації із зображень та розуміння її так, що отримана інформація може бути використана для виконання декількох завдань, є важливою характеристикою машинного навчання. Сегментація зображення – це один із перших кроків у напрямку розуміння зображень, а потім знаходження в них різних об'єктів. Сегментація зображень тягне за собою поділ або розділення зображення на області аналогічних атрибутів. Це один з найважливіших компонентів аналізу зображень та розпізнавання образів, який і до цих пір, як і раніше, вважається найбільш складним завданням для обробки і аналізу зображень. Він має застосування в кількох областях, таких як аналіз віддалених зображень, медицина, моніторинг руху транспорту та розпізнавання відбитків пальців, тощо. Метод сегментації, що включає класифікаційні підходи, стикається з великими труднощами при обчисленні кількості кластерів, які присутні в просторі об'єкта чи витягуючи відповідну функцію. Цей тип сегментації зображень широко використовується

завдяки простоті розуміння і більшій точності результату. Існують різні методи, і одним з найпопулярніших методів є алгоритм кластеризації k-means. Даний алгоритм кластеризації – неконтрольований, і він використовується для сегментації області інтересу з фону, наведемо приклад використання цього алгоритму в розпізнаванні образів.

Виявлення перегрітої букси. Як ми зазначили раніше, на залізниці присутня проблема моніторингу технічного стану букс на предмет аварійності. Тому нами пропонується застосування системи машинного зору, яка б відслідковувала теплові характеристики рухомого складу на базі термографічних камер з використанням алгоритму безконтрольної кластеризації k-means. Для моделювання взято зображення двох букс: нормальна букса (рис. 5 (а)) та перегріта букса (рис. 5 (1)).

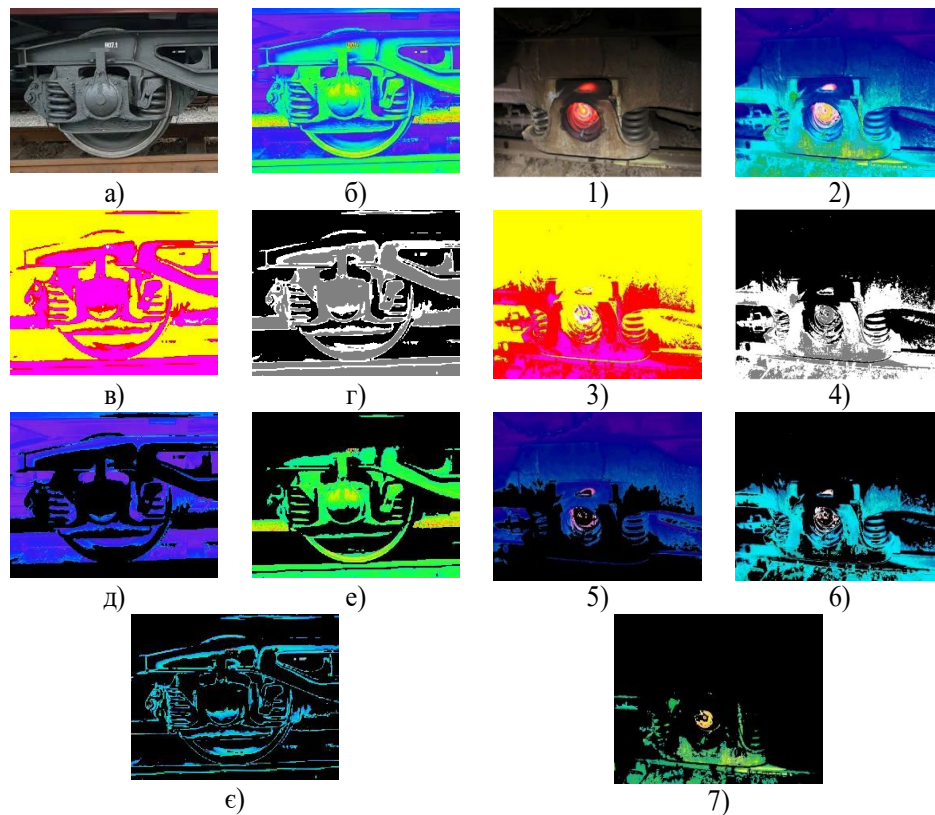


Рис. 5. Сегментація на основі кольору з використанням алгоритму кластеризації k-means: а) і 1) - умовні зображення букс; б) і 2) - ілюстрація нормальної та перегрітої букс в інфрачервоному діапазоні; в) і 3) - теплові зображення, конвертовані з кольорового простору RGB в $L^*a^*b^*$; г) і 4) - зображення, позначені індексом кластера; д) і 5) - об'єкти в кластері 1; е) і 6) - об'єкти в кластері 2; є) і 7) – об'єкти в кластері 3

Примітка стосовно зображень: оскільки відсутня можливість зробити реальні знімки букс в інфрачервоному діапазоні через високу вартість термографічних камер, прийнято рішення конвертувати звичайні RGB зображення в такий вид, який візуально створює ефект, що зображення виконано в тепловому діапазоні. Тому

зображення букси, яку ми умовно позначили як нормальну, насправді, теж може бути перегрітою, – і, нажаль, цей фактор спотворює результати моделювання.

Таким чином, для моделювання використовуються кольорові зображення нормальної та перегрітої букс для дефектної сегментації теплових показників. Дефектна сегментація виконується в два етапи. Спочатку пікселі кластеризуються на основі їх кольорних і просторових характеристик, де виконується процес кластеризації. Потім кластерні блоки об'єднуються в певну кількість регіонів. Використовуючи цю двоетапну процедуру, можна збільшити обчислювальну ефективність уникаючи виділення ознак для кожного пікселя в зображеннях букс. Хоча колір зазвичай не використовується для сегментації дефектів, він створює високу дискримінаційну здатність для різних областей зображення. Таким чином, цей підхід забезпечує надійне рішення для сегментації температурних показників. Експериментальні результати показують ефективність запропонованого підходу для поліпшення якості сегментації теплових зображень в аспектах точності і обчислювального часу. Результати моделювання показують що пропонуванний підхід є багатообіцяючим. Сегментація з використанням алгоритму k-means дуже корисна для аналізу зображення. Важливою метою сегментації зображення є поділ об'єкта і фону, незалежно від того, чи має зображення кордон розмиття. Дефектну сегментацію теплових характеристик можна розглядати як приклад сегментації зображення, в якому кількість сегментації не відомо. Основна мета запропонованого підходу – автоматичне сегментування кольорів з використанням методу кластеризації k-means і кольорового простору $L^*a^*b^*$.

Введена структура сегментації працює в п'ять кроків наступним чином:

- 1) Зчитування зображень в інфрачервоному діапазоні.
- 2) Конвертація зображення з кольорового простору RGB в $L^*a^*b^*$. Використовується кольорний простір $L^*a^*b^*$, тому що він складається з шару світності в каналі «L» і двох шарів кольоровості в каналах «a*» і «b*». Застосування кольорового простору $L^*a^*b^*$ є безкомпромісним, тому що вся кольорова інформація присутня в «a*» і «b*».
- 3) Класифікація кольору за допомогою алгоритму кластеризації k-means в просторі «a*b*». Щоб виміряти різницю між двома кольорами, використовується метрика евклідової відстані.

4) Позначення кожного пікселя в зображенні за допомогою результату алгоритму k-means. Для кожного пікселя на нашому вході алгоритм обчислює індекс, що відповідає кластеру. Кожен піксель зображення буде позначений індексом кластера.

5) Створення зображень, які сегментують вхідному зображенню за кольором. Ми повинні відокремити пікселі в зображенні за кольором за допомогою міток пікселів, що призведе до різних зображень на основі кількості кластерів. Програмуємо визначення індексу кожного кластера, що містить завищені показники температури, тому що алгоритм не повертає одне і теж значення індексу кластеру кожен раз. Але ми можемо зробити це, використовуючи центральне значення кластерів, яке містить середнє значення «a*» і «b*» для кожного кластера.

Висновки. Алгоритм кластеризації k-means відноситься до неконтрольованих алгоритмів кластеризації даних (неконтрольоване навчання). До переваг даного алгоритму належать: зрозумілість, простота та швидкість використання.

Недоліками алгоритму є повільна робота з великими базами даних та чутливість до викидів, які можуть спотворювати середнє значення.

Запропоновано схему реалізації системи машинного зору в процесі виявлення перегрітих букс на залізничному транспорті з використанням алгоритму кластеризації k-means.

Експериментальні результати моделювання показали, що сегментація на основі кольору з використанням алгоритму кластеризації k-means дозволяє точно сегментувати температурні показники рухомого складу. Так, зображення на рис. 5 е) відображає сегментацію об'єктів в другому кластері й, в порівнянні з умовним тепловим зображенням (рис. 5 б)), представляє розпізнавання домінантної частки зеленого кольору, що свідчить про задовільний температурний стан букси, чого не скажеш про зображення перегрітої букси (рис. 5 (б)), де білий колір сигналізує про надмірне перевищення температури, що свідчить про аварійний стан букси.

Слід зазначити, що застосування даного алгоритму в процесі створення програмного забезпечення для термографічних камер з метою розпізнавання температурних показників є ефективним, оскільки цей алгоритм дозволяє стискати зображення [15-17], що призведе до збільшення швидкості опрацювання даних та дасть можливість проводити моніторинг теплових характеристик рухомого складу на вищих швидкостях.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Татьянкін В. М.* Спосіб ідентифікації образів. // Шостий технологічний уклад: механізми та перспективи розвитку. 2015. С. 79-81. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sposob-identifikatsii-obrazov>. (дата звернення 25.10.2019).
2. *Селянкін В. В., Скороход С. В.* Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения: учебное пособие. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. 82 с.
3. *Яшина Е. С.* Использование метода кластеризации в информационно-аналитической системе / Е. С. Яшина, М. А. Щербак // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. 2016. № 2 (76). С. 62-69. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2016_2_11. (дата звернення 25.10.2019).
4. *Neelambike S.* Color image segmentation by clustering // International journal of advanced research in computer science & technology. 2014. Vol. 2. № 1. P. 95-97.
5. *Aqil Burney S.M.* K-means cluster analysis for image segmentation // International Journal of Computer Applications. 2014. Vol. 96. № 4. P. 8.
6. *Nameirakpam Dh.* Image segmentation using k-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. Eleventh international multi-conference on information processing-2015 (IMCIP-2015). India. P. 764 – 771.
7. Прибор обнаружения неисправных (нагретых) аварийных букс (ПОНАБ). // Учебно-образовательный портал «Все лекции». URL: <http://vse-lekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/ats/ponab>. (дата звернення 25.10.2019).
8. *Karaman S., Pezzatini D., Bimbo A.* A multi-camera image processing and visualization system for train safety assessment. // Multimedia Tools and Applications. 2018. Vol. 77. № 2. P. 1583-1604.
9. Термографія. // Файловий архів студентів: Фізико-технічні основи рентгенології. URL: <https://studfile.net/preview/1785100/page:5/>. (дата звернення 25.10.2019).
10. Принципы получения термографического изображения. // Файловый архив студентов: Лекция 8 «Принципы получения термографического изображения». URL: <https://studfile.net/preview/2716754/>. (дата звернення 25.10.2019).
11. K-Means Clustering. // An Introduction to Data Science: Modeling. URL: http://www.saedsayad.com/clustering_kmeans.htm. (дата звернення 25.10.2019).
12. K-Means Clustering. // A Tutorial on Clustering Algorithms: K-means. URL: https://home.deib.polimi.it/matteucc/Clustering/tutorial_html/kmeans.html. (дата звернення 25.10.2019).
13. *Madushan D.* Introductions to K-means Clustering. URL: <https://medium.com/@dilekamadushan/introduction-to-k-means-clustering-7c0ebc997e00>. (дата звернення 25.10.2019).

14. Методы кластерного анализа. Итеративные методы. // Интуит: Национальный открытый университет (Курс лекций). URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/184>. (дата звернення 25.10.2019).
15. Wu Wenbin, Yue Wu and Jintao Li. The Hyper-spectral Image Compression Based on K-Means Clustering and Parallel Prediction Algorithm. // International Conference on Smart Materials, Intelligent Manufacturing and Automation (SMIMA 2018), section: Digital Signal and Image Processing. 2018. Vol. 173: MATEC Web of Conferences. P. 4.
16. Karri Tata Rao, Ch. Ramesh. Baseline JPEG Image Compression with K-Means Clustering Based Algorithm. // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. Vol. 4. № 4. 2015. P. 379-386.
17. Tichun Wang, Hongyang Zhang, Lei Tian. Research of Computer Desktop Image Compression Clustering Algorithm. // CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. 2016. Vol. 51. P. 1-6.

REFERENCES

1. Tatyankin V.M. (2017). *Sposob identifiacui obrazov. [Method of image identification]*. The Sixth Technological Structure: Mechanisms and Prospects of Development, 79-81. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/v/sposob-identifikatsii-obrazov>. (Accessed 25 October 2019).
2. Selyankin V.V., Skorokhod S.V. (2015). *Analyze i obrabotka izobrajenie v zadachah computernoho zreniya [Analysis and processing of images in computer vision problems]*. Taganrog, SFedU Publ., 82.
3. Yashina E.S. (2016) *Ispolzovanie metoda clusterizacii v informacionno-analiticheskoi sisteme [The use of the clustering method in the information-analytical system]*. Radio electronic and computer systems, 76, 2, 62-69. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2016_2_11. (Accessed 25 October 2019).
4. Neelambike S. (2014). *Color image segmentation by clustering*. International journal of advanced research in computer science & technology, 2, 1, 95-97.
5. Aqil Burney S.M. (2014). *K-means cluster analysis for image segmentation*. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 96, 4, 8.
6. Nameirakpam Dh. (2015). *Image segmentation using k-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm*. Eleventh international multi-conference on information processing-2015 (IMCIP-2015), 764 – 771.
7. *Pribor obnaruzheniia neispravnyh (nagretyh) avaryinyh buks. [The device for detecting faulty (heated) emergency axle boxes (DDFEAB)]*. Educational portal: All Lectures. Retrieved from <http://vse-lekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/ats/ponab>. (Accessed 25 October 2019).
8. Svebor Karaman, Daniele Pezzatini, Alberto Del Bimbo (2018). *A multi-camera image processing and visualization system for train safety assessment*. Multimedia Tools and Applications, 77, 2, 1583–1604.
9. *Termografiya [Thermography]*. Students archive: Physical and technical basics of radiology. Retrieved from <https://studfile.net/preview/1785100/page:5/>. (Accessed 25 October 2019).
10. *Printsupy polucheniya termographicheskogo izobrazeniya [Thermographic imaging principles]*. Students archive: Lecture 8 «Thermographic imaging principles». Retrieved from <https://studfile.net/preview/2716754/>. (Accessed 25 October 2019).
11. K-Means Clustering. // An Introduction to Data Science: Modeling. Retrieved from http://www.saedsayad.com/clustering_kmeans.htm. (Accessed 25 October 2019).
12. K-Means Clustering. // A Tutorial on Clustering Algorithms: K-means. Retrieved from https://home.deib.polimi.it/matteucc/Clustering/tutorial_html/kmeans.html. (Accessed 25 October 2019).
13. Madushan D. *Introductions to K-means Clustering*. Retrieved from <https://medium.com/@dilekamadushan/introduction-to-k-means-clustering-7c0ebc997e00>. (Accessed 25 October 2019).
14. *Metody clasternogo analiza. Interaktyvnye metody. [Cluster analysis methods. Iterative methods]*. Intuit: National Open University (Lecture Course). Retrieved from <https://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/184>. (Accessed 25 October 2019).
15. Wu Wenbin, Yue Wu and Jintao Li (2018). *The Hyper-spectral Image Compression Based on K-Means Clustering and Parallel Prediction Algorithm*. MATEC Web of Conferences: International Conference on Smart Materials, Intelligent Manufacturing and Automation (SMIMA 2018), section: Digital Signal and Image Processing, 173, 00004. doi: 10.1051/mateconf/201817303070.
16. Karri Tata Rao, Ch. Ramesh (2015). *Baseline JPEG Image Compression with K-Means Clustering Based Algorithm*. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 4, 379-386.
17. Tichun Wang, Hongyang Zhang, Lei Tian (2016). *Research of Computer Desktop Image Compression Clustering Algorithm*. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 51, 1-6.

*Ботвин М.М.,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Бутрик Н.О.,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Герций А.А., к.т.н., доц.
(заведующий кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные
технологии транспорта», Государственный университет инфраструктуры и
технологий)*

АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье рассмотрена идентификация изображений на основе алгоритма кластеризации k-means. Проанализирован принцип работы алгоритма, проведено моделирование по сегментации тепловых изображений для распознавания тепловых характеристик исследуемых объектов. Предложена схема реализации системы машинного зрения в процессе выявления перегретых букс на железнодорожном транспорте.

***Ключевые слова:** изображение, алгоритм, кластеризация, моделирование, сегментация, температурные показатели, букса.*

*Maksym Botvin,
(PhD-student, State University of Infrastructure and Technology)
Nataliia Butryk,
(PhD-student, State University of Infrastructure and Technology) Oleksandr Gertsii,
PhD (Technical Sciences), Associate Professor, (Head of the Department of Automation
and Computer-Integrated Transport
Technologies, State University for Infrastructure and Technology)*

K-MEANS CLUSTERING ALGORITHM IN IMAGE RECOGNITION TASKS

The article is an overview of the scientific direction of graphic image recognition based on the k-means clustering algorithm. In particular, we have analyzed the clustering of data in digital image identification problems; we have described the operation principle of this algorithm with an illustration, where the number of selected clusters is equal to two and we presented a block diagram of the algorithm. We have proposed a scheme for implementing a machine vision system using this algorithm in the process of detecting overheated sockets on rail. We have performed color-based segmentation simulations over infrared images to detect high temperature sections in MATLAB. More specifically: two conditional images are taken, showing the railroad socket, one of which is normal and the other is overheated. The simulation results show that color-based segmentation allows accurate segmentation of thermal imaging. The application of this algorithm in the process of creating software for thermographic cameras for the purpose of recognizing temperature is effective, because this algorithm enables image compression, speeds up data processing, and enables the thermal performance of railroad socket to be monitored at high speeds.

***Keywords:** image, algorithm, clustering, simulation, segmentation, temperature, railroad socket.*

УДК 658.012:681.32:621.38

Л. І. Тимченко

(доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Ю. В. Майстренко

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

М. М. Галушко

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

РОЗРОБКА МЕТОДУ БАГАТОРІВНЕВОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Виділені основні ознаки якісного сегментування та основні види можливих недоліків сегментування зображень, що отримані з оптико-електронних пристроїв. Проведено аналіз відомих методів сегментування зображень. Досліджена розробка методу багаторівневої сегментації з урахуванням специфіки формування зображення в оптико-електронних системах.

Ключові слова: оптико-електронне зображення, сегментація, градієнт, кластеризація, параметри зображення.

Вступ. Відомо, що в теперішній час при вирішенні багатьох завдань використовуються зображення, що отримані системами оптико-електронного діагностування [1 – 3]. Для якісної обробки оптико-електронного зображення необхідно розбити його на елементи, тобто провести сегментування зображення. Задача сегментування у переважній більшості випадків визначається потребою виокремити об'єкт чи об'єкти на зображенні, причому в більшості випадків сегментування зображення проводиться в автоматичному режимі [4 – 6]. При використанні відомих методів сегментування зображення не завжди вдається забезпечити стійкість методів сегментування до варіацій різних параметрів зображення. Мета статті – надати якісний аналіз розробки методу багаторівневої сегментації зображень, отриманих з оптико-електронних пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У теперішній час не існує загальної теорії сегментування зображень систем оптико-електронного діагностування, яка дозволяє отримати вичерпні рекомендації щодо оптимальному вибору методу сегментування та набору вхідних даних [7]. Виділяють такі ознаки якісного сегментування [8]: - однорідність області по характеристикам (в першу чергу, по кольору та текстурі); - відмінність значень обраних характеристик для

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-4

суміжних областей зображення; - гладкість границь кожного сегменту зображення; - незначна кількість «дірок» у сегменті. Враховуючи перераховане вище, витікають три основні види можливих недоліків сегментування зображень оптикоелектронних пристроїв діагностування[9]: - неправильне сегментування, коли контури розподілу не співпадають з границями об'єктів на зображенні; - пересегментування, коли має місце збільшений розподіл зображення на області; - недосегментування, коли має місце недостатній розподіл зображення на області.

Мета і завдання дослідження. Як відомо результатом сегментації зображення є множина сегментів, які разом покривають все зображення, або множина контурів, виділених з зображення. Всі пікселі в сегменті схожі за деякою характеристикою або за визначеною властивістю, наприклад колір, яскравість або текстура. Сусідні сегменти істотно відрізняються за цими характеристиками. Отже мета даної роботи розкрити метод багаторівневої сегментації для вдосконалення процесу сегментації та подальшої інтеграції його в різних сферах діяльності.

Матеріали та методи дослідження. Досліджувана в роботі попередня обробка містить наступні операції. Вихідне двовимірне півтонове зображення подається матрицею інтенсивності відліків

$A = [a_{ij}]$ де $i = 1 \div N$, $j = 1 \div M$ $M \times N$ – розмір вихідного зображення.

Для кожного рядка і для кожного стовпчика матриці A знаходиться середнє значення інтенсивності:

$$\bar{a} = \frac{1}{NM} \sum_{ij} a_{ij} . \quad (1.1)$$

Потім визначаються масиви різниць елементу з середнім значенням зображення (або його фрагменту), в якому знаходиться елемент зображення:

$$R_{ij} = a_{ij} - \bar{a} . \quad (1.2)$$

Для препарування вихідного зображення отримані різниці дорівнюють з порогом δ , тобто

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } R_{ij} > \delta \\ -1, & \text{якщо } R_{ij} < \delta \\ 0, & \text{якщо } |R_{ij}| \leq \delta \end{cases} . \quad (1.3)$$

Поріг δ вибирається з умови:

$$N_t^{(1)} \cdot N_t^{(-1)} \cdot N_t^{(0)} = \text{Max} , \quad (1.4)$$

де $N_t^{(1)}, N_t^{(-1)}, N_t^{(0)}$ – кількості одиничних, мінус одиничних і нульових препаратів при кожному порозі t .

У результаті формується матриця $Q = [q_{ij}]$.

Для виділення ознак визначаються значення зв'язностей препаратів в отриманих матрицях окремо для нульових, одиничних і мінус одиничних препаратів. Так здійснюється сегментація препаратів за значеннями їх зв'язностей.

Знаходиться значення загальної зв'язності для всього препаративаного зображення.

Спектр зв'язності зображення (аналог Q - спектра) розмірністю $M \times N$ визначається як

$$W = \sum_{v=1}^8 \sum_{i,j}^{N,M} q_{ij}^v, \quad (1.5)$$

де $q_{i,j}^v$ – елемент зображення з координатами i,j і зв'язністю V .

Значення $q_{i,j}^v$ знаходиться таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{ij} = q_{i-1,j-1} \Rightarrow v_1=1 \\ q_{ij} = q_{i-1,j} \Rightarrow v_2=v_1+1 \\ q_{ij} = q_{i,j-1} \Rightarrow v_3=v_2+1 \\ q_{ij} = q_{i,j+1} \Rightarrow v_4=v_3+1 \\ q_{ij} = q_{i+1,j} \Rightarrow v_5=v_4+1 \\ q_{ij} = q_{i+1,j-1} \Rightarrow v_6=v_5+1 \\ q_{ij} = q_{i-1,j+1} \Rightarrow v_7=v_6+1 \\ q_{ij} = q_{i+1,j+1} \Rightarrow v_8=v_7+1 \end{array} \right.$$

Для компактного опису півтонових зображень простішим методом є метод узагальненого контурного препаративання. Цей метод заснований на перетворенні багатоградацийних по інтенсивності зображень у двохградацийне зображення за допомогою формування узагальнених контурів. Такий метод перетворення багатоградацийних зображень у двохградацийне, в порівнянні з іншими застосовуваними методами, забезпечує більшу точність формування взаємної кореляційної функції через більший ступінь зберігання інформативності і виконання умов нормування і центрування для перетворення корельованих зображень: рівності середніх інтенсивностей, рівності діапазонів інтенсивностей і їх однакової центрівки щодо середньої інтенсивності.

Сутність методу полягає у виявленні перепадів інтенсивності між відліками півтонового зображення, формуванні дворівневих сигналів виявлення в сукупність контурних препаратів зображення.

Модифікуємо даний метод стосовно до зображень, ввівши з цією метою рекурсивну процедуру узагальненого контурного препаративання. Для формування бінаризованих препаратів скористаємось процедурою (1.1) формування додатних, від'ємних і нульових препаратів. В результаті одержимо трьохрівневе бінаризоване подання зображення. Для самих темних градацій сірого зображення робимо

Математично вибір порогу для k кроків рекурсивного узагальнено-контурного препарування можна представити наступною критеріальною системою:

де $N_{ik}^{(0)}$, $N_{ik}^{(-1)}$, $N_{ik}^{(1)}$ - розподіл нульових, від'ємних і додатних препаратів на k -ому кроці рекурсивного узагальнено-контурного препарування ($k=1,2,\dots,n$), де n - кількість рівнів сегментації, t - кількість рівнів шкали сірого. Критеріальна система виду (1.12) дозволяє шляхом обчислення порогу для кожного рівня t шкали сірого

подати досліджуване зображення відповідними контурними препаратами на k рівнях сегментації.

Опис методу рекурсивного узагальнено-контурного препарування.

Використовуючи критеріальну систему виду (1.6), метод рекурсивного узагальнено-контурного препарування в загальному випадку можна описати наступним чином. На першому рівні сегментації ($k=1$), шляхом перебору всіх рівнів сірого t , визначаємо таке значення t , при якому $N_{t1}^{(0)} \times N_{t1}^{(-1)} \times N_{t1}^{(1)} = \text{Max}$. На довільному k -ому рівні, також шляхом перебору всіх рівнів сірого t , визначаємо таке значення t , при якому $N_{ik}^{(0)} \times N_{ik}^{(-1)} \times N_{ik}^{(1)} = \text{Max}$. Отже, на кожному рівні сегментації, використовуючи критеріальну систему виду (1.6), обчислюється 45

своє значення порогу. Цим досягається якість *адаптивності* методу рекурсивного узагальнено-контурного препарування, тобто для кожного нового зображення, що формується, *обчислюється* визначений поріг, який обумовлений розподілом в ньому пікселів по шкалі сірого.

Таким чином, операція рекурсивного узагальнено-контурного препарування полягає в послідовному формуванні областей (сегментів) зображення з від'ємними(додатними) препаратами, які відповідають сегментам з менш (більш) темними градаціями сірого. Таке послідовне формування сегментів зображення - це не що інше як багаторівневий процес сегментації областей зображення з від'ємним (додатним) розподілом контурних препаратів.

Висновки. Як впливає з опису алгоритму багаторівневої сегментації для його реалізації необхідні такі операції. Це - визначення яскравості пікселів, середнього їх значення, а також їх різниць. Крім того, необхідна операція порівняння – “більше”, “менше”, “дорівнює” різниць яскравостей з фіксованим значенням порогу і операція маскування (зсуву) у випадку обробки зображення шляхом його сканування еталонним масочним зображенням. Потім потрібні операція підсумовування для обчислення кількості додатних, від'ємних і нульових препаратів і операція обчислення максимуму їх добутку.

Як очевидно з перерахованих операцій для реалізації запропонованих методів не використовуються трудомісткі і повільні обчислювальні операції, які властиві, наприклад, ортогональним перетворенням. Це робить перспективним застосування даного підходу для мультимедійної обробки зображень в реальному масштабі часу з наступною їх класифікацією.

ЛІТЕРАТУРА

1. A new sectioning method for classification of optical objects based on PLD / M. Petrovskiy, L. Tymchenko, N. Kokryatskaya, [et al.]. Journal of Computer Vision and Image Processing. 2012. Vol. 2, №1. PP. 33-51. ISSN 2160-3898.
2. Методи покращення якості візуалізації біомедичних зо-бражень. / С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, Р. Ю. Довголюк, Хані Аль-Зубі. XXXV міжнародна науково-практична конференція «Застосування лазерів в медицині і біології» 25-28 травня 2011 р. тези доповідей. Харків. ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. с. 219-221.
3. Інформаційні технології підвищення якості біомедичних зображень / С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, Р. Ю. Довголюк, Х. Аль-Зубі. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – №2. 41-48с.
4. Властивості слабких операцій в теорії нечітких множин / Б. І. Мокін, В. В. Камінський, С. Ш. Качив / Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2001. № 5. с. 106-113.

5. Методы компьютерной обработки изображений / Под. ред. В.А. Сойфера. 2-е изд., испр. М.: Физмалит, 2003. 784 с.
6. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
7. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. М.: Техносфера, 2007. 584 с.
8. Digital Image Processing for Medical Applications / Geoff Dougherty. 2009. 462с.
9. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB/ Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. М.: Техно-сфера, 2006. 616 с.
10. Perspective rectangle detection. In Workshop on Applications of Computer Vision at ECCV'2006. Shaw D, Barnes N. 2006.
11. Efficient graph-based image segmentation. Felzenszwalb P. F. Huttenlocher D. P. 2004.
12. Computer Vision: Algorithms and Applications. Richard Szeliski. (2010). «Springer». 286-300
13. The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. Clerc M., Kennedy J. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2012. №6 (1). 58–73.
14. Сегментация изображения на основе его описания в виде графа., Искусственный интеллект. Агарков А.В. 2010. №3. с. 274-282.
15. Сегментация изображений кластерным методом и алгоритмом случайных скачков: сравнительный анализ. Миронов Б.М., Малов А.Н., Компьютерная оптика. 2010. Т. 34, № 1. С. 132–137.

REFERENCES

1. Petrovskiy M. Tymchenko L. Kokryatskaya N. (2012). A new sectioning method for classification of optical objects based on PLD. Computer Vision and Image Processing. 33-51.
2. Pavlov S. Vovkotrub D. Dovgolyuk R. Hani Al-Zubi. (2011). Methods of improving the quality of imaging of biomedical images. XXVV International Scientific and Practical Conference. "Application of Lasers in Medicine and Biology". 219-221. [in Ukrainian].
3. Pavlov S. Vovkotrub D. Dovgolyuk R. Al-Zubi H. (2011). Information technologies for improving the quality of biomedical images. 41-48. [in Ukrainian].
4. Mokin B. Kaminsky V. Katsiv S. (2001). Properties of weak operations in fuzzy set theory. Visnyk Vinnits. Polytechnics. 106-113. [in Ukrainian].
5. Soifer V. (2003). Methods of computer image processing. Physmalit. 784. [in Russian].
6. Gonzales R. Woods R. (2005). Digital image processing. Technosphere. 1071-1072. [in Russian].
7. Yane B. (2007) Digital image processing. Technosphere. 584.
8. Dougherty G. (2009). Digital Image Processing for Medical Applications. Geoff Dougherty. 462.
9. Gonzalez R. Woods R. Eddins S. (2006). Digital image processing in MATLAB. Technosphere. 616.
10. Shaw D. and Barnes N. (2006). Perspective rectangle detection. In Workshop on Applications of Computer Vision at ECCV'2006.
11. Felzenszwalb P. F. and Huttenlocher D. P. (2004). Efficient graph-based image segmentation.
12. Richard Szeliski. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. - «Springer». 286-300
13. Clerc M., Kennedy J. (2012). The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. №6 (1). 58–73.
14. Agarkov A. (2010). Image segmentation based on its description in the form of a graph. Artificial Intelligence. - No.3. 274-282. [in Russian].
15. Mironov V. Malov A. (2010). Image segmentation using the cluster method and random jump algorithm. comparative analysis // Computer Optics. V. 34. No.1. 132–137. [in Russian].

Л. И. Тимченко

(доктор технических наук, профессор, Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Ю. В. Майстренко

(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

М. М. Галушко

(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

РАЗРАБОКА МЕТОДА МНОГОУРОВНЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Выделены основные признаки качественного сегментирования и основные виды возможных недостатков сегментации изображений, полученных с оптико-электронных устройств. Проведен анализ известных методов сегментации изображений. Исследована разработка метода многоуровневой сегментации с учетом специфики формирования изображения в оптико-электронных системах.

Ключевые слова: *оптико-электронное изображение, сегментация, градиент, кластеризация, параметры изображения.*

L. Tymchenko

(Doctor of Technical Sciences, Professor, State University of Infrastructure and Technology, Kiev)

Y. Maistrenko

(Postgraduate Student, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv) M. Halushko

(Postgraduate Student, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv)

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF MULTI-LEVEL SEGMENTATION OF IMAGES

As the description of the multilevel segmentation algorithm implies, the following operations are required for its implementation. This is to determine the brightness of the pixels, their average value, and their differences. In addition, a comparison operation is required: "greater", "less", "equal" to the difference of brightness with a fixed threshold value and the operation of masking (shift) in the case of image processing by scanning it with a standard mask image. Then a summation operation is required to calculate the number of positive, negative and null drugs and the operation of calculating the maximum of their product.

As is evident from the above operations, the laborious and slow computational operations inherent in, for example, orthogonal transformations are not used to implement the proposed methods. This makes it promising to apply this approach to realtime multimedia image processing, followed by their classification.

Keywords: *optical-electronic image, segmentation, gradient, clustering, image parameters.*

УДК 539.3

Елена Шикула, д.ф.-м.н.
(заведуючий кафедри Інформаційних технологій
Государственного университета инфраструктуры и технологий)

НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЗЕРНИСТОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Исследовано нелинейное деформирование зернистого композитного материала. Предложена модель нелинейного деформирования зернистых композитных материалов, разработан алгоритм определения эффективных деформативных свойств зернистого композита с физически нелинейными компонентами и исследована зависимость деформирования зернистого композита от объемного содержания компонентов.

Ключевые слова: зернистый композитный материал, нелинейность деформирования компонентов, эффективные деформативные свойства, напряженно-деформированное состояние, влияние нелинейности

Введение. В последнее время в различных отраслях промышленности широкое распространение получили композитные материалы различного типа армирования. Широко применяются они также на транспорте. В связи с широким применением композитных материалов в современных инженерных конструкциях и сооружениях актуальной задачей является изучение механического поведения композитных материалов при нагружении. Наряду с экспериментальными методами определения свойств композитных материалов интенсивно разрабатываются теории, посвященные изучению их деформирования и разрушения. Проводятся исследования по определению напряженно-деформированного состояния, прогнозированию физико-механических свойств, выбору оптимальной структуры композитных материалов.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. При достаточно высоких нагрузках для многих композитных материалов зависимости между макродеформациями и макронапряжениями становятся нелинейными вследствие физической нелинейности компонентов материала. Такой вид нелинейности характерен для композитов на основе металлической матрицы, а также на основе полимерных материалов при высоких температурах. Однако экспериментальные исследования показывают [1], что при достаточно высоких температурах нелинейно деформируются также высокомодульные материалы типа органического стекла. На рис. 1 приведены графики экспериментальной зависимости напряжения от деформации для органического стекла при различных температурах. Как видим при температуре 80° зависимость между напряжением и деформацией имеет параболический характер. Поэтому представляет интерес исследование физически нелинейного деформирования зернистых композитных материалов при нелинейном деформировании как матрицы, так и включений.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-5

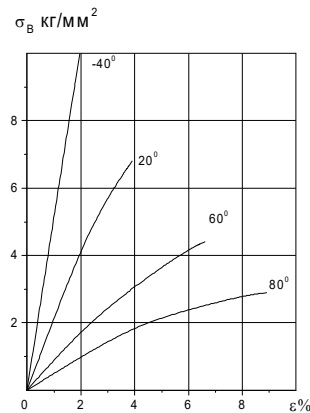


Рис. 1. Экспериментальная зависимость напряжения от деформации для органического стекла при различных температурах

Зернистые композиты на основе металлической и полимерной матриц находят широкое применение при изготовлении деталей, работающих в условиях высоких силовых и температурных нагрузок. Поэтому прогнозирование нелинейных свойств композитных материалов является актуальным.

Методы решения нелинейных задач механики деформируемого твердого тела разрабатывались в работах Бленда Д., Каудерера Г., Лурье А.И., Митропольского Ю.А., Березовского А.А., Новожилова В.В., Трусделла К., Bharatha S., Levinson M., Green A.E. Adkins I.E., Hill R., Ogden R.W. и др. В большинстве работ применялся метод разложения решения по степеням малого параметра, причем при решении конкретных задач ограничивались, как правило, первыми двумя членами разложения. В связи с этим решение задач о нелинейном деформировании материалов получено для слабо нелинейных деформаций, то есть для таких деформаций, для которых материал деформируется по нелинейному закону, близкому к линейному. Изучению механического поведения композитных материалов с нелинейно деформируемыми компонентами или нелинейно деформирующихся материалов посвящены работы Васильева В.В. и Солдатова С.А., Дудукаленко В.В. и Минаева В.А., Крегерса А.Ф. и Мелбардиса Ю.Г., Левина В.М., Малмейстера А.К. и Янсона Ю.О., Хорошуна Л.П. и Маслова Б.П., Цурпала И.А., Штерна М.Б. и др., Hill R., Ogden R.W., Tandon G.P. и Weng G.J., Tzadka V. и Shulgasser K. и др.

Решение линейной задачи о деформировании стохастически неоднородных композитов различных типов армирования было получено Л.П.Хорошуном [2, 3]. Различные аспекты деформирования зернистых композитных материалов с нелинейной матрицей были изучены в работах Хорошуна Л.П., Шикулы Е.Н. [4-6, 8-17]. Однако авторы рассматривали зернистые материалы с нелинейной или упругопластической матрицей и упругими включениями. Не было построено модели деформирования зернистых композитов в случае нелинейного деформирования как матрицы, так и включений.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является исследование нелинейного деформирования зернистых композитных материалов. Задачами исследования являются построение модели нелинейного деформирования зернистых композитных материалов, разработка алгоритма определения

напряженно-деформированного состояния и эффективных деформативных свойств зернистого композита с физически нелинейными компонентами, а также исследование зависимости деформирования зернистого композита от объемного содержания компонентов. В основу положены стохастические дифференциальные уравнения физически нелинейной теории упругости с применением метода условных моментов Л.П.Хорошуна [2-4].

Материалы и методы исследования. Исходные уравнения. Зернистый композитный материал стохастической структуры можно представить как микронеоднородный материал, физико-механические характеристики которого образуют статистически однородные и изотропные поля. Будем предполагать, что свойства и параметры материала статистически однородны на расстояниях, значительно превосходящих характерные размеры неоднородностей. Тогда композит можно рассматривать как однородный материал с эффективными характеристиками [2-4, 7].

В случае физически нелинейного деформирования зернистого композита зависимости между микронапряжениями σ_{ij} и микродеформациями ε_{ij} в произвольной точке зернистого композита с изотропными компонентами можно представить в виде

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{pp} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (\lambda = K - \frac{2}{3}\mu) \quad (i, j, p = 1, 2, 3), \quad (1)$$

где модули объемного сжатия K и сдвига μ — случайные функции координат, принимающие значения $K_1(\varepsilon), \mu_1(\varepsilon)$ и $K_2(\varepsilon), \mu_2(\varepsilon)$ соответственно для включений и матрицы.

Если макрообъем (объем, размеры которого значительно превосходят размеры микронеоднородностей) композита находится в условиях однородных макронапряжений и макродеформаций, то напряжения σ_{ij} и деформации ε_{ij} будут статистически однородными случайными функциями, удовлетворяющими свойству эргодичности. При этом их математические ожидания в произвольной точке совпадают соответственно с макронапряжениями и макродеформациями. Подставляя (1) в уравнения равновесия

$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad (2)$$

и пользуясь соотношениями Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad (3)$$

получаем физически и статистически нелинейные уравнения относительно перемещений

$$(\mu u_{i,r})_{,r} + [(\lambda + \mu)u_{r,r}]_{,i} = 0 \quad (i, r = 1, 2, 3). \quad (4)$$

Поскольку размеры тела значительно превосходят размеры микронеоднородностей, область, занимаемую телом, будем рассматривать как

бесконечную, а размеры неоднородностей считать конечными. Представим случайные поля напряжений, деформаций и перемещений в виде суммы математических ожиданий и флуктуаций

$$\sigma_{ij} = \langle \sigma_{ij} \rangle + \sigma_{ij}^0; \quad \varepsilon_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \varepsilon_{ij}^0; \quad u_i = \langle u_i \rangle + u_i^0. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим уравнения относительно флуктуаций перемещений

$$(\lambda u_{r,r}^0)_i + [\mu(u_{r,i}^0 + u_{i,r}^0)]_{,r} = -(\lambda \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + 2\mu \langle \varepsilon_{ij} \rangle)_{,j} \quad (i, j, p, r = 1, 2, 3) \quad (6)$$

при граничных условиях

$$u_i^0|_{\infty} = 0. \quad (7)$$

Усредняя соотношения (1) и пренебрегая флуктуациями напряжений и деформаций в пределах каждого компонента, получаем выражения для средних напряжений в виде

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = 2c_1 \mu_1 \langle \varepsilon_{ij}^1 \rangle + 2c_2 \mu_2 \langle \varepsilon_{ij}^2 \rangle + [c_1 \lambda_1 \langle \varepsilon_{pp}^1 \rangle + c_2 \lambda_2 \langle \varepsilon_{pp}^2 \rangle] \delta_{ij}, \quad (8)$$

где c_1 и c_2 - объемные содержания соответственно зерен и связующего.

Нелинейные уравнения для определения эффективных деформативных свойств и напряженно-деформированного состояния композита. Уравнения (6) приведем к интегральной форме, чтобы затем применить метод условных моментов Л.П.Хорошуна. Для этого выделим из коэффициентов λ, μ левой части уравнений некоторые постоянные λ_c, μ_c представив уравнения в виде

$$(\lambda_c + \mu_c) u_{r,ri}^0 + \mu_c u_{i,rr}^0 = -(\lambda' \varepsilon_{pp} \delta_{ij} + 2\mu' \varepsilon_{ij})_{,j} \\ (\lambda' = \lambda - \lambda_c; \mu' = \mu - \mu_c; \quad i, j, p, r = 1, 2, 3). \quad (9)$$

Если воспользоваться тензорной функцией Грина, которая удовлетворяет уравнению

$$(\lambda_c + \mu_c) G_{ir,rj}(x_l) + \mu_c G_{ij,rr}(x_l) + \delta(x_l) \delta_{ij} = 0 \quad (10)$$

и определяется выражением [2, 4]

$$G_{ij}(x_l) = \frac{1}{4\pi\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)} [(\lambda_c + 3\mu_c) \frac{\delta_{ij}}{r} + (\lambda_c + \mu_c) \frac{x_i x_j}{r^3}] \quad (r^2 = x_p x_p), \quad (11)$$

то, исходя из теоремы взаимности Бетти, граничную задачу (6), (7) можно привести к уравнениям

$$u_i^{0(1)} = \int_{V^{(2)}} G_{in}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\lambda'^{(2)} \varepsilon_{pp}^{(2)} \delta_{nj} + 2\mu'^{(2)} \varepsilon_{nj}^{(2)})_{,j} dV^{(2)}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (3) и выполнив интегрирование по частям, получим интегральные уравнения относительно деформаций в микроточках

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij}^{(1)} = < \varepsilon_{ij} > + \frac{1}{2} \int_{V^{(2)}} [G_{in,j}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + G_{jn,i}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})]_{,q} (\lambda'^{(2)} \varepsilon_{pp}^{(2)} \delta_{nq} + 2\mu'^{(2)} \varepsilon_{nq}^{(2)}) dV^{(2)}, \\ - \frac{1}{2} \int_{S^{(2)}} [G_{in,j}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + G_{jn,i}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})] n_q (\lambda'^{(2)} \varepsilon_{pp}^{(2)} \delta_{nq} + 2\mu'^{(2)} \varepsilon_{nq}^{(2)}) ds^{(2)}, \end{aligned} \quad (13)$$

где n_q — направляющие косинусы нормали к бесконечно удаленной границе S области V ; верхние индексы обозначают соответствующую точку пространства или поверхности.

Проводя условное осреднение [2-4] интегральных уравнений (13) и пренебрегая флуктуациями параметров в пределах компонентов, получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно средних деформаций компонентов

$$\begin{aligned} < \varepsilon_{ij}^v > = < \varepsilon_{ij} > + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 \left\{ \int_V [G_{in,j}(x_i) + G_{jn,i}(x_i)] p_{vk,q}(x_i) dV \times (\lambda'_k < \varepsilon_{pp}^k > \delta_{nq} + 2\mu'_k < \varepsilon_{nq}^k >) \right\}, \\ (v=1,2). \end{aligned} \quad (14)$$

В случае, когда зерна имеют квазисферическую форму, условные вероятности $p_{vk}(x_i)$ имеют вид [2, 4]

$$p_{vk}(x_i) = c_k + (\delta_{vk} - c_k) \exp(-16r/c_1 \pi^2 D), \quad (15)$$

где D — средний диаметр зерен.

Подставив (15) в (14) и проведя интегрирование, приходим к системе уравнений

$$< \varepsilon_{ij}^v > = < \varepsilon_{ij} > + A_{ijnq} \sum_{k=1}^2 (\delta_{vk} - c_k) (\lambda'_k < \varepsilon_{pp}^k > \delta_{nq} + 2\mu'_k < \varepsilon_{nq}^k >), \quad (16)$$

где тензор A_{ijnq} имеет вид

$$A_{ijnq} = \frac{\lambda_c + \mu_c}{15\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)} \delta_{ij} \delta_{nq} - \frac{3\lambda_c + 8\mu_c}{30\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)} (\delta_{in} \delta_{jq} - \delta_{iq} \delta_{jn}). \quad (17)$$

Разрешив уравнения (16) относительно $< \varepsilon_{ij}^v >$, получим выражения для средних по компонентам деформаций как функций средних деформаций в композите $< \varepsilon_{ij} >$

$$\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle = \frac{1 - 4b\mu'_{3-v}}{1 - 4b(c_2\mu'_1 + c_1\mu'_2)} \left(\langle \varepsilon_{ij} \rangle - \frac{1}{3} \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} \right) + \frac{1 - 3(3a + 2b)K'_{3-v}}{3[1 - 3(3a + 2b)(c_1K'_2 + c_2K'_1)]} \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij}$$

$$(v = 1, 2), \quad (18)$$

где

$$a = \frac{\lambda_c + \mu_c}{15\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)}; \quad b = -\frac{3\lambda_c + 8\mu_c}{30\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)}; \quad K'_k = \lambda'_k + \frac{2}{3}\mu'_k. \quad (19)$$

Подставив выражения для средних деформаций компонентов $\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle$ (18), (19) в выражения для средних напряжений $\langle \sigma_{ij} \rangle$ (8), найдем зависимости между макронапряжениями и макродеформациями для изотропного композитного материала

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = (K^* - \frac{2}{3}\mu^*) \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + 2\mu^* \langle \varepsilon_{ij} \rangle. \quad (20)$$

Эффективные упругие постоянные имеют вид

$$K^* = \langle K \rangle - \frac{c_1c_2(K_1 - K_2)^2}{c_1K_2 + c_2K_1 + \bar{K}_c}; \quad \mu^* = \langle \mu \rangle - \frac{c_1c_2(\mu_1 - \mu_2)^2}{c_1\mu_2 + c_2\mu_1 + \bar{\mu}_c};$$

$$\lambda^* = K^* - \frac{2}{3}\mu^*, \quad (21)$$

где

$$\bar{K}_c = \frac{4}{3}\mu_c; \quad \bar{\mu}_c = \frac{\mu_c(9K_c + 8\mu_c)}{6(K_c + 2\mu_c)} \quad (K_c = \lambda_c + \frac{2}{3}\mu_c). \quad (22)$$

Вследствие приближенности решения, что обусловлено пренебрежением флуктуациями параметров в пределах компонентов, в выражения (21), (22) вошли упругие модули тела сравнения K_c , μ_c , выбором которых определяется связность композита и максимальная близость полученных коэффициентов к их действительным значениям. Анализ выбора различных вариантов K_c , μ_c показывает [2], что для зернистого композита целесообразно положить, если жесткость матрицы больше жесткости включений

$$\mu_c = \langle \mu \rangle; \quad K_c = \langle K \rangle; \quad (23)$$

и

$$\mu_c = \langle \mu^{-1} \rangle^{-1}; \quad K_c = \langle K^{-1} \rangle^{-1} \quad (24)$$

в противном случае.

Отметим, что в случае физической нелинейности компонентов композита эффективные коэффициенты (21) - (24) являются функциями средних в этом

компоненте деформаций $\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle$ ($v = 1, 2$). Выразив средние деформации в компонентах через средние деформации в композите $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$, получим эффективные коэффициенты как функции средних деформаций в композите.

Учитывая соотношения, связывающие средние напряжения и деформации со средними напряжениями и деформациями в компонентах

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = c_1 \langle \sigma_{ij}^1 \rangle + c_2 \langle \sigma_{ij}^2 \rangle; \quad \langle \varepsilon_{ij} \rangle = c_1 \langle \varepsilon_{ij}^1 \rangle + c_2 \langle \varepsilon_{ij}^2 \rangle, \quad (25)$$

связи между напряжениями и деформациями компонентов, вытекающие из (1)

$$\langle \sigma_{ij}^v \rangle = \left(K_v - \frac{2}{3} \mu_v \right) \langle \varepsilon_{pp}^v \rangle \delta_{ij} + 2 \mu_v \langle \varepsilon_{ij}^v \rangle \quad (v = 1, 2) \quad (26)$$

и соотношения (20), получим зависимости, связывающие средние деформации в компонентах $\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle$ ($v = 1, 2$) со средними деформациями в композите $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$

$$\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle = (-1)^{v+1} \left[\frac{2 \mu^* (\mu_1 - \mu_2) (K^* - K_{3-v}) - 3 K^* (K_1 - K_2) (\mu^* - \mu_{3-v})}{6 c_2 \mu^* (K_1 - K_2) (\mu_1 - \mu_2)} \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + \right. \\ \left. + \frac{\mu^* - \mu_{3-v}}{c_2 (\mu_1 - \mu_2)} \langle \varepsilon_{ij} \rangle \right]. \quad (27)$$

Подставив выражения (26), (27) в (21) - (24), получим выражения для эффективных коэффициентов как функций средних деформаций в композите $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$.

Алгоритм для определения эффективных деформативных свойств и напряженно-деформированного состояния композита. Эффективные коэффициенты зернистого композита с физически нелинейными компонентами будем определять итерационным методом по следующему алгоритму. Нулевое приближение соответствует случаю физически линейных компонентов. Тогда

$$K^{*(0)} = \langle K(0) \rangle - \frac{c_1 c_2 [K_1(0) - K_2(0)]^2}{c_1 K_2(0) + c_2 K_1(0) + \bar{K}_c}; \quad \mu^{*(0)} = \langle \mu(0) \rangle - \frac{c_1 c_2 [\mu_1(0) - \mu_2(0)]^2}{c_1 \mu_2(0) + c_2 \mu_1(0) + \bar{\mu}_c};$$

$$\lambda^{*(0)} = K^{*(0)} - \frac{2}{3} \mu^{*(0)}, \quad (28)$$

где

$$\bar{K}_c = \frac{4}{3} \mu_c; \quad \bar{\mu}_c = \frac{\mu_c (9 K_c + 8 \mu_c)}{6 (K_c + 2 \mu_c)} \quad (K_c = \lambda_c + \frac{2}{3} \mu_c); \quad (29)$$

$$\mu_c = \langle \mu(0) \rangle; \quad K_c = \langle K(0) \rangle, \quad (30)$$

если жесткость матрицы больше жесткости включений, и

$$\mu_c = \langle \mu(0)^{-1} \rangle^{-1}; \quad K_c = \langle K(0)^{-1} \rangle^{-1} \quad (31)$$

в противном случае

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_{ij}^\nu \rangle^{(0)} &= (-1)^{\nu+1} \times \\ &\times \left\{ \frac{2\mu^{*(0)}[\mu_1(0) - \mu_2(0)][K^{*(0)} - K_{3-\nu}(0)] - 3K^{*(0)}[K_1(0) - K_2(0)][\mu^{*(0)} - \mu_{3-\nu}(0)]}{6c_\nu \mu^{*(0)}[K_1(0) - K_2(0)][\mu_1(0) - \mu_2(0)]} \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + \right. \\ &\left. + \frac{\mu^{*(0)} - \mu_{3-\nu}(0)}{c_\nu[\mu_1(0) - \mu_2(0)]} \langle \varepsilon_{ij} \rangle \right\}. \end{aligned} \quad (32)$$

Для первого приближения получим

$$\begin{aligned} K^{*(1)} &= \langle K(\langle \varepsilon^\nu \rangle^{(0)}) \rangle = -\frac{c_1 c_2 [K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})]^2}{c_1 K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)}) + c_2 K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) + \bar{K}_c}; \\ \mu^{*(1)} &= \langle \mu(\langle \varepsilon^\nu \rangle^{(0)}) \rangle = -\frac{c_1 c_2 [\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})]^2}{c_1 \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)}) + c_2 \mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) + \bar{\mu}_c}; \\ \lambda^{*(1)} &= K^{*(1)} - \frac{2}{3} \mu^{*(1)}, \end{aligned} \quad (33)$$

где $\langle \varepsilon_{ij}^\nu \rangle^{(0)}$ определяются выражениями (32), и

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_{ij}^\nu \rangle^{(1)} &= (-1)^{\nu+1} \times \\ &\times \left\{ \frac{2\mu^{*(1)}[\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})][K^{*(1)} - K_{3-\nu}(\langle \varepsilon^{3-\nu} \rangle^{(0)})] - 3K^{*(1)}[K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})][\mu^{*(1)} - \mu_{3-\nu}(\langle \varepsilon^{3-\nu} \rangle^{(0)})]}{6c_\nu \mu^{*(1)}[K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})][\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})]} \right. \\ &\left. \times \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + \frac{\mu^{*(1)} - \mu_{3-\nu}(\langle \varepsilon^{3-\nu} \rangle^{(0)})}{c_\nu[\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})]} \langle \varepsilon_{ij} \rangle \right\}. \end{aligned} \quad (34)$$

и для n -го приближения

$$\begin{aligned} K^{*(n)} &= \langle K(\langle \varepsilon^\nu \rangle^{(n-1)}) \rangle = -\frac{c_1 c_2 [K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})]^2}{c_1 K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)}) + c_2 K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) + \bar{K}_c}; \\ \mu^{*(n)} &= \langle \mu(\langle \varepsilon^\nu \rangle^{(n-1)}) \rangle = -\frac{c_1 c_2 [\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})]^2}{c_1 \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)}) + c_2 \mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) + \bar{\mu}_c}; \\ \lambda^{*(n)} &= K^{*(n)} - \frac{2}{3} \mu^{*(n)}, \end{aligned} \quad (35)$$

и

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_{ij}^\nu \rangle^{(n)} &= (-1)^{\nu+1} \times \\ &\times \left\{ \frac{2\mu^{*(n)}[\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})][K^{*(n)} - K_{3-\nu}(\langle \varepsilon^{3-\nu} \rangle^{(n-1)})] - 3K^{*(n)}[K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})][\mu^{*(n)} - \mu_{3-\nu}(\langle \varepsilon^{3-\nu} \rangle^{(n-1)})]}{6c_\nu \mu^{*(n)}[K_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - K_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})][\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})]} \right. \\ &\left. \times \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + \frac{\mu^{*(n)} - \mu_{3-\nu}(\langle \varepsilon^{3-\nu} \rangle^{(n-1)})}{c_\nu[\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})]} \langle \varepsilon_{ij} \rangle \right\}. \end{aligned}$$

$$\times \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{ij} + \frac{\mu^{*(n)} - \mu_{3-v}(\langle \varepsilon^{3-v} \rangle^{(n-1)})}{c_v [\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(n-1)}) - \mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(n-1)})]} \langle \varepsilon_{ij} \rangle \}. \quad (36)$$

Предложенный метод позволяет определить эффективные коэффициенты зернистого композита с любой заданной степенью точности.

Исследование влияния нелинейности компонентов на деформирование композита. В качестве конкретной задачи исследуем нелинейное деформирование волокнистого композитного материала, у которого модули объемного сжатия волокон K_1 и связующего K_2 , постоянны, а модули сдвига μ_v ($v=1,2$) задаются функциями

$$\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle) = \begin{cases} \mu_{01}, & J_\varepsilon^1 < \frac{k_1}{2\mu_{01}}; \\ \mu_{01} - \mu'_1 \left(1 - \frac{k_1}{2J_\varepsilon^1}\right), & J_\varepsilon^1 \geq \frac{k_1}{2\mu_{01}}; \end{cases} \quad (37)$$

$$\mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle) = \begin{cases} \mu_{02}, & J_\varepsilon^2 < \frac{k_2}{2\mu_{02}}; \\ \mu'_2 + \left(1 - \frac{\mu'_2}{\mu_{02}}\right) \frac{k_2}{2J_\varepsilon^2}, & J_\varepsilon^2 \geq \frac{k_2}{2\mu_{02}}, \end{cases} \quad (38)$$

где μ_{0v} , μ'_v , $k_v = \sigma_{0v} \sqrt{\frac{2}{3}}$ – постоянные включений (при $v=1$) и связующего (при $v=2$) материала, σ_{0v} – предел их текучести, $J_\varepsilon^v = (\langle \varepsilon_{pq}^v \rangle' \langle \varepsilon_{pq}^v \rangle')^{1/2}$, $\langle \varepsilon_{pq}^v \rangle'$ – девиатор средних во включениях или матрице деформаций.

При выполнении расчетов в качестве компонентов взяты соответственно включения из органического стекла, которые имеют диаграмму нелинейного деформирования (37) с постоянными [1, 4-6]

$$K_1 = 27,78 \text{ ГПа}; \quad \mu_{01} = 20,83 \text{ ГПа}; \quad \mu'_1 = 0,184 \text{ ГПа}; \quad \sigma_{01} = 1,8 \text{ ГПа}, \quad (39)$$

объемным содержанием $c_1 = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1,0$

и эпоксидная матрица, которая имеет диаграмму линейного упрочнения (38) с постоянными [1, 4-6]

$$K_2 = 3,33 \text{ ГПа}; \quad \mu_{02} = 1,11 \text{ ГПа}; \quad \mu'_2 = 0,02 \text{ ГПа}; \quad \sigma_{02} = 0,12 \text{ ГПа}. \quad (40)$$

На основе полученных зависимостей были исследованы эффективные диаграммы нелинейного деформирования волокнистого композитного материала при различных объемных концентрациях компонентов в слоях.

На основе полученных зависимостей были исследованы эффективные диаграммы нелинейного деформирования зернистого композита при различных объемных концентрациях компонентов в случае заданных макропараметров

$$\langle \varepsilon_{11} \rangle \neq 0; \quad \langle \sigma_{22} \rangle = \langle \sigma_{33} \rangle = 0. \quad (41)$$

В этом случае согласно (20) макронапряжения $\langle \sigma_{11} \rangle$ в композите связаны с макродеформацией $\langle \varepsilon_{11} \rangle$ соотношением

$$\langle \sigma_{11} \rangle = \frac{9K^* \mu^*}{3K^* + \mu^*} \langle \varepsilon_{11} \rangle. \quad (42)$$

На рис. 2 приведены графики зависимостей макронапряжения $\langle \sigma_{11} \rangle / \mu_2$ от макродеформации $\langle \varepsilon_{11} \rangle$ для зернистого композита при различных объемных концентрациях компонентов c_1 . Как видим, физическая нелинейность компонентов материала оказывает существенное влияние на характер диаграмм деформирования для всех значений объемного содержания включений $c_1 < 1$. При $c_1 > 0$ кривые зависимостей $\langle \sigma_{11} \rangle / \mu_2$ от $\langle \varepsilon_{11} \rangle$ имеют параболический характер

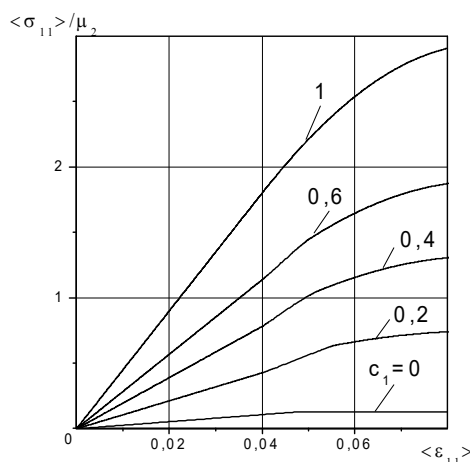


Рис. 2. Зависимости макронапряжения $\langle \sigma_{11} \rangle / \mu_2$ от макродеформации $\langle \varepsilon_{11} \rangle$ для зернистого композита при различных объемных концентрациях компонентов c_1

Выводы. В данной работе исследование нелинейного деформирования зернистых композитных материалов. Построена модель нелинейного деформирования зернистых композитных материалов, разработан алгоритм определения напряженно-деформированного состояния и эффективных деформативных свойств зернистого композита с физически нелинейными компонентами, а также исследованы зависимости деформирования зернистого композита от объемного содержания компонентов. Установлено, что физическая

нелинейность матрицы материала оказывает существенное влияние на характер диаграмм деформирования для всех значениях объемного содержания включений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев С.В., Строганов Г.Б., Ромашин А.Г. Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. М.: Альтекс, 2002. 276 с.
2. Хорошун Л.П. Методы теории случайных функций в задачах о макроскопических свойствах микронеоднородных сред // Прикладная механика. 1978. Т. 14, № 2. С. 3–17.
3. Хорошун Л.П. Метод условных моментов в задачах механики композитных материалов // Прикладная механика. 1987. Т. 23, № 10. 100–108.
4. Хорошун Л.П., Маслов Б.П., Шикла Е.Н., Назаренко Л.В. Механика композитов: В 12-х т. / под общ. ред. А.Н.Гузя / Т.3 Статистическая механика и эффективные свойства материалов. К.: Наук. думка, 1993. 390 с.
5. Гузь А.Н., Хорошун Л.П., Михайлова М.И., Бабич Д.В., Шикла Е.Н. Механика композитов: В 12 т. / под общ. ред. А.Н.Гузя / Т. 12: Прикладные исследования. К.: «А.С.К.», 2003. 398 с.
6. Хорошун Л.П., Шикла Е.Н., Деформирование физически нелинейных стохастических композитных материалов. Деформирование и кратковременная повреждаемость физически нелинейных стохастических композитных материалов / Успехи механики: В 6-ти томах / под редакцией А.Н.Гузя. / Том 6 (книга 2). К.: Литера ЛТД, 2011. 832 с. С. 161–191, 436–463.
7. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977. 400 с.
8. Khoroshun L.P., Shikula E.N. A note on the theory of short-term microdamageability of granular composites under thermal actions // International Applied Mechanics. 2002. V. 38. N 1. P. 60-67.
9. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Influence of porosity on the nonlinear deformation of granular materials // International Journal of Non-linear Mechanics. 2003. N 38. P. 1443 – 1449.
10. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation of composites with physically nonlinear matrix // Acta mechanica. 2004. Vol. 168. N 3–4. P. 233 – 239.
11. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Short-term microdamage of a granular material under physically nonlinear deformation // International Applied Mechanics. 2004. V. 40. N 6. P. 656-663.
12. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Influence of the physical nonlinearity of the matrix on the deformation of a particulate composite with microdamageable inclusions // International Applied Mechanics. 2005. V. 41. N 4. P. 345-351.
13. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Nonlinear deformation of a particulate material in complex stress state // International Applied Mechanics. 2006. V. 42. N 3. P. 291-299.
14. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation of physically nonlinear stochastic composites // International Applied Mechanics. 2008. V. 44. N 12. P. 1325-1351.
15. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation and short-term damage of physically nonlinear stochastic composites // International Applied Mechanics. 2009. V. 45. N 6. P. 1204-1212.
16. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation and long-term microdamage of physically nonlinear particulate composites // International Applied Mechanics. 2011. V. 47. N 6. P. 670-678.
17. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation and damage of composite materials of stochastic structures: physically nonlinear problems // International Applied Mechanics. 2011. V. 47. N 4. P. 169-176.

REFERENCES

1. Mikheev S.V., Stroganov G.B., & Romashin A.G. (2002) *Keramicheskiye i kompozitsionnyye materialy v aviatsionnoy tekhnike. [Ceramic and composite materials in aeronautical engineering]*. Moskva: Alteks. [in Russian].
2. Khoroshun L.P. (1978) *Metodyi teorii sluchaynykh funktsiy v zadachah o makroskopicheskikh svoystvakh mikhronednorodnykh sred [Methods of the theory of random functions in problems of macroscopic properties of microinhomogeneous media]. Prikladnaya mehanika - Applied Mechanics*. Vol. 14, 2, 3–17. [in Russian]
3. Khoroshun L.P. (1987) *Metod uslovnnykh momentov v zadachah mehaniki kompozitnykh materialov [The method of conditional moments in the problems of mechanics of composite materials]. Prikladnaya mehanika - Applied Mechanics*. Vol. 23, 10. 100–108. [in Russian]

4. Khoroshun L.P., Maslov B.P., Shikula E.N., & Nazarenko L.V. (1993) *Mehanika kompozitov. (Vols. 1-12). Vol. 3. Statisticheskaya mehanika i effektivnyye svoystva materialov [Mechanics of composites. (Vols. 1-12). Vol. 3. Statistical mechanics and effective properties of materials]*. K.: Nauk. Dumka. [in Russian]
5. Guz A.N., Khoroshun L.P., Mihaylova M.I., Babich D.V., & Shikula E.N. (2003) *Mehanika kompozitov. (Vols. 1-12). Vol. 12. Prikladnyye issledovaniya [Mechanics of composites. (Vols. 1-12). Vol. 12. Applied research]*. K.: «A.S.K.» [in Russian]
6. Khoroshun L.P., & Shikula E.N., (2011) Deformirovanie fizicheski nelineynykh stohasticheskikh kompozitnykh materialov. Deformirovanie i kratkovremennaya povrezhdaemost fizicheski nelineynykh stohasticheskikh kompozitnykh materialov [The deformation of physically nonlinear stochastic composite materials. Deformation and short-term damage of physically nonlinear stochastic composite materials]. *Uspehi mehaniki* - (Vols. 1-6; Vol. 6.2). K.: Litera LTD, [in Russian]
7. Shermergor T.D. (1977) *Teoriya uprugosti mikroneodnorodnykh sred [Theory of elasticity of microinhomogeneous media]*. M.: Nauka. [in Russian]
8. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2002) A note on the theory of short-term microdamageability of granular composites under thermal actions // *International Applied Mechanics*. V. 38. N 1. 60-67.
9. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2003) Influence of porosity on the nonlinear deformation of granular materials // *International Journal of Non-linear Mechanics*. N 38. 1443 – 1449.
10. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2004) Deformation of composites with physically nonlinear matrix // *Acta mechanica*. Vol. 168. N 3–4. 233 – 239.
11. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2004) Short-term microdamage of a granular material under physically nonlinear deformation // *International Applied Mechanics*. V. 40. N 6. 656-663.
12. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2005) Influence of the physical nonlinearity of the matrix on the deformation of a particulate composite with microdamageable inclusions // *International Applied Mechanics*. V. 41. N 4. 345-351.
13. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2006) Nonlinear deformation of a particulate material in complex stress state // *International Applied Mechanics*. V. 42. N 3. 291-299.
14. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2008) Deformation of physically nonlinear stochastic composites // *International Applied Mechanics*. 2008. V. 44. N 12. 1325-1351.
15. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2009) Deformation and short-term damage of physically nonlinear stochastic composites // *International Applied Mechanics*. V. 45. N 6. 1204-1212.
16. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2011) Deformation and long-term microdamage of physically nonlinear particulate composites // *International Applied Mechanics*. V. 47. N 6. 670-678.
17. Khoroshun L.P., & Shikula E.N. (2011) Deformation and damage of composite materials of stochastic structures: physically nonlinear problems // *International Applied Mechanics*. V. 47. N 4., 169-176.

Елена Шикула, д.ф.-м.н.

(заведуючий кафедри Інформаційних технологій

Государственного университета инфраструктуры и технологий)

НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЗЕРНИСТОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Исследовано нелинейное деформирование зернистого композитного материала. Предложена модель нелинейного деформирования зернистых композитных материалов, разработан алгоритм определения эффективных деформативных свойств зернистого композита с физически нелинейными компонентами и исследована зависимость деформирования зернистого композита от объемного содержания компонентов.

Ключевые слова: зернистый композитный материал, нелинейность деформирования компонентов, эффективные деформативные свойства, напряженно-деформированное состояние, влияние нелинейности

***Elena Shikula, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
(Head of department of Informatical technologies, State University of
Infrastructure and Technologies)***

NONLINEAR DEFORMATION OF GRANULAR COMPOSITES

Nonlinear deformation of granular composite material is investigated. A model of nonlinear deformation of granular composite materials is proposed. Granular composite is considered as a two-component material of random structure. The model is based on stochastic differential equations of the physically nonlinear theory of elasticity. The solution of the problem of the stress-strain state and effective properties of the composite material is constructed by the method of conditional averaging of L.P. Khoroshun. An algorithm for determining the effective deformative properties of a granular composite with physically non-linear components is developed. The solution of nonlinear equations that take into account the physical nonlinearity of the components is constructed by an iterative method. The law of the relationship between macrostresses and macrostrains in a granular composite is established, as well as the dependence of average strains and stresses in its components on macrostresses. Composite deformation curves are constructed for different values of the volume content of its components. The dependence of the effective deformative properties of the granular composite on the volume contents of the components was studied. The influence of components non-linearity on the deformation of a composite material is investigated. It has been established that the non-linearity of the components significantly affects on the effective deforming properties and the stress-strain state of granular composites.

Keywords: granular composite material, nonlinearity of deformation of components, efficient deformative properties, stress-strain state, influence of nonlinearity

УДК 656.029.6

*Сергій Турпак, д.т.н., професор
(завідувач кафедри транспортних технологій, Національний
університет «Запорізька політехніка»)*

*Юлія Завальна
(інженер-математик відділу АСУ ТП)*

*Сергій Грицай
(старший викладач кафедри транспортних технологій, Національний
університет «Запорізька політехніка»)*

*Пілікіна Анастасія
(студентка, Національний університет «Запорізька політехніка»)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ РІДКОГО ЧАВУНУ ІМІТАЦІЙНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ

Представлено етапи вдосконалення імітаційної моделі перевезень рідкого чавуну, з урахуванням збільшення частки матеріалу, що розливається на розливних машинах безпосередньо в доменному цеху. Проведено факторний експеримент на представленій моделі. Виконано аналіз впливу коефіцієнту використання локомотивів при розподілу рідкого чавуну між міксерним відділенням та розливними машинами.

Ключові слова: чавун, ківш, вантажопотік, розливна машина, моделювання, імітаційна модель, експеримент, фактор, аналіз.

Вступ. На сьогоднішній день одним з показників, що мають вплив на виробництво металу, є своєчасне забезпечення мартенівського цеху чавуном. При цьому, на якість готового продукту впливає як кількість готового чавуну, так і його якісні показники, які залежать від часу його надходження до міксеру. Час транспортування рідкого чавуну має значний вплив на його температуру, зміна якої призводить до збільшення паливно-енергетичних та часових ресурсів на його підготовку до подальшого оброблення. Внаслідок змін у транспортуванні рідкого чавуну може спостерігатись зниження продуктивності на подальших ланках технологічного циклу металургійного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання логістичного підходу в транспортно-виробничих системах є дієвим засобом підвищення ефективності доставки вантажів на промислових підприємствах [1-7]. В умовах технічного переоснащення та розвитку доменних цехів металургійного підприємства, за рахунок використання більш сучасного обладнання доменного цеху,

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-6

може спостерігатись збільшення обсягів виробництва чавуну. Тому потребують удосконалення існуючі методи організації перевезення рідкого чавуну, які повинні враховувати можливість зміни та перерозподілу вантажопотоків. В умовах наявності значної кількості стохастичних параметрів функціонування транспортної системи доцільним є використання методу імітаційного моделювання [8-15].

Зазвичай, на металургійних підприємствах з повним металургійним циклом роботи, практично весь обсяг рідкого чавуну спрямовується до сталеливарного цеху, що забезпечує використання більш наукоємних технологій, які повинні забезпечувати більший прибуток від реалізації продукції. За таких умов, при розробці імітаційних моделей не має сенсу деталізувати процеси перевезень до інших підрозділів. Але в умовах ринку, обумовлених зміною попиту, ціни на різні види металопродукції, може виникати потреба зміни балансу розподілу вантажопотоків чавуну до пунктів злиття. Тому актуальним питанням є врахування в імітаційній моделі всіх перевезень з однаково високим рівнем деталізації. На удосконаленій моделі необхідно виконати факторний експеримент, та на основі отриманих результатів визначити найбільш ефективну транспортну технологію роботи доменного цеху при транспортуванні рідкого чавуну.

Мета і завдання дослідження – для умов збільшення вантажопотоку рідкого чавуну, та перерозподілом його між міксером та розливними машинами необхідно вирішити наступні завдання:

1. Удосконалити імітаційну модель перевезень рідкого чавуну, врахувавши збільшення вантажопотоку до розливних машин;
2. Поставити факторний експеримент на імітаційній моделі;
3. Виконати моделювання та аналіз його результатів, визначити найбільш ефективну транспортну технологію роботи доменного залізничного району при перевезенні рідкого чавуну.

Матеріали та методи дослідження. Існуюча модель перевезень рідкого чавуну [3] була розроблена з урахуванням спрямування майже усього вантажопотоку чавуну до мартенівського цеху. В умовах збільшення частки чавуну, що розливається безпосередньо в доменному цеху на розливних машинах до 18% від загального обсягу, модель потребує удосконалення.

На основі рекомендацій [3] концептуальна модель перевезень рідкого чавуну металургійного підприємства, наприклад, ПАТ «Запоріжсталь» може бути представлена у такому вигляді (рис. 1).

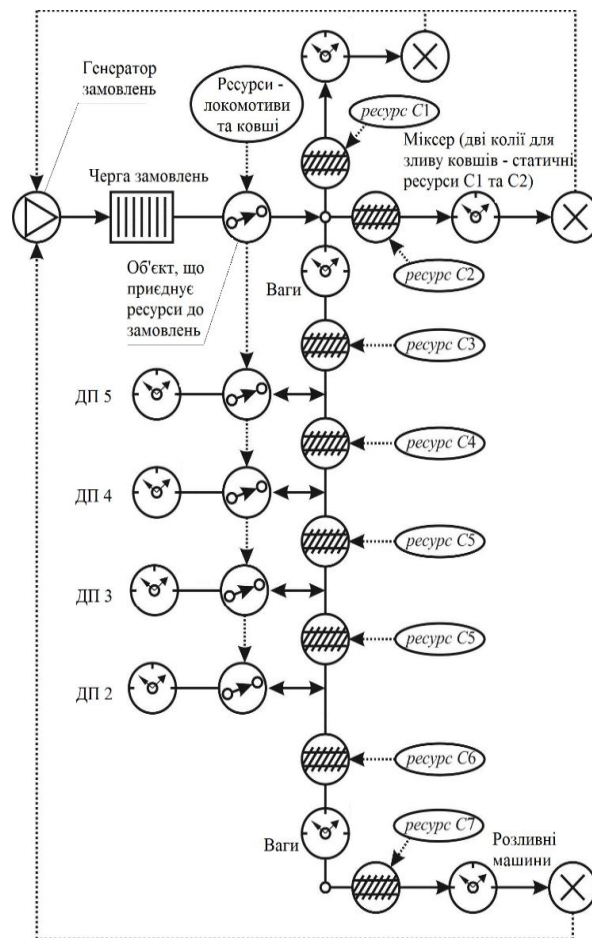


Рис. 1. Концептуальна модель перевезень рідкого чавуну

Дана структура може бути реалізована в програмному середовищі імітаційного моделювання, наприклад, в програмі «Енілоджік».

В існуючій моделі фактор перевезень рідкого чавуну до розливних машин було враховано умовно, без необхідної за таких умов деталізації процесу. Тому структуру цієї моделі було перероблено та удосконалено, зважаючи на роботу транспорту у розливному відділенні доменного цеху.

Інтенсивність випуску чавуну задана в моделі за встановленим графіком. Постановка експерименту на даній імітаційній моделі спрямована на дослідження ефективності різних варіантів транспортних технологій по доставці чавуну в пункти злиття ковшів.

Параметри управління моделлю задаються у об'єктах SelectOutput, де вказується ймовірність направлення ковшів до міксеру.

Замовленнями в моделі є вимога на постановку ковшів до печі, на який планується найближчий за часом випуск рідкого чавуну. Замовлення захоплює вільні ресурси – пересувні (ковші) та рухомий ресурс (тепловоз). Для цього використовується стандартний елемент програми «Енілоджік NetworkSeize (рис. 2).

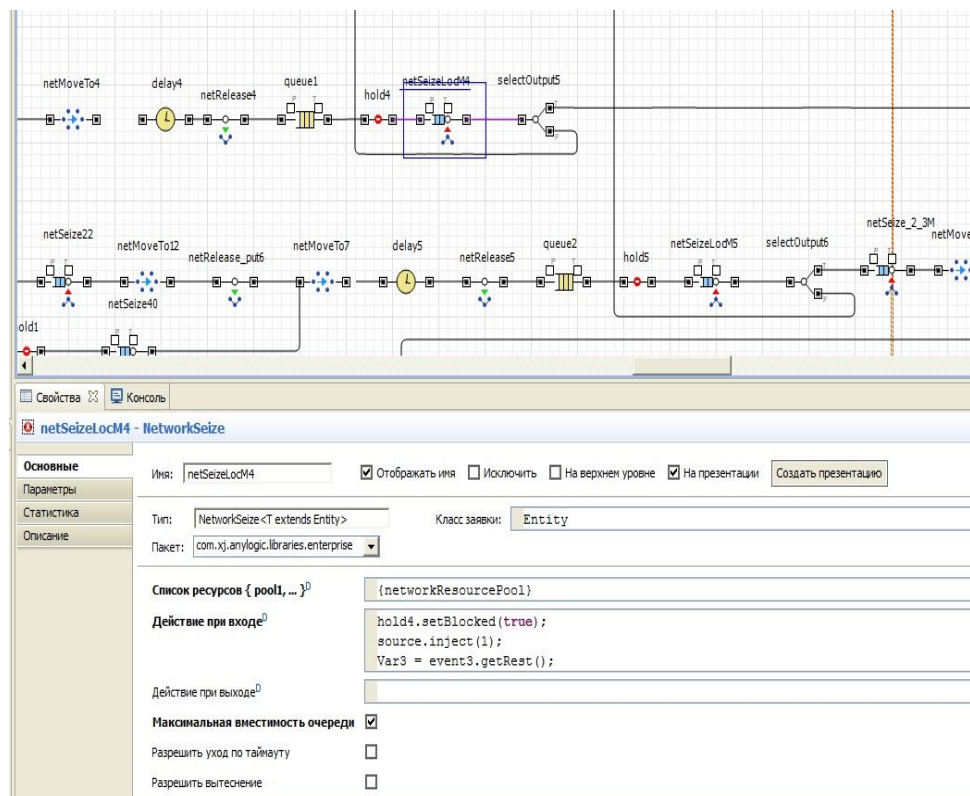


Рис. 2. Об'єкт NetworkSeize в структурі моделі

Моделюється рух локомотива з ковшами до замовлення. Після закінчення розрахункового часу наповнення ковшів, локомотив доставляє їх або до мартенівського цеху, або до розливних машин. Частка чавуну, яка потрапляє до цеху виливниць, досить незначна, тому в даному дослідженні не виділялась. Залізничні колії в програмному середовищі представлені у якості статичних ресурсів, забезпечуючи неможливість знаходження на одній колії більш, ніж одного составу одночасно.

Після доставки до пункту призначення, рухомі ресурси вивільняються об'єктом NetworkRelease. Пересувні ресурси вивільняються цим же об'єктом після закінчення встановленого часу затримки. Затримка здійснюється об'єктом Delay.

Важливим етапом розробки моделі є встановлення всіх фіксованих (незмінних при моделюванні) параметрів. До таких параметрів відносяться час руху та тривалість вантажних та технологічних операцій. Особливу складність представляє процес регулювання в моделі параметрів швидкості ресурсів, щоб вони максимально відповідали нормативним значенням тривалості пересувань. Але для цього в програмному середовищі створені необхідні умови: анімація моделі дозволяє відстежити всі процеси наочно, спостерігаючи за плином часу.

На доменному залізничному районі «Запоріжсталі» зважування чавуновозних ковшів передбачене на двох вагових. Одна з них розташована поблизу доменної печі №2, інша – поблизу доменної печі №5.

Рух до мартенівського цеху здійснюється у напрямку від доменної печі №2 до доменної печі №5, а рух до розливних машин – у зворотному напрямку. Тому в моделі приймаємо за правило (певне спрощення реального процесу), зважувати порожні ковші, які прямують призначенням до доменної печі №1, або з розливних машин до будь-якої печі, на ваговій, розташованій ближче до доменної печі №2 (вагова станція Доменна). Також на цих вагах передбачаємо визначення ваги ковшів з чавуном, навантаження яких здійснювалось на доменній печі №2, а також тих завантажених чавуновозів, які прямують до розливних машин.

Інші ковші вважаємо такими, що зважуються на вагонах, розташованих поблизу доменної печі №5 (вагова міксерного відділення).

Планування модельних експериментів спрямоване на скорочення загального обсягу випробувань при дотриманні вимог до точності та достовірності результатів й підвищення інформативності експериментів.

Пошук плану експерименту проводиться в факторному просторі – безлічі зовнішніх і внутрішніх параметрів моделі, значення яких дослідник може контролювати в ході підготовки і проведення експерименту на розробленій моделі.

Пересування ковшів на розливні машини в дійсний час здійснюється без логістичного підходу та врахування факту, що витрати на перевезення при різних технологіях транспортного обслуговування будуть відрізнятися.

Звичайно, у виборі, з якої печі чавун надходить до розливних машин, важливе значення має якість чавуну (його хімічний склад) та інші виробничі фактори. Але принциповим є формування підходу до врахування транспортних витрат в цьому виборі.

Очевидним є той факт, що в нашому випадку, оскільки доменна піч №2 розташована найближче до розливних машин, то й бажано саме від неї направляти до них чавун.

В транспортній системі, що розглядається, наявна значна кількість стохастичних параметрів, рух декількох локомотивів здійснюється з обов'язковим виходом на одну й ту ж головну колію, що проходить уздовж доменних печей від міксерного відділення мартенівського цеху до примикання розливного відділення. Може бути доцільним здійснювати частину перевезень рідкого чавуну також від доменної печі №3, та, навіть, №4. За таких вихідних умов, аналітичні або експертні методи будуть менш точними, ніж метод імітаційного моделювання.

Фактор, який буде змінюватись в моделі перед моделюванням – ймовірність направлення чавуну до розливних машин від окремої доменної печі. Виконаємо експеримент зі зміною факторів по одному. Тобто один з факторів суттєво (у межах реально можливих величин) змінюється, а інші утримуються на одному й тому ж рівні (між собою). Такий підхід забезпечить дослідження впливу кожного фактору. Він потребує виконати певну кількість експериментів [16], яка визначається за формулою:

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_i$$

де n – кількість рівнів i -го фактора.

Кожен з факторів, який характеризує ймовірність направлення чавуну до міксерного відділення, може коливатись у діапазоні від 0,82 (відповідає частині чавуну від загального обсягу виробництва, який повин потрапити до міксеру) до 0,28 (оскільки три інші фактори при значенні 0,28 приймають значення 1). За

реальних умов можна прийняти цей діапазон від 0,82 до 0,34 (інші фактори обмежуються значенням 0,98), так як у реальних умовах може виникнути необхідність потреби направити на розливні машини чавун з будь-якої печі. Більш зручно представити план експерименту з почерговою зміною кожного фактору можна у вигляді табл. 1.

Таблиця 1. План факторного експерименту

Номер експерименту	Фактор 1 (ДП 2)	Фактор 2 (ДП 3)	Фактор 3 (ДП 4)	Фактор 4 (ДП 5)	Середнє значення фактору
1	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
2	0,7	0,86	0,86	0,86	0,82
3	0,58	0,9	0,9	0,9	0,82
4	0,46	0,94	0,94	0,94	0,82
5	0,34	0,98	0,98	0,98	0,82
6	0,86	0,7	0,86	0,86	0,82
7	0,9	0,58	0,9	0,9	0,82
8	0,94	0,46	0,94	0,94	0,82
9	0,98	0,34	0,98	0,98	0,82
10	0,86	0,86	0,7	0,86	0,82
11	0,9	0,9	0,58	0,9	0,82
12	0,94	0,94	0,46	0,94	0,82
13	0,98	0,98	0,34	0,98	0,82
14	0,86	0,86	0,86	0,7	0,82
15	0,9	0,9	0,9	0,58	0,82
16	0,94	0,94	0,94	0,46	0,82
17	0,98	0,98	0,98	0,34	0,82

Виконавши прогони моделі з періодом роботи один рік, зафіксовано результати роботи, основним з яких є коефіцієнт використання ресурсів – локомотивів за часом. На рис.8 наведено результати роботи моделей при зміні фактору №1 від базового значення, коли кожна з печей 0,82 від обсягу виробництва спрямовує до міксерного відділення (0,18 – до розливних машин), до мінімально можливого значення 0,34.

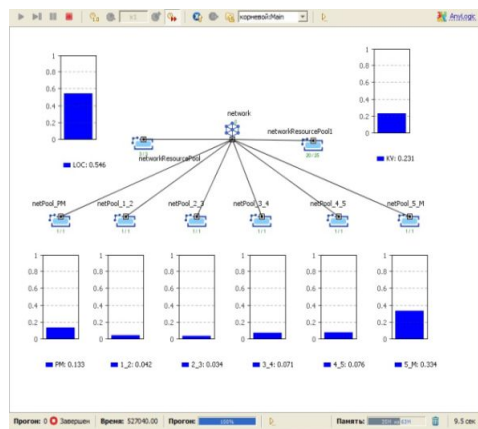
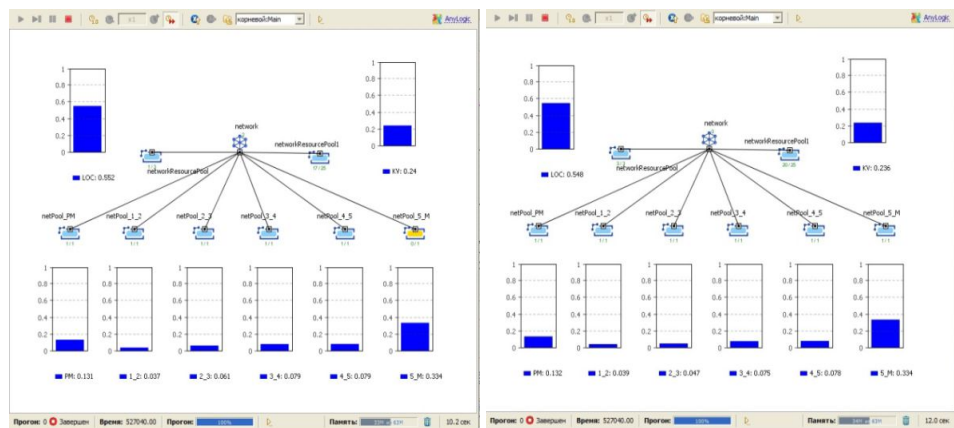
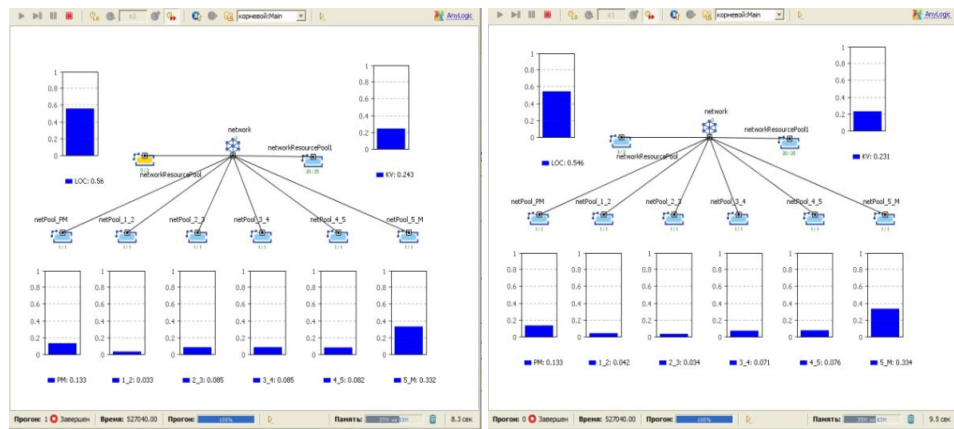


Рис. 3. Результати експериментів:
а – 1, б – 2, в – 3, г – 4, д – 5

На даних рисунках наведено у стовпчикових діаграмах наведені показники використання ресурсів:

ЛОС – локомотивів;

KV – ковшів;

основних ділянок колій 1-2, 2-3, 3-4, 4-5;

РМ (заїзд до розливних машин);

М (міксерне відділення).

Окрім коефіцієнту використання локомотивів, інші показники роботи не має сенсу аналізувати, вони не є достатньо суттєвими для умов наших процесів.

Результати всіх експериментів зведемо до табл. 2.

Таблиця 2. Результати проведених експериментів

Номер експерименту	Фактор 1 (ДП 2)	Фактор 2 (ДП 3)	Фактор 3 (ДП 4)	Фактор 4 (ДП 5)	Коефіцієнт використання локомотивів
1	0,82	0,82	0,82	0,82	0,56
2	0,7	0,86	0,86	0,86	0,555
3	0,58	0,9	0,9	0,9	0,552
4	0,46	0,94	0,94	0,94	0,548
5	0,34	0,98	0,98	0,98	0,54
6	0,86	0,7	0,86	0,86	0,559
7	0,9	0,58	0,9	0,9	0,56
8	0,94	0,46	0,94	0,94	0,562
9	0,98	0,34	0,98	0,98	0,562
10	0,86	0,86	0,7	0,86	0,56
11	0,9	0,9	0,58	0,9	0,562
12	0,94	0,94	0,46	0,94	0,565
13	0,98	0,98	0,34	0,98	0,568
14	0,86	0,86	0,86	0,7	0,561
15	0,9	0,9	0,9	0,58	0,564
16	0,94	0,94	0,94	0,46	0,566
17	0,98	0,98	0,98	0,34	0,569

Аналіз виконаних експериментів зручно представити у вигляді графіків (рис.4).

З аналізу графіків на рис. 4 можна зробити висновок щодо суттєвого позитивного впливу на значення коефіцієнту використання локомотивів фактору 1 – розподілу відправлення чавуну з доменної печі №2. Ефективність при максимальному використанні доменної печі №2 для постачання рідкого чавуну до розливних машин складається у зниженні коефіцієнту використання локомотивів з 0,56 до 0,54, тобто на 2%. Фактор 2 (розподіл чавуну ДП 3) не має самостійного позитивного впливу на коефіцієнт використання локомотивів за часом, а фактори 3 та 4 мають лише негативний вплив при збільшенні частки відправлень чавуну до розливних машин.

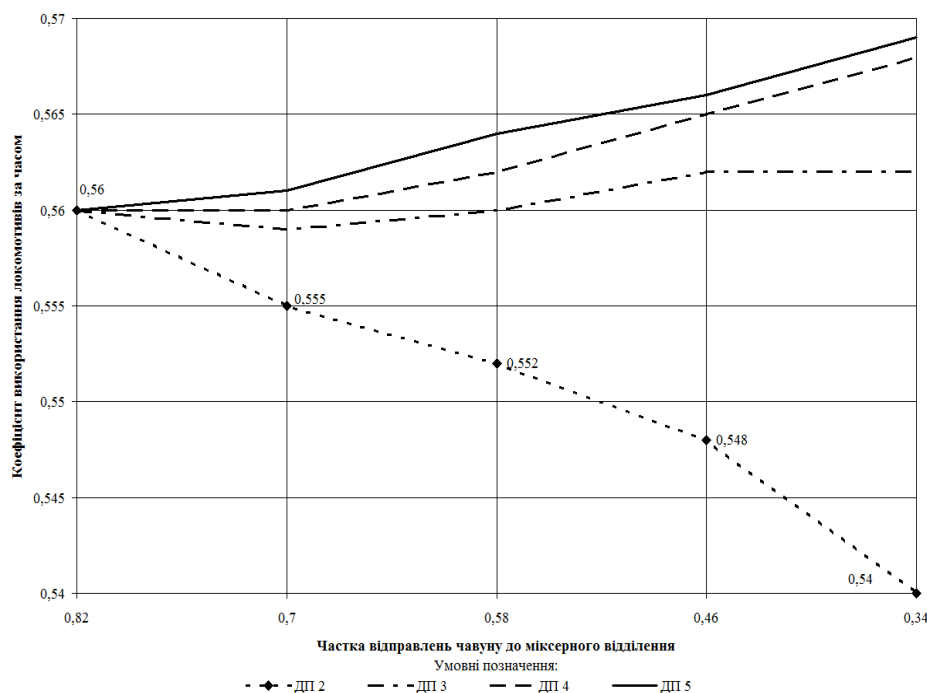


Рис. 4. Графіки зміни коефіцієнта використання локомотивів за часом залежно від зміни частки відвантаження чавуну по доменних печах до міксерного відділення

Висновки. В роботі удосконалено імітаційну модель перевезень рідкого чавуну, яка враховує можливість збільшення вантажопотоку до розливних машин.

Поставлено факторний експеримент на імітаційній моделі та визначено вплив на показник використання локомотивів за часом вибору доменних печей, з яких чавун направляється до розливних машин. Розрахунки показують, що коефіцієнт використання локомотивів за часом може бути зменшено на 2%.

Проведено моделювання та виконано аналіз результатів, що дозволяє визначити найбільш ефективну транспортну технологію роботи доменного залізничного району при перевезенні рідкого чавуну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Парунакян, В. Э., Маслак А. В. Повышение эффективности управления производственно-транспортной системой металлургических предприятий. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. Вип. 3 (233). С. 125–131.
2. Парунакян, В. Э., Маслак А. В. Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения металлургических предприятий. Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту, 2017. Вип. 35. С. 237–244.
3. Турпак, С. М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств, 2015. С. 264.
4. Турпак, С. М., Грицай С. В., Острогляд О. О. Розробка мікрологістичної системи доставки готової продукції металургійних підприємств залізничним транспортом. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2014. Вип. 5. С. 10–18.
5. Лашеных, А. А., Турпак С. Н., Грицай С. В. Логистическое представление процессов движения материальных ресурсов. Национальная ассоциация ученых, 2015. Вип. 2 (7). С. 91–95.

6. Turpak, S. M. Intelligent control system of railway transport at metallurgical plants. Commission of motorization and energetics in agriculture, 2015. Vol. 15. No.4. P. 53–60.
7. Turpak, S., Gritcay S., Ostrohlyad E. Logistics of raw materials supply for the ferroalloy industry. Metallurgical and Mining Industry, 2016. No.10. P. 16–23.
8. Турпак, С. М. Удосконалення методу імітаційного моделювання вхідних вагонопотоків металургійних підприємств. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2015. Вип. 1. С. 51–56.
9. Козаченко, Д. М., Вернигора Р. В., Коробйова Р. Г. Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіка. Залізничний транспорт України, 2008. Вип. 4. С. 18–20.
10. Імітаційне моделювання масових перевезень готової продукції металургійних підприємств автомобільним транспортом / Г. Ф. Бабушкін та ін. Металлургическая и горнорудная промышленность, 2014. Вип. 3. С. 123–125.
11. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations / A. Lashenyh and others. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. No. 5/3 (83). P. 40–46.
12. The effect of methods of eliminating spikes in the time series of freight flows on their statistical characteristics / S. Gritcay and others. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. No. 1/3 (85). P. 33–39.
13. Оптимізація графіків внутрішніх залізничних перевезень металургійного підприємства / С. М. Турпак та ін. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. Вип. 3. С. 199–205.
14. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production / S. Turpak and others. Scientific Bulletin of National Mining University, 2018. No. 1. P. 162–169.
15. Turpak, S., Taran I., Ostrohliad O. Improvement of a system controlling a process of railcars unloading in the context of changes in temperature mode while operating. Radio Electronics, Computer Science, Control, 2018. No. 1. P. 183–191.
16. Єремєєв, В. С., Ракович Г. М. Теорія планування та обробки експерименту, 2012. С. 92.

REFERENCES

1. Parunakian, V., Maslak, A. (2017). Povyshenie effektivnosti upravleniya proizvodstvenno-transportnoj sistemoy metallurgicheskikh predpriyatij [Improving the management of the production and transportation system of metallurgical enterprises]. Visnyk Shkhydnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, 3 (233), 125–131. [in Russian].
2. Parunakian, V., Maslak, A. (2017). Povyshenie effektivnosti vzaimodejstviya proizvodstva i transporta v processe materialodvizheniya metallurgicheskikh predpriyatij [Improving the efficiency of interaction between production and transport in the process of material movement of metallurgical enterprises]. Visnyk Priazov. derzh. tehn. universitetu, 35, 237–244. [in Russian].
3. Turpak, S. (2015). Logistichni sistemi upravlinnya zaliznichnim transportom metalurgijnih pidpriemstv [Logistic systems for controlling transport of metallurgy]. 264. [in Ukrainian].
4. Turpak, S., Gritcay, S., Ostrohlyad, E. (2014). Rozrobka mikrologistichnoyi sistemi dostavki gotovoyi produkciyi metalurgijnih pidpriemstv zaliznichnim transportom [Sedimentation of a micro-logistic system for the delivery of finished products of metallurgical feed-offs by a suburban transport]. Shidno-Yevropejskij zhurnalпередовih tehnologij, 5, 10–18. [in Ukrainian].
5. Lashchenykh, A., Turpak, S., Gritcay, S. (2015). Logisticheskoe predstavlenie processov dvizheniya materialnyh resursov [Logistic presentation of the processes of movement of material resources]. Nacionalnaya asociaciya uchenyh, 2(7), 91–95. [in Russian].
6. Turpak, S. (2015). Intelligent control system of railway transport at metallurgical plants. Commission of motorization and energetics in agriculture, 15 (4), 53–60.
7. Turpak, S., Gritcay, S., Ostrohlyad, E. (2016). Logistics of raw materials supply for the ferroalloy industry. Metallurgical and Mining Industry, 10, 16–23.
8. Turpak, S. (2015). Udoskonalennya metodu imitacijnogo modelyuvannya vhidnih vagonopotokiv metalurgijnih pidpriemstv [Improvement of the method of simulation modeling of incoming carriages of metallurgical enterprises]. Visnyk Shkhydnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, 1, 51–56. [in Ukrainian].
9. Kozachenko, D., Vernyhora, R., Korobiova, R. (2008). Programnij kompleks dlya imitacijnogo modelyuvannya roboti zaliznichnih stancij na osnovi dobovogo planu-grafika [Software complex for

simulation of railway station work on the basis of daily schedule]. *Zaliznichnij transport Ukraini*, 4, 18–20. [in Ukrainian].

10. Babushkin, H., Turpak, S., Gritcay, S. et al. (2014). Imitacijne modelyuvannya masovih perevezen gotovoyi produkciji metalurgijnih pidpriemstv avtomobil-nim transportom [Simulation modeling of mass transportation of finished products of metallurgical enterprises by road]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, 3, 123–125. [in Ukrainian].

11. Lashenyh, A., Turpak, S., Gritcay, S. et al. (2016). Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3 (83), 40–46.

12. Gritcay, S., Lashenyh, A., Turpak, S. et al. (2017). The effect of methods of eliminating spikes in the time series of freight flows on their statistical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/3 (85), 33–39.

13. Turpak, S., Vasylieva, L., Lebid, H. et al. (2017). Optimizaciya grafikiv vnutrishnih zaliznichnih perevezen metalurgijnogo pidpriemstva [Optimization of schedules of internal rail transportation of metallurgical enterprise]. *Visnyk Skhidnoukrajinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 3, 199–205. [in Ukrainian].

14. Turpak, S., Taran, I., Fomin, O. et al. (2018). Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 162–169.

15. Turpak, S., Taran, I., Ostroliad, O. (2018). Improvement of a system controlling a process of railcars unloading in the context of changes in temperature mode while operating. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 183–191.

16. Yermieiev, V., Rakovich, H. (2012). *Teoriya planuvannya ta obrobki eksperimentu* [Experiment planning and processing theory], 92.

Сергей Турпак, д.т.н., профессор

(заведующий кафедры транспортных технологий, Национальный университет «Запорожская политехника»)

Юлия Завальная

(инженер-математик отдела АСУ ТП)

Сергей Грицай

(старший преподаватель кафедры транспортных технологий, Национальный университет «Запорожская политехника»)

Пиликина Анастасия

(студентка кафедры транспортных технологий, Национальный университет «Запорожская политехника»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКАМИ ЖИДКОГО ЧУГУНА ИМИТАЦИОННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ

Представлены этапы совершенствования имитационной модели перевозок жидкого чугуна, с учетом увеличения доли разливаемого материала на разливочных машинах непосредственно в доменном цехе. Проведен факторный эксперимент на представленной модели. Выполнен анализ влияния коэффициента использования локомотивов при распределения жидкого чугуна между миксерным отделением и разливочными машинами.

Ключевые слова: *чугун, ковши, грузопоток, разливное машина, моделирование, имитационная модель, эксперимент, фактор, анализ.*

*Serhii Turpak, Doctor of Science (Engineering), Professor
(Head of the Department of Transportation technology, National University
«Zaporizhzhia Polytechnic»)*

Yuliia Zavalna

(Mathematician-engineer, Department of OSASP)

Sergey Gritcay

*(Senior Lecturer of the Department of Transportation technology, National
University «Zaporizhzhia Polytechnic»)*

Pilikina Anastasiia

*(Student of the Department of Transportation technology, National
University «Zaporizhzhia Polytechnic»)*

STUDY OF THE LIQUID IRON LOAD FLOWS MANAGEMENT EFFICIENCY BY THE DELIVERY PROCESS IMITATION MODELLING

Based on the analysis of the work of metallurgical enterprises, it is found that practically all the amount of liquid iron goes to the steel workshop, which ensures the use of more high-tech technologies, which should provide more profit from the sale of products. In such circumstances, it is not sensible to elaborate transportation processes to other units when developing simulation models. It is noted that in the conditions of the market, caused by the change in demand, prices for different types of metal products, there may be a need to change the balance of distribution of freight flows of iron to the points of merger. The actual issue of taking into account in the simulation model of all transportations with equally high level of detail is determined. Therefore, the structure of this model has been redesigned and refined, taking into account the work of transport in the blast furnace department. The intensity of cast iron production was set in the model as per the schedule. The design of the experiment is aimed at investigating the effectiveness of various options for transport technologies for the delivery of cast iron at the points of merger of ladles. A factor experiment on a simulation model was performed and the influence on the locomotive utilization rate of the choice of blast furnaces from which cast iron was directed to the pouring machines was determined. Simulation and analysis of the results was performed to determine the most efficient transport technology of the blast-furnace rail area operation in the transportation of liquid iron.

Keywords: *cast iron, ladle, cargo flow, pouring machine, simulation, simulation model, experiment, factor, analysis..*

УДК 355.691.3:623.828.5

Олексій Мельник

**(старший викладач кафедри «Судноводіння і морська безпеки»
Одеського національного морського університету)**

ОГЛЯД СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ В УКРАЇНІ

У статті висвітлено стан дослідження проблеми перевезень негабаритних вантажів в Україні, зокрема проаналізовано думки вчених з приводу даної проблематики. Охарактеризовано особливості перевезень негабаритних вантажів на річковому та морському транспорті. Виявлено обставини, якими на сьогодні характеризується стан справ у галузі; проаналізовано бачення науковців щодо основних невирішених проблем, характерних для транспортної галузі України загалом та перевезень негабаритних вантажів зокрема. Запропоновано авторське бачення щодо вирішення виявлених проблем та подолання існуючих труднощів у галузі.

Ключові слова: транспорт, транспортна система, вантажні перевезення, річковий транспорт, морський транспорт, негабаритні вантажі, негабаритні перевезення.

Вступ. Транспортування негабаритних вантажів є специфічною галуззю перевезення, що потребує не лише великого практичного досвіду і відповідного знання, а й устаткування певної спеціалізації, зокрема навантажування і вивантажування. Транспортування негабаритів вимагає нестандартних рішень з їх розміщування на платформах для транспортування таких засобів, як судна, автомобілі або поїзди.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Для кожного виду транспорту є таке визначення, як негабаритний вантаж. Відсутність же однакових понять, що містить ця категорія, пов'язана зі специфікою та провізними інфраструктурними можливостями, що застосовують для перевезень особливих у плані розмірів і маси вантажів та з безпечністю власне процесу перевезення. Через це теоретичні і технічні умови навантаження, транспортування негабаритних і великовагових вантажів наразі мають високий ступінь актуальності. Дослідженню проблем перевезень морським транспортом та питання стану дослідження присвятили свою увагу такі науковці, як О.Шибасєв, О. Кириллова, О. Мельник, А. Котенко, П. Масляк, О. Ложачевська, О. Карась, Р. Бугаєвський, І. Допіра, В. Лифар, П. Овчар, О. Акімова, Р. Веприцький, Г. Ейтутіс, С. Артем'єва, В. Яневич, А. Окороков та багато інших.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-7

Перевезення негабаритних і великовагових вантажів (НВВ) розглядають як одну з найбільш важливих послуг транспортування, що є і найбільш прибутковою. Це вимагає потужної техніки і підготовлених висококваліфікованих спеціалістів. Такі перевезення найскладніші і потребують, в першу чергу, великої кількості узгоджень з органами державних підрозділів і транспортних служб. У спадок від радянського союзу Україна отримала кризу застарілого матеріально-виробничого ресурсу, що, у свій час, є стимулом модернізації і розширювання підприємств промислового характеру. Це спричиняє збільшення замовлень на постачання обладнання для промислової сфери, зокрема, енергетики, добування та металургії. Збільшується число змішаних перевезень негабаритних і великовагових вантажів на прямі міжнародні сполучення при участі річкових і морських транспортних засобів.

Мета і завдання дослідження. Основною метою даної статті є аналіз поточного стану дослідження проблеми перевезень негабаритних вантажів в Україні. У зв'язку з цим варто вирішити такі завдання: висвітлити стан дослідження проблеми перевезень негабаритних вантажів в Україні, зокрема проаналізувати думки вчених з приводу даної проблематики; охарактеризувати особливості перевезень негабаритних вантажів на річковому та морському транспорті; виявити обставини, якими на сьогодні характеризується стан справ у галузі; проаналізувати бачення науковців щодо основних невирішених проблем, характерних для транспортної галузі України загалом та перевезень негабаритних вантажів зокрема; запропонувати авторське бачення щодо вирішення виявлених проблем та подолання існуючих труднощів у галузі.

Матеріали та методи дослідження. З огляду на те, що аспекти організації перевезень негабаритних вантажів для авіаційного транспорту відображені в багатьох наукових роботах, включаючи розробку методики моделювання вантажно-розвантажувальних процесів, а також розробку вантажно-розвантажувального комплексу негабаритних вантажів для авіаперевезень. Водночас певною мірою висвітлені питання організації та управління перевезеннями негабаритних вантажів на залізничному й автомобільному транспортах та проблеми, які виникають при перевезенні таких вантажів та шляхи їх вирішення. Завдання статті розглянути стан дослідження проблеми перевезень негабаритних вантажів в Україні, а також роль, яку відіграє морський та річковий транспорт України.

Основною продукцією будь-якого виду транспорту, є надання послуг з перевезення. Транспортні послуги слід розглядати як товар, якому притаманні певні характеристики : час доставки(перевезення); схоронність вантажів; безпека перевезень; ціна доставки (тарифи). Рівень, на якому повинні підтримуватися перераховані характеристики, визначається станом економіки держави в цілому, параметрами транспортної системи та технологією її функціонування. [12]. Погоджуємося з В. Лифар у тому, що на сучасному етапі світового розвитку транспортної логістики зростає роль і значення регіональних факторів інфраструктурного забезпечення товарних потоків. Оскільки транспортна мережа України також інтегрована в міжнародну транспортну мережу і приймає активну участь в обслуговуванні міжнародних товарних потоків, то слід більше уваги приділяти питанням впровадження та розвитку транспортної логістики в країні [6].

У ході дослідження економічної та соціальної географії України П. Масляк дійшов висновку, що раніше транспорт здебільшого відігравав забезпечувальну роль для різних галузей економіки, а на сучасному етапі він став однією із важливих передумов їх зростання. Транспорт є галуззю, яка знаходиться на стику

виробничої сфери і сфери послуг. Він не створює ніяких матеріальних цінностей, а забезпечує перевезення вантажів і людей, розвиваючи зв'язки між підприємствами, галузями, регіонами. Його ще називають "кровоносною системою економіки", бо він є необхідною умовою функціонування господарства. Ефективне функціонування державної транспортної системи та включення її у європейську та світову транспортні мережі сприяє вирішенню найважливіших завдань сьогодення та дозволяє збільшити обсяги перевезень [8].

Характеризуючи транспортну галузь України, О. Ложачевська зазначає, що більшості організацій у своїй діяльності необхідно вирішувати завдання немислимі без транспортного забезпечення. Транспортний комплекс є важливою складовою у структурі економіки України. Ефективне управління транспортною системою та включення її у європейську та світову транспортні мережі сприяє вирішенню найважливіших завдань сьогодення та дозволяє збільшити обсяги міжнародних перевезень. Транспорт є рівним чином фактором політичного розвитку у зовнішньому та внутрішньому вимірах, інструментом реалізації національних інтересів, забезпечення гідного місця країни у світовій господарській системі [7, с. 40]. Однак П. Овчар у дослідженні теоретичних основ державного регулювання автотранспортної діяльності звертає увагу на те, що в умовах надто жорсткого або дуже слабкого державного регулювання транспортної діяльності формується тіньова економіка, частка якої навіть для більшості розвинутих країн значна в загальному обсязі національного продукту. І тоді в якості регулятора тіньової сфери ринкових відносин формується власний, нелегальний і повністю саморегульований механізм управління [10]. Це потребує нових підходів до забезпечення необхідних умов для функціонування річкового та морського транспорту у контексті особливостей перевезень негабаритних вантажів. Як зазначає О. Акімова, світовий досвід роботи транспортно-експедиторських компаній (ТЕК) свідчить про те, що в теперішній час є тенденція до трансформації транспортно-експедиторських підприємств в логістичні фірми, що надають послуги з організації перевезень вантажів в інтермодальному сполученні. Роль експедиторів у забезпеченні зовнішньої торгівлі велика. За оціночними даними 75–80 % всіх вантажних перевезень в світі зорганізуються експедиторами [1].

Досліджуючи особливості функціонування внутрішнього водного транспорту у світовій системі перевезень, О. Мельник акцентує увагу на тому, що внутрішній водний транспорт є важливою складовою у транспортній інфраструктурі зарубіжних країн. На відміну, в транспортній системі України річкові перевезення займають досить незначну частку від загальних вантажоперевезень. Ще 25 років тому обсяги вантажоперевезень по Дніпру перевищували 60 млн. тонн, проте, на сьогоднішній день перевозиться лише приблизно 6 млн. тонн. Частка річкового транспорту в загальному вантажообігу складає менше 1%. Це обумовлено низькою конкурентоспроможністю річкового транспорту порівняно з іншими видами транспорту. Реформування воднотранспортної системи України необхідно здійснювати, враховуючи зарубіжний досвід, на логістичних засадах [9].

Автор також зауважує, що система внутрішнього водного транспорту Західної Європи складається в основному з річки Рейн з притоками Скалдіз, Мез, Мозель, Майн, Неккар, а також з рік Сена і Рона (Франція), з'єднаних з басейном Рейна невеликими водними шляхами. Канал Рейн-Майн-Дунай з'єднує цю водну систему з внутрішніми водними шляхами Східної Європи. Загальна протяжність водних шляхів складає 225 тис. км, в тому числі: в Німеччині понад 4 тис. км (з них 1/3

складають канали), в Нідерландах 4 тис. км, у Франції 6,7 тис. км, в Бельгії 2,0 тис. км [9]. Водними шляхами з'єднуються головні порти промислових зон Німеччини, Франції, Швейцарії з Роттердамом та Антверпеном, де може здійснюватися процес перевалки вантажів до морських суден.

Рух транспорту всіх країн Європи, які є транзитерами негабаритних вантажів, має, в зв'язку з цим, свої особливості. Враховуючи їх, кожний перевізник повинен знаходитись у постійній співпраці з транспортними відомствами даних країн. Термін оформлення необхідних дозволів на здійснення перевезень може коливатися від одного тижня до декількох місяців. Дозвільні документи містять всю необхідну інформацію про маршрути руху та можливі обмеження, ТЗ, особисті дані водія, тощо. Відмінність руху негабаритних вантажів країнами Європи, скажімо від України або Росії чи Білорусі, полягає в тому, що такі перевезення здійснюються там вночі, тоді як у нас навпаки – тільки вдень.

Кожен перевізник повинен отримати від держави, територією якої пролягає маршрут руху, спеціальний дозвіл на здійснення перевезення негабаритних вантажів. У такому документі зазначається номер транспортного засобу, вказуються його розміри та вага, маршрут перевезення, регламентується час руху, вносяться дані про особу водія та можливі обмеження на рух негабаритного транспортного засобу. Виходячи з цього, фірми-перевізники у європейських країнах, які не сумлінно ставляться до даних вимог або, гірше, порушують встановлені норми та правила перевезення «негабаритів» наражаються на серйозні адміністративні покарання, як то штраф, позбавлення ліцензії на певний вид діяльності, або навіть заборона на проїзд окремою територією. На кожний маршрут перевезення негабаритного вантажу видається окремий спеціальний дозвіл.

Що стосується вітчизняного середовища, то група авторів Р. Веприцький, Г. Ейтутіс, С. Артем'єва, зазначають, що за останніх 7 років загальний обсяг вантажних перевезень скоротився майже на 13%, в тому числі скорочення обсягів вантажних перевезень відбулося по залізничному транспорті на 22% та морському і річковому транспорті у 2,5 рази при одночасному збільшенні на автомобільному транспорті на 11% (станом на 2017 р.), що призвело до нового розподілу часток перевезень у транспортній галузі [2].

Перевезення негабаритних і великовагових вантажів - це в першу чергу розроблення спеціальних умов та індивідуального плану транспортування для кожної партії негабаритного вантажу індивідуально. Частіше за все у розряд негабаритних вантажів попадає різноманітна техніка, тому умови транспортування повинні гарантувати цілісність і неушкодженість всіх механізмів у тій техніці, що перевозиться. Загалом, до комплексу послуг із перевезень негабаритів входять такі процедури [5]:

- розрахунок і складання логістичного плану транспортування;
- розроблення схем навантаження та кріплення на транспортному засобі та їх узгодження;
- отримання дозволу на перевезення;
- створення та розроблення спеціальних транспортних рішень індивідуально для кожного вантажу;
- встановлення спеціального обладнання для перевезення в разі необхідності;
- супроводження перевезення вантажу працівниками;

– митне очищення та оформлення усіх необхідних документів при проходженні митного контролю.

Загалом трактування негабаритних і великовагових вантажів усіх транспортних видів можна описати так: негабаритні і великовагові вантажі - це ті, що є більшими за розмір і навантаження, що має сучасний рухомий склад, та габарити існуючих пристроїв обмеження та споруди.

Важливість питання регулярного перевезення негабаритних вантажів на різноманітних транспортних засобах стала гостро відчуватися, коли маса та габарити промислового обладнання, яке виробляється, збільшилося. На водних транспортних засобах, в першу чергу, на морських, обмежувальні рамки зв'язані з транспортуванням великовагових і негабаритних вантажів, дозволяють

здійснювати перевезення подібних устаткувань без внесення особливо принципових змін у способи переміщення та конструкції вантажних суден.

Встановлення мінімальної маси перевезених вантажів річковим транспортом можливе зважаючи на класи розподілення внутрішніх водних шляхів. Кожному наступному водному шляхові відповідає менша величина навігаційного запасу глибини судна, ніж попередньому, а відтак, менша можлива вантажопідйомність за його осадками. Сьомому класові річкових сполучень відповідають найменші показники вантажопідйомності, що можуть мати плавзасоби, які становлять 100 т, тобто транспортування вантажів, що мають масу до 100 т або на бортах плавзасобів, або на плаву можливе фактично без додаткових інвестицій по всіх внутрішніх шляхах. Технології транспортування річковими транспортними засобами великим чином залежать від масштабу навігаційної спроможності суден, тобто розміру судноплавних водних шляхів. Габарити суден також залежні від кордонів річкової навігації. Через це визначальний фактор при класифікації різноманітних типів вантажів на негабаритні і великовагові щодо річкового транспорту варто відносити кордони, що має судноплавство, а не розмір суден. На річкових видах транспорту допускається теоретичне транспортування вантажів з будь-якою масою (стосовно існуючих нині негабаритів). Серед основних факторів обмеження транспортування негабаритних вантажів при використанні внутрішніх водних шляхів, є габарити останніх.

Варто зазначити, що А. Котенко досліджувала питання перевезень негабаритних і великовагових вантажів в транспортних системах і дійшла висновку, що на сьогодні стан справ на важкому транспорті на ринку характеризується такими обставинами [5]:

- з'явилася безліч (не завжди кваліфікованих) організацій і приватних осіб, що пропонують і виконують послуги з перевезення негабаритних вантажів;
- законодавча, нормативно-технічна та нормативно-економічна база цього виду перевезень залишається надзвичайно слабкою, суперечливою та застарілою;
- практично припинені наукові дослідження та підготовка фахівців у галузі важкого транспорту;
- припинені роботи зі створення нових спеціалізованих транспортних засобів, наявні на підприємствах гранично зношені та протягом тривалого часу не замінюються;
- відсутня координація діяльності численних перевізників негабаритних вантажів, низька їх інформованість, можливість одержання юридичної, фінансової, технічної, консультативної та іншої допомоги.

При цьому, на думку інших науковців, основними невирішеними проблемами, характерними для транспортної галузі України є [11]:

- спад обсягів виробництва товарів, що зумовлював спад попиту на вантажні перевезення;
- недосконалість та нестабільність нормативно-правової бази забезпечення діяльності транспортного комплексу;
- значне й багаторазове зростання цін на транспортні послуги, що призводило до значного зниження доходів транспорту;
- низька конкурентоспроможність транспорту та транспортної інфраструктури на зовнішніх і внутрішньому ринках;
- недостатність інвестування на модернізацію рухомого складу та об'єктів транспортної інфраструктури.

У свою чергу О. Карась та Р. Бугаєвський застосували swot-аналіз при дослідженні ринку транспортних послуг, відзначили основні проблеми, які стримують забезпечення зростаючого за обсягами та якістю попиту на транспортні послуги з негабаритних перевезень, серед яких [4]:

- недостатнє оновлення основних фондів, рухомого складу на всіх видах транспорту і дорожнього господарства, невідповідність їх технічного рівня перспективним вимогам;
- низький рівень міжгалузевої координації у розвитку транспортної інфраструктури, що призводить до нераціонального використання ресурсів і зниження ефективності використання транспорту;
- слабкий ступінь використання геополітичного положення України та можливостей її транспортних комунікацій для міжнародного транзиту вантажів територією України;
- нерегулярне та неефективне оновлення нормативно-правової бази, що регулює діяльність транспортного комплексу;
- повільне вдосконалення транспортних технологій та недостатня їх пов'язаність з виробничими, торговельними, складськими і митними технологіями;
- неприпустимо низький рівень інформатизації транспортного процесу та інформаційної взаємодії транспорту з іншими галузями економіки;
- недостатня ефективність фінансово-економічних механізмів, що стимулюють надання інвестицій на розвиток транспорту;
- відставання у реалізації державних і галузевих програм у сфері окремих видів діяльності, видів транспорту, транспортного машинобудування, розбудови державного кордону;
- недостатньо ефективна система управління і регулювання діяльності транспортного комплексу;
- низький рівень кадрової політики в галузі.

І. Допірою висловлено думку про те, що створення стабільної економічно ефективної системи вантажного транспорту є засобом підвищення конкурентоспроможності, якості та безпеки перевезень, задоволення потреб зовнішньої торгівлі, оптимального використання ресурсів в економіці країни. Товари повинні перевозитися вільно, швидко, надійно та ефективно, з найменшим впливом на довкілля та інших користувачів транспорту. Для цього слід діяти за такими напрямками [3]:

- розроблення технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення гарантованого збереження вантажів, що перевозяться;
- удосконалення нормативної бази (транспортного, митного, податкового законодавства), контролю навантажувально-розвантажувальних операцій і запровадження відповідальності за діяльність вантажовласників і експедиторів;
- забезпечення прав і захисту перевізників, створення
- ефективної системи допуску перевізників і транспортних засобів до надання послуг з перевезення вантажів, включаючи питання тарифів і фінансового навантаження для суб'єктів малого і середнього бізнесу, спрощення процедур отримання віз;
- посилення взаємодії видів транспорту шляхом розвитку мультимодальних перевезень і міжнародних транспортних коридорів;
- скорочення часу обробки партій товарів у портах та часу перетину державного кордону;
- розвиток логістики, транспортно-складської та інформаційної інфраструктури, впровадження концепцій і технологій управління ланцюгами поставок та інтеграція транспортних і виробничих процесів вимагає:
- залучення інвестицій у розвиток логістичної інфраструктури та інноваційні технології;
- створення комплексних інформаційних систем управління, телематичних засобів навігації і моніторингу («інтелектуальних транспортних систем», систем контролю та ідентифікації вантажів і контейнерів);
- збільшення пропускної спроможності вантажонапружених ділянок, розвиток залізничних під'їздів до портів, мережі терміналів, сортувальних станцій і перевантажувального устаткування;
- створення автоматизованої системи обліку транзитних вантажопотоків за напрямками, впровадження сучасних інформаційних і комунікаційних технологій, облаштування волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Крім того, аналізуючи європейський досвід, варто зазначити, що рухаючись до інтеграції у загальноєвропейську транспортну систему, Україна має прийняти умови та вимоги європейської транспортної політики, адаптувати їх до українських реалій. Кінцева та головна мета цієї політики полягає у формуванні єдиного ринку транспортних послуг, зростанні ефективності роботи транспортних підприємств та функціонування об'єктів транспортної інфраструктури взагалі, підвищенні рівня безпеки та надійності перевезень, покращенні якості та комфортності пасажирських перевезень.

Морський транспорт за вантажообігом посідає третє місце після трубопровідного та залізничного транспорту, але при цьому за кількісним показником його доля, як і річкового транспорту, дуже мізерна і становить близько 1%. Переважна більшість перевезень здійснюється в закордонних плаваннях. Обсяги таких перевезень за останні десятиліття стабільно зростають і становлять на сьогоднішній день понад 95% від загальних. Основним видом вантажів є будівельні матеріали. Одною з головних проблем сталого розвитку морського транспорту являється, в першу чергу, застаріле морально та фізично зношене портове устаткування (особливо це стосується засобів обробки вантажів) та судовий парк. Так середній вік українських торгових судів перевищує 15 років, що не дозволяє їм навіть заходити у порти деяких західних країн. Портова інфраструктура значно

відстає від сучасних портових технологій, що суттєво впливає як на продуктивність портів, яка становить тільки до 50 % від продуктивності розвинутих іноземних портів, так і на ефективність функціонування інших видів транспорту (перш за все залізничного), які пов'язані з обробкою вантажів. Крім того, переважна більшість торгових судів належить до класу малотоннажних. Якщо порівняти водотоннажність судів українського торговельного флоту з аналогічними показниками в країнах Європи, то виявиться, що вона менше в 3-5 разів. Структурна перебудова торговельного флоту у напрямку збільшення середньої водотоннажності судів сприятиме вирішенню низки проблем галузі, але потребує значних інвестиційних вкладень.

Слід зазначити, що річковому національному транспорту, на шляху до євроінтеграції, як і морському, притаманні аналогічні проблеми, а саме морально та фізично застаріла матеріально-технічна база, переважна більшість судів вичерпала свій технологічний ресурс, вантажні роботи ведуться за старими технологіями, доля пакетованих вантажів у загальному обсязі дуже незначна, на низькому рівні знаходяться обсяги перевезень за схемою «буксир-баржа». Національний річковий транспорт не в змозі конкурувати по тарифах та послугах, що надаються, із морським та залізничним транспортом. Здебільшого він орієнтований на перевезення великих партій вантажів, серед яких переважають будматеріали. Зазначимо, що ефективність роботи українського річкового транспорту досить низька і становить близько 20% у порівнянні з аналогічним показником більшості країн Європи, які мають в розпорядженні подібні ресурси водного транспорту.

Ми вважаємо, для того, щоб подолати існуючі проблеми слід звернути більшу увагу Міністерства інфраструктури України на транспортування негабаритних і великовагових вантажів. З'явилася велика потреба найближчими роками вирішити найважливіші проблеми для транспортування певних спеціалізацій, що можливо при:

- регламентуванні роботи Міністерства інфраструктури України, адже саме він є компетентним органом у сфері транспортування вантажів негабаритного типу;
- створенні в Міністерстві інфраструктури Центру з координації перевезень негабаритних і великовагових вантажів усіма різновидами транспортних засобів;
- підготовці науково-технічних програм розвитку транспортування негабаритних вантажів, створенні підрозділу, що пов'язано з розвитком транспорту, який можна вважати великоваговим;
- ліцензуванні діяльності у сфері транспортування вантажів негабаритного типу;
- підготовці міжвідомчих норм і вказівок по транспортуванню негабаритних вантажів певним транспортом, насамперед, при сполученнях змішаного характеру (в тому числі, це транспортно-експедиційна сфера), враховуючи інтерес законодавчих та інших документів.

Отже, встановлення рамок на морський транспорт, пов'язане з перевезенням великовагових і негабаритних вантажів, дають змогу здійснити перевезення подібних обладнань без суттєвих змін у способи транспортування та конструкції вантажних кораблів. Технологія перевезення річковим транспортом великою мірою залежна від габаритів суднового ходу, тобто судноплавних габаритів водних шляхів.

Висновки. Підсумовуючи усе вищесказане, можемо зробити висновок, що нові умови, що викликають процеси глобалізації, спричиняють складнощі щодо приймання рішень у сфері управління такою бізнесовою сферою, як перевезення. Підвищення взаємної залежності між ринком логістичних послуг національного та міжнародного рівня викликає невизначеність у змінах попиту та пропозиції, нестабільності цін

енергоносіїв, витратних матеріалів та подібне, що, врешті, викликає ризик тарифної політики. При прийнятті рішень слід керуватися не лише певними ознаками ситуації, що склалася, варто зважити їх, пропустивши крізь призму різних критеріїв та рамок, враховуючи тенденцію постійних змін. Спостерігається співзв'язок процесів приймання рішень: кожне з них викликає зміну рішень, що від них залежать. Багато науковців досліджують проблеми даної галузі, намагаючись ідентифікувати проблеми та недоліки функціонування механізмів перевезень негабаритних вантажів в Україні, при цьому перспективами подальших досліджень є розробка сучасних моделей управління перевезеннями негабаритних вантажів в Україні з використанням річкового та морського транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Акімова О.В. Розробка експортно-імпоротної схеми організації доставки контейнерів транспортно-експедиторськими компаніями. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 6(3). С. 4-10. URL: [10.15587/1729-4061.2014.28862](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28862).
2. Веприцький Р.С., Ейтутіс Г.Д., Артем'єва С.В. Аналіз та оцінка обсягів транзитних перевезень залізничним транспортом України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2018. № 62. С.53-63. URL: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i62.133981>.
3. Допіра І., Корнева Л. Транспортний комплекс як важлива складова економіки України. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*. 2014. № 9. С. 86-98.
4. Карась О.О., Бугаєвський Р.С. Застосування SWOT-аналізу при дослідженні ринку транспортних послуг. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту*. Сер. : Економіка і управління. 2013. Вип. 23-24. С. 30-37.
5. Котенко А.М., Лаврухін О.В., Шилаєв П.С., Світлична А.В., Шевченко В.І., Пилипейко О.М. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів в транспортних системах. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 145. С. 50.
6. Лифар В.В. Розвиток транспортної логістики в регіональній системі обслуговування товарних потоків. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. № 4. С. 176-187. URL: [10.21272/mmi.2017.4-15](https://doi.org/10.21272/mmi.2017.4-15).
7. Ложачевська О.М. Характеристика транспортної галузі України. *Економіст*. 2002. № 10. С. 40 - 44.
8. Масляк П.О. Економічна і соціальна географія України. К.: Зодіак-ЕКО, 2006. 288 с.
9. Мельник О.В. Внутрішній водний транспорт у світовій системі перевезень. *Водний транспорт*. 2015. Вип. 2. С. 141-147.
10. Овчар П.А. Теоретичні основи державного регулювання автотранспортної діяльності. *Вісник Національного університету цивільного захисту України*. Серія : Державне управління. 2017. Вип. 2. С. 44-51. URL : [10.5281/zenodo.1038890](https://doi.org/10.5281/zenodo.1038890).
11. Сучасні проблеми економічної безпеки в ринкових умовах: матеріали наук.-практ. конф. К. : НАУ, 2008. 50 с.
12. Яневич В.З., Окозов А.М. Дослідження та оптимізація процесу перевезення вантажів залізничним транспортом. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Транспортні системи та технології перевезень. 2014. Вип. 7. С. 73-79. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/35999>.
13. Нікітін С.В. Остійність судна: теорія, оцінка і контроль в умовах експлуатації. Севастополь : Академія ВМС ім. П.С. Нахімова, 2009, 236 с.
14. Ершов А.А. Контроль остійності судна тв посадки судна при завантаженні та вивантаженні. Санкт-Петербург: Видавництво ДМА ім. адм. С.О. Макарова, 2002.
15. Аксютин Л.Р. Контроль остійності морських суден. Одеса : Фенікс, 2003.

REFERENCES

1. Akimova, O.V. (2014). *Rozrobka eksportno-importnoi skhemy orhanizatsii dostavky kontejneriv transportno-ekspedytors'kymy kompaniiamy* [Development of export-import scheme for the organization of container delivery by freight forwarding companies]. *Vostochno-Europejskyj zhurnal peredovykh tekhnolohij* [East-European magazine of advanced technologies], 6(3), 4-10. URL: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i62.133981>.
2. Vepriys'kyj, R.S. (2018.). *Analiz ta otsinka obsiahiv tranzytnykh perevezen' zaliznychnym transportom Ukrainy* [Analysis and estimation of volumes of transit transportations by rail of Ukraine]. *Visnyk ekonomiky*

transportu i promyslovosti [Bulletin of the Economy of Transport and Industry], 62, 53-63. URL: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i62.133981>.

3. Dopira, I. (2014). *Transportnyj kompleks iak vazhlyva skladova ekonomiky Ukrainy* [Transport complex as an important component of the Ukrainian economy], Naukovyj visnyk Odes'koho natsional'noho ekonomichnoho universytetu [Scientific herald of National Economic University], 9, 86-89.

4. Karas', O.O. (2013). *Zastosuvannia SVOT-analizu pry doslidzhenni rynku transportnykh posluh* [Application of SWOT-analysis in the study of the market of transport services], Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tehnologichnoho universytetu transportu. Ser. : Ekonomika i upravlinnia [Collection of scientific works of the State Economic-Technological University of Transport. Series: Economics and Management], 23-24, 30-37.

5. Kotenko, A.M. (2014). *Perevezennia nehabarynykh i velykavahovykh vantazhiv v transportnykh systemakh* [Transportation of oversized and heavy goods in transport systems], Zbirnyk naukovykh prats' Ukrain'skoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transport [Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport], 145, 50.

6. Lyfar, V.V. (2017). *Rozvytok transportnoi lohistyky v rehional'niy systemi obsluhovuvannia tovarnykh potokiv* [Development of transport logistics in the regional system of service flow of goods], 4, 176-187. URL: 10.21272/mmi.2017.4-15.

7. Lozhachevs'ka, O.M. (2002). *Kharakterystyka transportnoi haluzi Ukrainy* [Characteristics of the transport industry of Ukraine], Ekonomist, 10, 40-44.

8. Masliak, P.O. (2006). *Ekonomichna i sotsial'na heohrafiia Ukrainy* [Economic and social geography of Ukraine], Kyiv, Ukraine, Zodiak-EKO.

9. Mel'nyk, O.V. (2015). *Vnutrishnij vodnyj transport u svitovij systemi perevezen* [Inland water transport in the world transport system], Vodnyj transport [Water transport] 2, 141-147.

10. Ovchar, P.A. (2017). *Teoretychni osnovy derzhavnoho rehuliuвання avtotransportnoi diial'nost* [Theoretical Basis of State Regulation of Motor Transport Activity], Visnyk Natsional'noho universytetu tsyvil'noho zakhystu Ukrainy. Seriya : Derzhavne upravlinnia [Bulletin of the National University of Civil Protection of Ukraine. Series: Public Administration], 2. URL: 10.5281/zenodo.1038890.

11. Materialy nauk.-prakt. Konf [Materials of sciences-practice. Conf (2008.) *Suchasni problemy ekonomichnoi bezpeky v rynkovykh umovakh* [Modern problems of economic security in market conditions: materials of sciences-practice. conf.], Kyiv, Ukraine, NAU.

12. Yanevych, V.Z. (2014). *Doslidzhennia ta optymizatsiia protsesu perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom* [Research and optimization of the process of transportation of goods by rail], Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National Lazaryan University of Railway Transport of Ukraine], 7, 73-79. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/35999>.

13. Nikitin, Ye.V. (2009). *Ostijnist' sudna: teoriia, otsinka i kontrol' v umovakh ekspluatatsii* [Vessel stability: theory, evaluation and control in operating conditions], Sevastopol, Ukraine, Akademiia VMS im. P.S. Nakhimova, 236.

14. Yershov, A.A. (2002). *Kontrol' ostijnosti sudna tv posadky sudna pry zavantazhenni ta vyvantazhenni* [Control of vessel stability and landing vessel during loading and unloading], St. Petersburg, Russia, Vydavnytstvo DMA im. adm. S.O. Makarova.

15. Aksutyn, L.R. (2003). *Kontrol' ostijnosti mors'kykh suden* [Control of stability of seagoing vessels], Odesa, Ukraine, Feniks.

Алексей Мельник

**(старший преподаватель кафедры «Судовождение и морская безопасность»
Одесского национального морского университета)**

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕВОЗОК НЕГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ В УКРАИНЕ

Транспортная отрасль, помимо традиционной обеспечительной для различных сфер экономики функции, на сегодняшний день превращается в самостоятельный транспортно-логистический механизм, который развивается все интенсивнее учитывая развитие on-line и off-line коммерческой деятельности, развитие

оптовых компаний и складской деятельности, выход на внешние рынки и др. К негабаритных грузов относят группу грузов, которая через свои размеры или вес не может транспортироваться в открытом или закрытом кузове или в контейнерах, при этом параметрические характеристики превышают установленные стандарты. Специфической особенностью негабаритных грузов является их уникальность, которая обуславливает привлечения специальной техники, дополнительной оптимизации маршрута, получения специальных разрешений и при необходимости обеспечения сопутствующих услуг и подбор водителей, которые имеют соответствующую квалификацию и тому подобное. Основной целью данной статьи является анализ текущего состояния исследования проблемы перевозок негабаритных грузов в Украине. ходе исследования использовались такие методы, как: метод абстрагирования, анализ и синтез, индукции и дедукции и др. В статье освещены состояние исследования проблемы перевозок негабаритных грузов в Украине, в частности проанализированы мнения ученых по поводу данной проблематике. Охарактеризованы особенности перевозок негабаритных грузов на речном и морском транспорте. Выявлены обстоятельства, которыми сегодня характеризуется состояние дел в отрасли. Кроме того, проанализированы видение ученых по основным нерешенным проблемам, характерным для транспортной отрасли Украины в целом и перевозок негабаритных грузов частности. Предложено авторское видение решения выявленных проблем и преодоления существующих трудностей в области. Таким образом, многие ученые исследуют проблемы данной отрасли, пытаясь идентифицировать проблемы и недостатки функционирования механизмов перевозок негабаритных грузов в Украину, при этом перспективами дальнейших исследований является разработка современных моделей управления перевозками негабаритных грузов в Украину с использованием речного и морского транспорта.

Ключевые слова: транспорт, транспортная система, грузовые перевозки, речной транспорт, морской транспорт, негабаритные грузы, негабаритные перевозки.

O. Melnyk

(Senior lecturer of Navigation and Maritime Security branch of Odessa state maritime university)

OVERVIEW OF RESEARCH STATUS OF THE PROBLEM OF TRANSPORTATION OF OVERSIZED CARGOES IN UKRAINE

The transport industry, in addition to the traditional function of providing security for various spheres of the economy, is now becoming an independent transport and logistics mechanism that is developing more intensively due to the development of on-line and off-line commercial activities, the development of wholesale companies and warehousing activities, access to external markets, etc. Oversized cargo includes a group of goods that due to their size or weight can not be transported in an open or closed body or in containers, with parametric characteristics exceeding the established standards. The specific features of oversized cargo are their uniqueness, which causes the attraction of special equipment, additional route optimization, obtaining special permits and, if necessary, providing support services and the selection of drivers who have the appropriate qualification, etc. The main purpose of this article is to analyze the current

state of study of the problem of oversized cargo transportation in Ukraine. During the study, methods such as: abstraction, analysis and synthesis, induction and deduction methods, etc. were used. The article describes the state of the study of the problem of transportation of oversized cargoes in Ukraine, in particular, the views of scientists on this issue are analyzed. The features of transportation of oversized cargo on river and sea transport are characterized. The circumstances, which are characterized by the state of affairs in the industry, are revealed. In addition, the views of scientists on the main unresolved issues characteristic of the transport industry in Ukraine as a whole and the transportation of oversized cargo in particular are analyzed. The author's vision for solving the identified problems and overcoming the existing difficulties in the industry is proposed. Thus, many scientists are investigating the problems of this industry, trying to identify the problems and disadvantages of the mechanisms of transportation of oversized cargo in Ukraine, with the prospect of further research is the development of modern models of the management of oversized cargo transportation in Ukraine using river and sea transport.

Keywords: *transport, transport system, freight transport, river transport, sea transport, oversized cargo, oversized transportation.*

УДК 7.012

**Володимир Сьомкін , кандидат мистецтвознавства,
(професор кафедри вагонів і вагонного господарства Державного
університету інфраструктури та технологій)**

МЕТОД ДИЗАЙН-ПРОГРАМ ЯК СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРЗАЛІЗНИЦІ

У статті обґрунтована і окреслена актуальність оптимізації і якості діяльності Укрзалізниці на основі використання методу дизайн-програмування інфраструктури та аргументації і реалізації концепції рухомого складу.

Ключові слова: дизайн, метод, дизайн-програмування, концепція, залізниця, оптимізація.

Вступ. Дизайн-системи, якими і є комплексні об'єкти (у першу чергу, масштабні і складні за своїми внутрішніми семантичними, морфологічними і функціональними зв'язками, наприклад, інфраструктура Укрзалізниці), відрізняються у порівнянні з дизайном штучних виробів, істотно більш високим ступенем небезпеки негативних наслідків від прийняття невірної (помилкової) проектного рішення і його наступної реалізації:

- великий соціальний масштаб об'єкт проектування;
- підвищена соціальна і професійна відповідальність дизайнера;
- об'єктивно більш складна організація процесу проектування;
- безпосередня взаємодія дизайну з асортиментною політикою в державі, з вирішенням проблем конкурентоспроможності її промислового комплексу тощо.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. З погляду дизайну комплексні об'єкти можуть існувати на проектному рівні, на рівні виробництва, і як стійкі культурні форми, наприклад, матеріально реалізовані дитячі ігрові комплекси, кухонне устаткування та інші. Представляється важливим усвідомлювати, що комплексний об'єкт з'являється, у першу чергу, у дизайнерському сприйнятті як функція організаційної ситуації, що припускає вираження дизайнерського задуму в структурі цієї ситуації, адекватної авторському задуму.

Комплексний об'єкт на проектному рівні усвідомлюється як такий у тих випадках, коли ставиться і проектно реалізується задача створення проектної документації конкретного об'єкту, наприклад, асортименту комплексів сантехнічного устаткування, устаткування ванної кімнати, складових визначеного дитячого ігрового майданчика, чи набору агрегатів, інших базових конструкцій, що дозволяють при їх опредмеченні в умовах виробництва збирати різноманіття машин, устаткування різного функціонального призначення [2,7,8,9,10].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-8

В умовах виробництва комплексним об'єктом буде продукція, що представляє, наприклад:

- асортиментний ряд виробів визначених модифікацій одного призначення (набори кухонного посуду, ансамблі кухонних меблів тощо);
- агрегати і базові складові, що дозволяють на основі агрегування й уніфікації випускати в умовах виробництва машини й устаткування різного призначення і моделей, що відрізняються за техніко-експлуатаційними характеристиками і образним рішенням (міні-трактор з набором механізмів для особистого присадибного господарства, модифікації великовантажних автомобілів, самоскидів, тягачів, тотожних машин тощо).

Комплексний об'єкт, що реально існує як стійка культурна форма, з погляду дизайну, свідчить, що для цього типу комплексного об'єкту сформувалася і надійно відтворюється відповідна організація діяльності. На якомусь тимчасовому і ситуаційному етапі існування у визначеній сфері життєдіяльності конкретного комплексного об'єкту (наприклад, устаткування особистого присадибного господарства), виникає незадоволення споживача через зростання потреби, розширення сфер діяльності і неадекватність соціально-культурних і функціональних можливостей даного комплексного об'єкта.

При цьому обраний чи запропонований для дизайнерської розробки комплексний об'єкт, що є вже сформованим культурним типом, з визначених причин у даний час не відповідає потребам споживача – такий об'єкт буде розглядатися і розроблятися в новій організаційній ринковій і проектній ситуаціях, що самі стають предметом дизайнерського осмислення, моделювання і програмування.

Тепер організаційна проблематика стала об'єктивно невід'ємною характеристикою самого комплексного об'єкта, актуалізувалася як істотний предмет дизайн-програмування і сприймається як органічна складова дизайн-програмування комплексного об'єкта.

Матеріали та методи дослідження. У рамках розробки і реалізації дизайн-програми вирішуються найбільш складні, масштабні проблеми, що потребують системної організації в процесі створення комплексних об'єктів на основі колективного осмислення в сфері дизайну програмно-цільового підходу. Дизайн-програми повинні передувати програмам усіх рівнів і різновидів, чи бути їх складовою, як би присутньою в кожному етапі їх формування і реалізації.

Таким чином, дизайн-програма – це метод дизайн-проектування (організації і керування проектною діяльністю) комплексного об'єкта, у якому об'єднані в єдиний системно осмислений процес розробка проектно-художньої концепції (дизайн-концепції) складного соціально-культурного об'єкта як змістовного ядра дизайн-програми, і розробка програмно-цільової організації системи.

Процес розробки дизайн-програм включає три семантично і функціонально взаємозалежні процесуальні блоки дизайн-програмування, що у методичних цілях вичленовані як цілком самостійні:

- організаційне програмування і керування дизайн-процесом;
- власне дизайн-процес (перед проектне дослідження, постановка проблеми, формування мети, розробка дизайн-концепції, дизайн-проектування комплексного об'єкта, можлива його реалізація);
- розробка нормативно-технічної документації в рамках проблематики дизайн-програм.

У реальному процесі дизайн-програми позначені процесуальні блоки при збереженні в цілому представленої ієрархії можуть трохи змішатися в послідовності їх розробки, коректуватися за змістом в міру їх осмислення й ухвалення рішення за окремими аспектами.

Укрзалізниця як масштабний комплексний і системний об'єкт з точки зору дизайн-діяльності є типовим об'єктом, який має розроблятися методами дизайн-програмування.

Укрзалізниця має складну багатовекторну інфраструктуру, оптимальність діяльності якої залежить від якості, конкурентоспроможності, а також ідентичності і раціональності стилю діяльності кожної складової цієї інфраструктури.

Окреслимо узагальнені з методичною метою складові, що і формують інфраструктуру Укрзалізниці, а саме:

- система інформаційного забезпечення;
- предметне середовище, тобто вся інфраструктура залізниць;
- рухомий склад;
- система експлуатації і послуг;
- особистий склад і пасажир.

Кожна з окремих складових інфраструктури Укрзалізниці включає і характеризується як предметним наповненням, так і змістовно функціональним, а також і своїм місцем в системі семантичних зв'язків кожної складової між собою в рамках цілісного системного об'єкта – Укрзалізниці. Розширення знань щодо кожної складової, окреслення проблемних питань дозволить в подальшому узагальнити проблеми та перейти до формулювання цільових програм. В рамках цільової програми чи самостійно може розроблятися і впроваджуватися Дизайн-програма «Укрзалізниця». Тобто, метод дизайн-програм є спосіб оптимізації діяльності Укрзалізниці та організації і керування проектним процесом створення цього багато функціонального, масштабного комплексного і системного дизайн-об'єкта.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – оптимізація якості і конкурентоспроможності діяльності Укрзалізниці як великого масштабного і середовищного об'єкта на основі створення і участі в реалізації дизайн-програмування за участі професійного дизайну.

Перш ніж розробляти дизайн-програму щодо Укрзалізниці є необхідність методично і осмислено окреслити складові та побачити найбільш загальні проблеми, які мають стати, з точки зору дизайну, пріоритетними для досягнення якості і конкурентності діяльності Укрзалізниці і з врахуванням системного вирішення цієї проблематики. В дизайн-програмі завжди передбачається оргпрограма, яка в розширеному тлумаченні може, наприклад, окреслювати також питання, пов'язані з оптимізацією діяльності якоїсь структури з точки зору забезпечення високої якості та конкурентності діяльності конкретної складової інфраструктури, з врахуванням також пропозицій щодо створення візуального комфорту в рамках загального підходу з оптимізації всього алгоритму функціонування визначеної системи, якою в цьому випадку буде складова інфраструктури Укрзалізниці.

Продемонструємо в рамках цілісного бачення проблеми, актуалізацію щодо необхідності виконання дизайн-програми Укрзалізниці.

Перш за все була осмислена існуюча система Укрзалізниці і на цій основі була запропонована методично типологізована в контексті дизайн-ергономічної проблематики, інфраструктура Укрзалізниці, окреслена вище, тобто це дизайнерське бачення системи залізниці.

На цій основі узагальнені найбільш болючі проблеми, щодо вирішення питань якості, конкурентоспроможності діяльності Укрзалізниці з використанням методів дизайну.

До основних проблем в контексті врахування досягнень дизайну та ергономіки щодо підвищення рівня комфортності рухомого складу, поліпшення якості діяльності персоналу, модернізації інфраструктури Укрзалізниці методами дизайну, відносяться такі проблеми:

- недостатній рівень якості і комфортності рухомого складу;
- потребує модернізації і вдосконалення предметне середовище тобто вся інфраструктура Укрзалізниці;
- відсутність досконалих нормативів дизайн-ергономічних вимог до розробки, виготовлення та експлуатації рухомого складу Укрзалізниці;
- не проводиться дизайн-ергономічна експертиза документації на розробку об'єктів на замовлення Укрзалізниці;
- недостатній рівень напрацювань щодо створення системи дизайн-ергономічного забезпечення діяльності Укрзалізниці;
- відсутність фірмового стилю більшості об'єктів Укрзалізниці;
- відсутність на об'єктах Укрзалізниці єдиної системи візуальної комунікації;
- відсутня орієнтація на розвиток та максимальне використання промислового потенціалу України щодо створення сучасного рухомого складу та обладнання всієї Укрзалізниці;
- недостатність контактів між підрозділами Укрзалізниці, що займаються проблемами якості, і фахівцями з дизайну та ергономіки.

З метою найбільш ефективного рішення проблем якості та конкурентоспроможності діяльності Укрзалізниці, з урахуванням сучасних вимог, дизайнери запропонували наступне:

1. Розробити дизайн-програму і концепцію дизайнерського забезпечення діяльності Укрзалізниці.
2. Створити функціональний блок з координації та забезпечення дизайн-ергономічних робіт Укрзалізниці.
3. Провести роботи з нормативного забезпечення та проведення незалежної дизайн-ергономічної експертизи розробок, що виконуються на замовлення Укрзалізниці.

В цьому випадку йде мова про концепцію не в рамках дизайн-програми, а більш ширше, як стратегію щодо співпраці з вирішення всього комплексу проблем, що мають вирішуватись за участі фахівців з дизайну та ергономіки.

Надалі була розгорнута і аргументована пропозиція щодо розробки дизайн-програми Укрзалізниці у вигляді пропозиції щодо створення дизайн-програми, яка представлена у формі структури, етапів її виконання. Саме для Укрзалізниці доцільною є випереджаюча розробка дизайн-програми з послідовним підключенням складових цільової галузевої програми.

Основним призначенням такої розробки є оптимізація діяльності Укрзалізниці щодо забезпечення якості та конкурентоспроможності залізничного транспорту, підвищення рівня комфортності рухомого складу, виробничої інфраструктури, поліпшення умов діяльності персоналу та обслуговування пасажирів залізниць. Метою розробки та впровадження дизайн-програми Укрзалізниці є: на основі методу дизайн-програмування розробити сукупність запланованих, взаємопов'язаних і

взаємообумовлених заходів, спрямованих на забезпечення високої якості і конкурентоспроможності діяльності Укрзалізниці та всіх складових її інфраструктури.

Така велика комплексна робота, що має здійснюватися методами дизайн-програмування, враховує такий чинник, як час, що відповідає присутності в програмі ряду напрямків, і передбачає не тільки проектний процес, але і впровадження.

Окреслимо ці етапи робіт (виходячи з того, що це методична реконструкція, терміни виконання робіт надалі не наводяться).

Перший етап: «Формування напрямків розгортання дизайн-програми»

Підетап 1.1. Аналіз стану справ, визначення та формування завдань з дослідження

Змістовно підетап включає такі питання: характеристика об'єктів проектно-розробки; аналіз досвіду і результати в співпраці дизайнерів з підрозділами галузі; визначення потенціалу, обсягів і напрямків наукової, проектно-конструкторської і виробничої діяльності Укрзалізниці; анотований звіт.

Підетап 1.2. Визначення тематики та попереднє формування проблем з дизайн-ергономічного забезпечення діяльності галузі

На цьому підетапі має бути виконано: узагальнене визначення дизайн-ергономічної довгострокової тематики робіт для галузі; визначення та попереднє формування проблем і завдань дизайн-ергономічного забезпечення діяльності галузі; анотований звіт.

Підетап 1.3. Формулювання генеральної мети і ідеї дизайн-програми

Зміст цього етапу охоплює такі питання: формулювання цілей напрямків робіт з дизайн-програми; визначення тематики та обсягів робіт з дизайн-ергономічного забезпечення НДКР; науково-технічних та інших програм, розроблених Укрзалізницею; визначення тематики дизайн-розробок, що будуть реалізовуватись в рамках дизайн-програми, анотований звіт.

Підетап 1.4. Визначення об'єктів розробки, замовників та виконавців, розробка та узгодження узагальненого тематичного плану робіт з реалізації дизайн-програми

Зміст етапу складається з таких складових: визначення та обґрунтування основних виконавців робіт галузі; визначення замовників (служб, підрозділів Укрзалізниці) з розробки та реалізації дизайн-програми; формування технічних завдань з розробки дизайн-об'єктів, що підлягають реалізації у дизайн-програмі і формування та узгодження тематичного плану дизайн-розробок з реалізації дизайн-програми; формування узагальненої організаційної схеми реалізації дизайн-програми; анотований звіт.

Підетап 1.5. Розробка фірмового стилю та геральдичної символіки «Укрзалізниці»

Підетап включає такі питання: дизайн-проектування системи візуальної інформації Укрзалізниці; дизайн-проектування фірмового стилю Укрзалізниці; дизайн-проектування геральдичної символіки Укрзалізниці; науковий звіт.

Другий етап: «Розробка концепції та складових дизайн-програми «Укрзалізниці».

Підетап 2.1. Визначення та формування тематики НДР з реалізації дизайн-програми

Зміст його такий: визначення першочергової тематики НДР, що підлягають розробці з таких проблем:

- перспективні напрямки розвитку технічних засобів;
- дизайн-ергономічні експертизи базових об'єктів Укрзалізниці;

- дизайн-ергономічні дослідження з діяльності підрозділів Укрзалізниці;
- організація робочих місць різного функціонального спрямування. Анотований звіт.

Підетап 2.2. Розробка системи нормативного дизайн-ергономічного забезпечення діяльності «Укрзалізниці»

На цьому етапі вирішуються такі питання: розробка складу нормативної документації для галузі з питань дизайну та ергономіки; розробка проектів основних галузевих нормативних дизайн-ергономічних документів; анотований звіт.

Підетап 2.3. Розробка та обґрунтування дизайн-концепції

Зміст підетапу такий: розробка, формулювання та обґрунтування основного змісту програми, що визначає підхід до рішення проблем діяльності Укрзалізниці; проблематизація і систематизація комплексного об'єкту розробки; визначення основної проектної задачі в контексті дизайнерського рішення замовлення; формування дефініції дизайн-концепції; науковий звіт.

Третій етап: «Розробка організаційної та нормативної програм дизайн-програми «Укрзалізниці», дизайн-ергономічне проектування»

Підетап 3.1. Розробка організаційної дизайн-програми

Підетап передбачає такі складові: аналіз результатів розробки тематики НДР в контексті виконання дизайн-програми, з урахуванням результатів розробки дизайн-концепції; корегування розробки дизайн-програми і розробка організаційної програми з уточненням замовників, споживачів і співвиконавців; формулювання організаційної дизайн-програми з врахуванням етапів реалізації дизайн-програми; анотований звіт.

Підетап 3.2. Розробка нормативної дизайн-програми та проектів нормативних документів

Підетап має такий зміст: визначення переліку і складу нормативних документів з дизайн-ергономічної проблематики, що пропонуються до подальшої розробки для Укрзалізниці; розробка проекту нормативної дизайн-програми; формулювання та попереднє узгодження нормативної дизайн-програми; розробка галузевої нормативної документації з проблем:

- дизайн-ергономічної експертизи;
- забезпечення виставкової діяльності Укрзалізниці;
- організації досліджень, конструювання та виробництва об'єктів рухомого складу;
- фірмового стилю Укрзалізниці;

анотований звіт.

Підетап 3.3. Розробка заходів з впровадження дизайн-програми

Підетап має визначатись з таких питань: розробка програми тематичного плану з дизайн-ергономічного забезпечення створення та модернізації об'єктів Укрзалізниці; розробка проектів окремих ТЗ на розробку об'єктів; розробка пропозицій з перспективних напрямів співпраці до визначеного року (з врахуванням поставлених термінів), формулювання координаційного плану реалізації дизайн-програми; анотований звіт.

Підетап 3.4. Дизайн-ергономічна експертиза проектної документації, об'єктів та обладнання, що проектується (модернізуються) на замовлення «Укрзалізниці»

На цьому підетапі має бути виконано: дизайн-ергономічна експертиза проектної документації; дизайн-ергономічна експертиза об'єктів, що розробляються на замовлення Укрзалізниці; експертиза з дизайн-ергономічних вимог до конкурсів, виставок тощо; заключний науковий звіт.

Така розгорнута дизайн-програма завершується:

- на першому етапі – чотири анотованих звіти та науковий звіт;
- на другому етапі – два анотованих звіти та науковий звіт;
- на третьому етапі – три анотованих звіти та заключний науковий звіт.

Висновки

Узагальнимо сутність цієї програми та акцентуємо увагу на найбільш важливих аспектах та результатах щодо її впровадження.

Виконання такої програми оптимізує діяльність Укрзалізниці щодо забезпечення якості та конкурентоспроможності залізничного транспорту, підвищення рівня комфортності рухомого складу, виробничої інфраструктури, покращення умов діяльності персоналу та обслуговування пасажирів залізниць України, всіх сфер діяльності Укрзалізниці, всієї інфраструктури залізниць України, забезпечить подальшу оптимізацію діяльності Укрзалізниці на основі всебічного використання дизайну та ергономіки.

Така програма може охоплювати, таким чином, широке коло питань, окреслимо найбільш вагомими з них:

- характеристика об'єктів проектно-розробки; аналіз досвіду і результати співпраці дизайнерів з підрозділами галузі; визначення потенціалу, обсягів і напрямків наукової, проектно-конструкторської і виробничої діяльності Укрзалізниці;
- узагальнене визначення дизайн-ергономічної довгострокової тематики робіт для галузі; визначення та попереднє формування проблем і завдань дизайн-ергономічного забезпечення діяльності галузі;
- формування цілей напрямків робіт з дизайн-програми; визначення тематики та обсягів робіт з дизайн-ергономічного забезпечення НДКР; науково-технічних та інших програм, розроблених Укрзалізницею; визначення тематики дизайн-розробок, що будуть реалізовуватись в рамках дизайн-програми;
- визначення та обґрунтування основних виконавців робіт галузі; визначення замовників (служб, підрозділів Укрзалізниці тощо) з розробки та реалізації дизайн-програми; формування технічних завдань з розробки дизайн-об'єктів, що підлягають реалізації у дизайн-програмі; формування та узгодження тематичного плану дизайн-розробок з реалізації дизайн-програми; формування узагальненої організаційної схеми реалізації дизайн-програми;
- дизайн-проекування системи візуальної інформації Укрзалізниці; дизайн-проекування фірмового стилю Укрзалізниці; дизайн-проекування геральдичної символіки Укрзалізниці;
- визначення першочергової тематики НДР, що підлягають розробці з наступних проблем: перспективні напрями розвитку технічних засобів; дизайн-ергономічна експертиза базових об'єктів Укрзалізниці; дизайн-ергономічні дослідження з діяльності підрозділів Укрзалізниці; організація робочих місць різного функціонального спрямування;
- розробка складу нормативної документації для галузі з питань дизайну та ергономіки; розробка проектів основних галузевих нормативних дизайн-ергономічних документів;
- визначення переліку і складу нормативних документів з дизайн-ергономічної проблематики, що пропонуються до подальшої розробки для Укрзалізниці; розробка проекту нормативної дизайн-програми; формулювання складових і структури нормативної дизайн-програми; розробка галузевої нормативної документації з

проблем: дизайн-ергономічної експертизи; забезпечення виставкової діяльності Укрзалізниці; організації досліджень, конструювання та виробництва об'єктів рухомого складу; з фірмового стилю Укрзалізниці;

- розробка тематичного плану з дизайн-ергономічного забезпечення створення та модернізації об'єктів Укрзалізниці; розробка проектів окремих ТЗ на розробку об'єктів; розробка пропозицій з перспективних напрямів середньо- і довгострокової співпраці; формулювання координаційного плану реалізації дизайн-програми;

- дизайн-ергономічна експертиза проектної документації; дизайн-ергономічна експертиза об'єктів, що виконуються на замовлення Укрзалізниці; експертиза з дизайн-ергономічних вимог до конкурсів, виставок тощо.

За результатами виконання такої комплексної роботи повинні бути розроблені:

- концепція дизайн-програми Укрзалізниці;
- система візуальної інформації Укрзалізниці;
- фірмовий стиль Укрзалізниці;
- геральдична символіка Укрзалізниці;
- організаційна дизайн-програма для виконання дизайн-програми Укрзалізниці та тематичний план довгострокового дизайн-ергономічного забезпечення Укрзалізниці;
- нормативна дизайн-програма та проекти галузевих стандартів з дизайн-ергономічних аспектів діяльності Укрзалізниці;

- налагоджена постійна і системна співпраця фахової структури дизайнерів та Укрзалізниці по всіх формах діяльності в галузі дизайну та ергономіки;

НДР з дизайн-програми Укрзалізниці може одночасно супроводжуватись співпрацею фахових структур дизайнерів та Укрзалізниці в усіх інших напрямках, актуальних для Укрзалізниці, на основі окремих ТЗ і договорів.

Результати НДР повинні реалізовуватись у всіх сферах діяльності Укрзалізниці, підприємств і організацій сфери управління Укрзалізниці.

Потребують подальшої проробки та дослідження питання, пов'язані з перспективами розвитку нормативного забезпечення дизайн-ергономічних робіт на залізничному транспорті.

Відомо, що основними ознаками сучасного економічного та технічного розвитку суспільства і міжнародних відносин в країнах ближнього і дальнього зарубіжжя, в котрих Україна займає певне місце, є :

- поширення інтегральних процесів між різними країнами і співтовариствами в сфері виробництва продукції і надання послуг;
- формування міжнародних систем регулювання торгової і фінансової діяльності;
- створення інформаційних і телекомунікаційних систем загального та спеціального використання;
- встановлення міжнародновизнаних вимог до охорони оточуючого природного середовища та захисту прав та інтересів споживачів.

Означені процеси поетапно формують єдиний міжнародний економічний простір, окремі частини якого об'єднуються в єдине ціле і взаємно узгоджуються між собою.

Одним з базових положень та механізмів формування і закріплення єдиного економічного простору є міжнародна стандартизація, яка, з одного боку, об'єктивно відтворює ці процеси і закріплює їх нормативно, а з іншого боку, стимулює їх

розширення та визначає необхідність взаємоузгодження ще не пов'язаних між собою складових частин соціально-економічних процесів.

У зв'язку з цим, в останні роки значно підвищилась роль міжнародної стандартизації як нормативно-технічної, техніко-естетичної основи формування міжнародного співробітництва у всіх сферах економічної і соціальної діяльності, включаючи і сферу проблематики залізничного транспорту. Особливу роль в вирішенні проблеми гармонізації вітчизняних нормативних документів відносно зарубіжних аналогів й в розробці нових стандартів відведено «Укрзалізниці».

З одержання Україною незалежності, потреба і певні кроки щодо створення власної галузі локомотивного і вагонного будування, створення високошвидкісних потягів актуалізували проблему впровадження досягнень дизайну та ергономіки на залізничному транспорті і його нормативного дизайн-ергономічного забезпечення.

Розпочаті в останні роки XX століття роботи щодо створення нового покоління вітчизняних швидкісних потягів, дизель та електровозів, комфортабельних пасажирських вагонів для магістральних та місцевих перевезень пасажирів і вантажів, реконструкція вокзальних та станційних приміщень і їх обладнання, наявно продемонстрували недостатність використання потенціалу професійного вітчизняного дизайн-ергономічного забезпечення відповідних наукових, проектних, конструкторських робіт, а також впроваджувальних робіт на виробництві.

Слід мати на увазі, що без залучення дизайнерів-професіоналів до розробки залізничних об'єктів та організації виробничого середовища, без галузевої системи нормативно-правового забезпечення, без відповідної сертифікації та дизайн-експертизи якості не можуть бути вирішені існуючі проблеми створення комфортних умов для персоналу і споживачів на залізниці.

Далі, наявність різного рівня технології випуску продукції і надання вимог на транспорті потребує від виробників обов'язкового урахування вимог до залізничної продукції та послуг, що пов'язано з безпекою перевезень пасажирів, вантажів охороною навколишнього середовища. Носієм цих вимог і дизайн-ергономічних умов є нормативна дизайн-ергономічна документація, яка на сьогодні відсутня в цій галузі.

У зв'язку з викладеним, доцільно в найближчі роки розглянути можливість, щодо розробки, щонайменше, наступних науково-дослідних робіт:

- «Дослідження та розробка ГСТУ «Вагони пасажирські магістральних дизель-та електропотяги. Загальні вимоги дизайну та ергономіки»;
- «Дослідження та розробка ГСТУ «Дизайн-розробка та стандартизація згармонізованої з міжнародними стандартами системи візуальної орієнтації на об'єктах Укрзалізниці»;
- «Дослідження та розробка заходів щодо дизайн-ергономічного забезпечення створення Системи управління і контролю якості Укрзалізниці».

Також є актуальним найближчим часом проведення досліджень і розроблення галузевих стандартів з кольорографічної гармонізації та дизайн-ергономічних вимог до рухомого складу, а в подальшому до об'єктів всієї інфраструктури Укрзалізниці.

Після розробки дизайн-програми має здійснюватись в рамках обґрунтованої концепції проектування та впровадження всіх об'єктів предметного середовища Укрзалізниці з домінуючою увагою і випереджаючим впровадженням рухомого складу залізниці.

Запропонована структура дизайн-програми «Укрзаліниця» під час її розробки і реалізації суттєво сприяла б оптимізації всіх ланок інфраструктури Укрзалізниці і

могла б скласти ефективну основу цільової галузевої програми щодо системного удосконалення всієї структури та оптимізації діяльності.

За результатами дослідження сформулюємо основні положення **концепції рухомого складу Укрзалізниці**.

Перш за все названа концепція є проектною концепцією, що охоплює один з об'єктів, тобто рухомий склад складного системного об'єкта, яким є вся інфраструктура Укрзалізниці. Тобто більшість положень, про які йтиме мова, притаманні в основі багатьом об'єктам, що разом складають інфраструктуру Укрзалізниці.

Визначимо основні чинники, що мають забезпечити реалізацію згаданої концепції.

1. Людський чинник

- дизайнерські;
- функціонально-ергономічні;
- екологічні;
- соціально-культурні.

2. Проектно-виробничі вимоги

- висока проектна культура;
- висока конструкторська-технологічна дисципліна;
- оновлення чи модернізація виробничого потенціалу;
- нові технології;
- сучасні прогресивні матеріали;
- інноваційні проектні рішення.

3. Нормативні чинники

- державні стандарти;
- галузеві стандарти;
- рівень гармонізації державних стандартів з міжнародними;
- дизайн-ергономічна експертиза.

4. Організаційні чинники

- рівень координації в рамках загальної цільової програми чи дизайн-програми Укрзалізниці;
- керіваність і послідовність рішення всього комплексу проблем;
- визначення співвиконавців;
- обґрунтована послідовність функціонування системи якості в рамках її реалізації, як складової загальної стратегії Укрзалізниці щодо якості та конкурентності діяльності Укрзалізниці;
- організація ефективного виробничого процесу;
- організація виставок і рекламних заходів.

5. Проектна документація

- дизайн-проект в рамках концепції як складової дизайн-програми Укрзалізниці;
- конструкторська документація на основі дизайн-проекту з використанням конструктивно-технологічних інновацій;
- дизайн-ергономічна і конструктивно-технологічна експертизи щодо рівня проектної розробки та впровадження об'єктів Укрзалізниці;
- проектно-методичні матеріали до програми «Фірмовий стиль та геральдичні символи Укрзалізниці».

Для здійснення на системному рівні цієї дизайн-концепції в рамках методичних підходів розгорнутої дизайн-програми Укрзалізниці необхідно визначити основні (базові) вимоги щодо її ефективного впровадження, а саме:

1. Соціально-економічна і соціально-культурна ефективність діяльності Укрзалізниці, всіх складових її інфраструктури.

2. Комплексне та системне використання методів і потенціалу дизайну та ергономіки у всіх сферах діяльності Укрзалізниці та на всіх етапах створення об'єктів Укрзалізниці.

3. Врахування специфіки перебудови діяльності Укрзалізниці в бік впровадження технічних інновацій та орієнтації на забезпечення високої якості та конкурентоспроможності рухомого складу та всієї діяльності Укрзалізниці.

4. Забезпечення врахування найсучасніших напрямків створення комфортних умов для споживачів на залізничному транспорті.

5. Довгостроковість і системність реалізації концептуальних установок з послідовним моніторингом тенденцій формоутворення та кольорографічного рішення щодо створення нових чи модернізації пасажирських вагонів та всього рухомого складу Укрзалізниці в рамках розробки та впровадження в подальшому дизайн-програми «Укрзаліниця».

На основі викладеного сформулюємо, наприклад, дизайн-концепцію формоутворення та кольорографічного рішення пасажирських вагонів Укрзалізниці.

Дефініція дизайн-концепції

Створення високо технологічних, сучасних за комфортністю, дизайном та ергономічною та екологічною обумовленістю, конкурентоспроможних пасажирських вагонів та рухомого складу для вантажних перевезень на основі забезпечення дизайнерських, ергономічних вимог, всього комплексу споживчих якостей з врахуванням використання сучасних технологій, матеріалів, високоефективного виробництва з орієнтацією на постійне підвищення культури виробництва та якості обслуговування пасажирів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абизов В. А., Стрілець В. Ф., Чинники розвитку дизайну сучасних меблів в житловому та громадському середовищі. Проблеми розвитку міського середовища. Вип. 1
2. Азрикан Д.А. Графическая модель информативной формы. Техническая эстетика. 1970. № 6. С. 6
3. Даниленко В.Я. Своєрідність становлення професійної дизайнерської діяльності у США . Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Х., 2002. № 11. С. 28 – 30.
4. Даниленко В.Я. Співвідношення середньовічного ремесла та дизайну доби промислових революцій . Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Х., 2002. № 8. С. 3 – 7.
5. академії дизайну і мистецтв. Харків, 2002. № 4. С. 27–39.
6. Даниленко В. Я. Трансформації дизайну на зламі II та III тисячоліть . Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Харків, 2003. № 1. – С. 50–56.
7. Дослідження та розробка дизайнерської методології формування асортименту товарної промислової продукції : звіт про НДР / НІД ; кер. В. В. Сьомкін. Київ, 2001. 78 с. Інв. №92272/23. №ДР 0199и003304.
8. Петрова А. Престижно потребление и мода. Годишник Софийски ун-т «Св. Климент Охридски», философски факултет, Книга «Психология». 2010. Т. 99. С. 91–102 (на болг. языке).
9. Федь В. А. Світоглядні парадигми культуротворчого буття (Український контекст) . 26. 00. 01 – теорія та історія культури . Дисертація на здоб. наук. ступеня докт. філософських наук . , 2011. Київ , НАКККІМ
10. Сьомкін В. В. Дизайн, тенденції та напрями розвитку : монографія. Київ : Альтерпрес, 2009. 528 с.; іл., 8 кол. іл.
11. Сьомкін В. В. До питання актуалізації проблематики розвитку дизайну . Актуальні проблеми історії, теорії та практики художньої культури : зб. наук. праць. Київ : Міленіум, 2010. Вип. XXV. С. 232–238.

12. Сьомкін В.В., Устин В. Б. Композиция в дизайне. Методические основы композиционно-художественного формообразования в дизайнерском творчестве : учеб. пособ. М. : Астрель, 2006. 239 с.
13. Сьомкін В.В. Структурна модель рекламної діяльності . Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв : зб. наук. праць. Х.:ХДАДМ 2015 (Мистецтвознавство , № 1). С. 45-48 .
14. Оптимізація професійних функцій дизайн-діяльності . МІСТ: Мистецтво, історія, сучасність , теорія : зб. наук. праць. К. Вип. 11. ІПС. .Сьомкін В.В. Актуалізація ергономіки в контексті дизайн-діяльності . Вісник НАКККіМ: Міленіум. К., 2015. №2. С 115-119.
15. Устюгова Е. Н. Стиль и культура: опыт построения общей теории стиля. Санкт-Петербург. 260 с. : БХВ-Петербург, 2006.
16. Фурса О. О. Тенденції розвитку дизайн-освіти в Україні: монографія. Луганськ: Ноулідж, 2012.448 с

REFERENCES

1. Abizov VA, Strilets VF, Factors of development of design of modern furniture in the residential and public environment. Problems of urban environment development. Vip.1
2. Azrikan D.A. Graphic model of informative form. Technical aesthetics. 1970. No. 6. S. 6
3. Danilenko V.Ya. The peculiarity of becoming a professional designer in the United States. Bulletin of Kharkiv State Academy of Design and Arts. X., 2002. No. 11. S. 28-30.
4. Danilenko V.Ya. Value of the medieval craft and design of the era of industrial revolutions. Bulletin of Kharkiv State Academy of Design and Arts. X., 2002. No. 8. S. 3-7.
5. Academy of Design and Arts. Xarkov, 2002. No. 4. S. 27-39.
6. Danilenko V. Ya. Transformation of design at the turn of the II and III millennia. Bulletin of Kharkiv State Academy of Design and Arts. Khar'kov, 2003. No. 1. - P. 50-56.
7. Research and development of the design methodology of the assortment of commodity industrial products formation: report on research work; manager V.V. Semkin Kyiv, 2001. 78 p. Inv. №92272 / 23. №PD 0199003304.
8. Petrova A. Prestigious consumption and fashion. Horse-rider of Sofia Untitled "St. Clement Ohridski ", a philosophical faculty, the book" Psychology ". 2010. T. 99. P. 91-102 (in bulgarian language).
9. Fedov VA World-view paradigms of culture-oriented existence (Ukrainian context). 26. 00. 01 - theory and history of culture. Dissertation for dr. sciences degree doc. philosophical sciences. , 2011. Kiev, NAKKKiM
10. S'mkin V. V. Design, trends and directions of development: monograph. Kyiv: AlterPres, 2009. 528 s. ; il., 8 count il
11. S'mkin V.V. To the issue of actualization of design development issues. Actual problems of history, theory and practice of artistic culture: Sb. sciences works Kyiv: Millennium, 2010. Vip. XXV P. 232-238.
12. Somkin VV 12. Ustin VB Composition in design. Methodical bases of compositional-artistic formation in designer work: study. way. Moscow: Astrel, 2006. 239 p.
13. S'mkin V.V. Structural model of advertising activity. Herald Kharkiv State Academy of Design and Arts: Sb. sciences works X.: ХДАДМ 2015 (Art studies, № 1). Pp. 45-48.
14. Optimization of professional functions of design activities. CITY: Art, History, Contemporary, Theory: Sb. sciences works K. Vip. 11. IPS. Somkin VV Updating ergonomics in the context of design activities. Bulletin of the NACCAR: Millennium. K., 2015. №2. С 115-119.
15. Ustyugova E. N. Style and culture: the experience of building a general theory of style. St. Petersburg. 260 s: BHV-Petersburg, 2006.
16. Fursa O. O. Trends in the development of design education in Ukraine: monograph. Lugansk: Noulig, 2012. 448 p

*Владимир Сёмкин, кандидат искусствоведения,
(профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства Государственного
университета инфраструктуры и технологий)*

**МЕТОД ДИЗАЙН-ПРОГРАММ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРЗАЛИЗНЫЦИ**

В статье обоснована и очерчена актуальность оптимизации качества деятельности Укрзалізничці на основе использования метода дизайн-программирования инфраструктуры, аргументации и реализации концепции подвижного состава.

Ключевые слова: дизайн, метод, дизайн-программирование, концепция, железная дорога, оптимизация.

*Syomkin Vladimir Vasilievich, Candidate of Art Studies,
(Professor of the Department of Wagons and Carriages, State University
of Infrastructure and Technologies)*

**THE METHOD OF DESIGN PROGRAMS AS A WAY TO OPTIMIZE
THE ACTIVITIES OF UKRZALIZNYTSIA**

The relevance of optimization and the quality of Ukrzaliznytsia's activities based on the design-programming of infrastructure and argumentation of the rolling stock concept is substantiated and outlined. Ukrzaliznytsia as a large-scale complex and a system object from the point of view of the design of activities is a typical object, that should be developed by the methods of design programming. Ukrzaliznytsia has a complex multi-vector infrastructure, the optimality of which depends on the quality, competitiveness, as well as the identity and rationality of each component's style of activity of this infrastructure. The components, summarized with a methodological purpose, form the infrastructure of the Ukrzaliznytsia, namely: information support system; the subject environment, that is, the entire infrastructure of the railways; rolling stock; system of operation and services; personnel and passengers. Each of the individual components of the Ukrzaliznytsia's infrastructure, including both characterized by substantive content, and substantively functional, as well as its place in the system of semantic relations of each component between each other within the framework of an integral system object - Ukrzaliznytsya. Expanding knowledge on each component, identifying problematic issues will make it possible to further generalize problems and move on to formulating targeted programs. As part of the target program or independently, the Design Program "Ukrzaliznytsya" can be developed and implemented. Keywords: design, method, design programming, concept, railway, optimization.

Keywords: design, method, design-programming, concept, railway, optimization.

УДК 656.614

Юлія Коскіна, к.т.н.

(доцент, кафедра «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень», Одеський національний морський університет)

ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ОПИС ПРОЦЕСУ ЗАЛУЧЕННЯ СУДНА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖУ

Процес залучення судна для виконання перевезення вантажу розглянуто з позицій вантажовласника, який в угодах з фрахтування судна виступає фрахтувальником. Визначено основні етапи процесу фрахтування судна із моментами їх початку та закінчення; з використанням апарату темпоральної логіки формалізовано причинно-наслідкові зв'язки між окремими етапами.

Ключові слова: *фрахтування судна на рейс, фрахтувальник, судновласник, перемовини, укладання чартер-партії.*

Вступ. Залучення суден, які працюють у режимі трампового судноплавства, реалізується операціями з фрахтування суден особами, які мають зобов'язання щодо забезпечення перевезення вантажу морем. Угоди з фрахтування суден оформлюються відповідними договорами, сторонами яких є з одного боку судновласник, з іншого – фрахтувальник. Укладанню таких угод передують доволі складний процес перемовин, протягом якого сторони погоджують основні умови виконання рейса, а в укладанні її зацікавлені обидві сторони: адже для судновласника виконання перевезень вантажів є діяльністю, з якої він отримує дохід, а для фрахтувальника фрахтування судна є необхідною умовою реалізації угоди купівлі-продажу товару, внаслідок якої вантаж має бути перевезеним.

Аналіз досліджень та публікацій. Процеси залучення суден для перевезення вантажів доволі детально викладені на теоретичному рівні у роботах вітчизняних та іноземних науковців та практиків [1-20], при чому процес фрахтування суден розглядається у з названих публікаціях як складова транспортно-експедиторської роботи [1-4]; як процеси, що відбуваються на ринку послуг морського фрахту, де відповідні операції є об'єктом купівлі-продажу [5-10]; як самостійний предмет дослідження у рамках відокремленої предметної галузі діяльності «фрахтування» [11-20]. Так, у роботах [2,3] розглянуто взаємини сторін договору фрахтування судна як елемент транспортно-експедиторського обслуговування вантажів транспортом не загального користування на підставі правових норм відносин між судновласником та фрахтувальником (який позиціонується як експедитор, що представляє інтереси вантажовласника) на підставі вже укладеного договору з рейсового фрахтування судна. Такий самий підхід використано і у [4]. Фактично, згадані роботи викладають

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-9

основні умови рейсового чартера щодо розподілу витрат, ризиків та відповідальності між сторонами угоди. Економічне підґрунття операцій з залучення суден, що працюють у режимі трампового судноплавства, до перевезень вантажів досліджено у [5,6], де увагу авторів зосереджено на ринкових засадах формування величин фрахових ставок та факторів, які визначають поточний їх рівень. Ринкові чинники формування фрахових ставок детально проаналізовано також у [7, 10], а існуючі інструменти дослідження поточного стану та прогнозування динаміки розвитку фрахового ринку (та фрахових ставок як його індикатора) наведені у [7, 8]. Фрахтова ставка беззаперечно є ринковою ціною перевезення, на чому власне і базуються названі дослідження, у яких автори наголошують саме на економічній природі формування їх величин. Втім, у межах поточного стану ринку, який зокрема, у [6, 7, 9] визначається авторами, як високий чи низький, фрахова ставка завжди відноситься до певного перевезення – не існує «середньосвітової» фрахової ставки. Її величина залежить від вантажу та напрямку його транспортування, адже саме ними багато у чому визначаються витрати перевізника на виконання рейса, які опосередковано впливають і на величину фрахової ставки – принаймні, на прийнятний для перевізника її рівень. На цьому наголошено зокрема у [11, 13-15]. Вагомий вплив мають і певні чартерні домовленості – здебільшого ті, що впливають на величину витратних складових перевізника. Відповідно, умови чартер-партії та їх формулювання також визначають рівень фрахової ставки у конкретній угоді. Саме такі умови чартер-партії детально викладено у [14, 19, 20] із оцінкою їх формулювань з позицій прийнятності для кожної із сторін чартерної угоди. Практичні аспекти реалізації умов та формулювань договору фрахтування суден на рейс подані у [18, 19]. Для більшості умов чартер-партії існує можливість їх фіксації у одному з декількох варіантів формулювань, що власне і є предметом погодження сторонами під час перемовин, які передують укладанню угоди з фрахтування судна для виконання перевезення вантажу. Наразі у названих публікаціях не подано формалізований опис процесу проведення перемовин, який власне є ключовим у залученні судна для перевезення вантажу – як правило, автори обмежуються описанням процесу фрахтування суден у вигляді трьох складових – *prefixing*, *fixing* та *postfixing*, без деталізації власне процесу сплину фрахових перемовин як послідовності дій сторін, які певним чином упорядковані у часі та мають певні причинно-наслідкові зв'язки.

Тож **метою статті** є формалізація процесу залучення судна для виконання перевезення вантажу, для чого необхідно вирішити такі завдання:

- сформулювати узагальнену схему процесу фрахтування судна для перевезення вантажів із виділенням основних етапів його сплину;
- систематизувати у часі етапи залучення судна для перевезення вантажу із встановленням часових моментів початку та закінчення кожного з них;
- формалізувати процес проведення перемовин щодо укладання угоди з фрахтування судна, як найбільш складного та тривалого етапу.

Для формалізації процесу фрахтування судна для перевезення вантажів доцільним вбачається скористатися апаратом темпоральної логіки, методологія якого дозволяє фіксувати у часі відносний порядок подій, враховуючи причинно-наслідкові зв'язки між ними в умовах часу [21].

Основний матеріал. Транспортування вантажів морським транспортом є необхідною умовою реалізації договору купівлі-продажу товару, при чому з залученням морського транспорту забезпечується до 80% зовнішньоторговельного

обороту країн світу [22]. Торговельне судноплавство обслуговує вантажопотоки світової торгівлі у двох організаційних формах роботи суден – лінійній та трамповій, специфічні особливості яких детально висвітлені у фаховій літературі [23-26], а однією з них є відмінності у порядку укладання угод на перевезення вантажу. Зокрема, трампове судноплавство характеризується можливістю проведення перемовин щодо умов договору перевезення, у той час як лінійне судноплавство надає відповідні послуги на умовах, які у більшості одноосібно встановлюються перевізником. Процес залучення судна, що працює у трамповому режимі, є складнішим за рахунок необхідності пошуку судна, характеристики та параметри якого задовільнятимуть особливостям виконання необхідного рейса; можливістю та характерною практикою проведення перемовин щодо більшості умов та формулювань договору перевезення; потребою укладання та оформлення окремого договору для виконання кожного рейса. Саме цими особливостями і визначається принципова схема залучення судна, яке працює у режимі трампового судноплавства, для перевезень вантажів (рис. 1).



Рис. 1. Узагальнена схема залучення судна для перевезення вантажу (укладання угоди фрахтування судна)

З поданих на рис. 1 найскладнішим слід визнати етап проведення перемовин щодо укладання угоди, адже кожна з її сторін має власні інтереси щодо рейса, який має бути виконаним, а можливість торгування за більшістю умов договору призводить до намагань кожної із сторін виторгувати найприйнятніші для себе формулювання. Власне процес перемовин є найтривалішим у часі порівняно із іншими названими етапами, оскільки, як будь-який перемовний процес, характеризується багатокроковістю його сплину. Більш того, як правило, процес перемовин з фрахтування судна здійснюється потенційним фрахтувальником одночасно із декількома судовласниками (за умови наявності відповідної пропозиції тоннажа, зрозуміло), що надає цьому процесу характер багат шаровості – адже перемовини із різними судовласниками тривають паралельно.

Вихідним у залученні судна для перевезення вантажу є факт укладання угоди купівлі-продажу товару, і як наслідок – необхідності реалізації такої угоди. Зазначимо, що сторона договору купівлі-продажу, яка є відповідальною за

організацію залучення судна до перевезення та сплати відповідних послуг судновласника-перевізника, визначається базисними умовами поставки товару. Залежно від цих домовленостей, задачею пошуку судна для перевезення вантажу до порта призначення може опікуватися продавець (за базисних умов поставки групи С згідно INCOTERMS 2010, наприклад) або покупець (за домовленостей щодо поставки товару на базисних умовах групи F). Наразі для судновласника це не має принципового значення: договірні відносини зв'язуватимуть його із продавцем або покупцем як фрахтувальником – стороною договору фрахтування судна на рейс. Відповідно до цього, надалі називатимемо особу, яка вдається до послуг судновласника та має укласти з ним угоду рейсового фрахтування судна, фрахтувальником, тримаючи у пам'яті, що фрахтувальник є або продавець або покупець, залежно від базисних умов поставки товару за контрактом його купівлі-продажу.

Відповідно, фрахтувальник приступить до пошуку судна з метою укласти із судновласником договір рейсового фрахтування лише після укладання угоди купівлі-продажу товару:

$$G(-t_k \Rightarrow \neg p_\phi), \quad (1)$$

де G – темпоральний оператор (від англ. Globally – глобально); t_k - момент укладання контракту купівлі-продажу товару; p_ϕ - процес залучення судна для перевезення вантажу (фрахтування судна).

Враховуючи викладене вище, розглядатимемо процес фрахтування судна у вигляді трьох поданих на рис. 1 складових: пошук судна p_c ; проведення перемовин p_{nep} ; оформлення договору фрахтування (чартер-партії) $p_{c/p}$. Кожен з цих процесів має моменти свого початку та закінчення та характеризується відповідно певною тривалістю:

$$p_c = [t_{cn}; t_{cz}], \quad (2)$$

$$p_{nep} = [t_{nepn}; t_{nepz}], \quad (3)$$

$$p_{c/p} = [t_{c/pn}; t_{c/pz}], \quad (4)$$

де t_{cn} і t_{cz} – відповідно початок та закінчення процесу пошуку судна; t_{nepn} і t_{nepz} – відповідно початок та закінчення процесу перемовин; $t_{c/pn}$ і $t_{c/pz}$ – відповідно початок та закінчення процесу оформлення чартер-партії.

Таким чином, тривалість усього процесу залучення судна до перевезення вантажу визначається початком процесу пошуку судна та закінчується підписанням чартер-партії сторонами:

$$p_\phi = [t_{cn}; t_{c/pz}]. \quad (5)$$

Хронологію сплину процесу пошуку судна для виконання рейса з перевезення вантажу із вказівкою ключових точок початку та закінчення кожного з окремих етапів цього процесу подано на рис. 2.

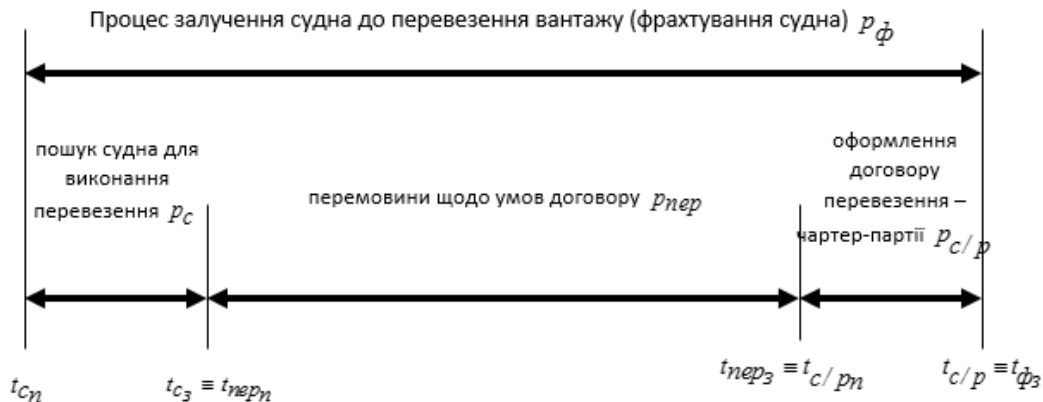


Рис. 2. Декомпозиція процесу фрахтування судна для перевезення вантажу

Умови контракту купівлі-продажу товару багато у чому визначають параметри виконання судном рейса та власне самого судна, як транспортного засобу, що виконуватиме перевезення вантажу. Зокрема, транспортні особливості вантажу визначатимуть вимоги до типу судна (зазвичай за перевезень масових вантажів залучаються суховантажні судна універсального призначення або балкерного типу); розмір вантажної партії – розмірну групу (дедвейт) судна. Певний інтерес можуть мати для фрахтувальника і інші характеристики судна [27]. Важливими є і порти між якими має здійснюватися перевезення вантажу. Щонайменше у контракті купівлі-продажу має бути вказаний порт завантаження (за умови укладання контракту на умовах поставки FOB або FAS, згідно до яких зобов'язання продавця закінчуються на транспортуванні вантажу до вказаного порту, який власне і стане портом завантаження вантажу на судно). За згаданих умов фрахтувальником судна виступатиме продавець, який, зрозуміло, самостійно вирішуватиме, через який порт він завозитиме вантаж до країни призначення. За погодження базисних умов поставки CIF, які означають зобов'язання продавця забезпечити перевезення товару до порту призначення, у контракті купівлі-продажу товару наводиться порт призначення. Однак продавець, зрозуміло, вже має певні плани щодо щонайменше регіону, де знаходиться порт, з якого він здійснювати відвантаження. Так чи інакше, на етапі пошуку судна відомі вже обидва порти – і завантаження і розвантаження. Таким чином, особа, що має зафрахтувати судно для перевезення, на момент початку пошуку судна має достовірні відомості щодо різновиду та кількості вантажу, а також портів, між якими має бути здійснено його перевезення. Важливими є також терміни, у які вантаж знаходитиметься у порту завантаження.

Власне названі позиції контракту купівлі-продажу є основою його пропозиції, яку у фрахтовій термінології називають офертою: род та кількість вантажу, порти завантаження і розвантаження, терміни подання тоннажа у порт завантаження. Звичайною практикою є також вказівки у оферті умов щодо термінів обробки судна у портах (сталійний час) та «ідеї» ставки фрахта. Сформовані у таких спосіб умови оферти власне є підґрунтям подальшого процесу перемовин, а отримання оферти

судновласником та його відповідь (у фрахтовій термінології – контроферта) ініціює процес перемовин:

$$G \left[t_{of}^{\phi} \Rightarrow F t_{kof}^c \right], \quad (6)$$

$$G \left(\neg \left(t_{of}^{\phi} \wedge t_{kof}^c \right) \Rightarrow \neg p_{nep} \right), \quad (7)$$

де F – темпоральний оператор (від англ. Future – майбутнє); t_{of}^{ϕ} – момент видачі фрахтувальником оферти; t_{kof}^c – момент видачі контроферти судновласником.

Причому видача оферти фрахтувальником є початком процесу пошуку судна:

$$t_{of}^{\phi} \equiv t_{cn}, \quad (8)$$

а отримання ним у відповідь контроферти – закінченням процесу пошуку судна та початком перемовного процесу:

$$t_{kof}^c \equiv t_{cz} \equiv t_{nepn}. \quad (9)$$

Слід наголосити, що зазвичай перемовини між судновласником і фрахтувальником реалізуються фрахтовими брокерами, наразі для запобігання «обваження» викладання матеріалу, надалі називатимемо учасників перемовин «судновласником» і «фрахтувальником» як сторонами потенційної угоди з фрахтування судна.

Зазначимо, що за певними позиціями оферти торгування сторін не є можливим: вони мають сприйматися судновласником як незмінні, адже вони одноосібно встановлюються фрахтувальником, оскільки є наслідком умов контракту купівлі-продажу товару. Це вантаж та його кількість, порти завантаження та розвантаження; за більшістю інших умов оферти торг є не лише прийнятним, а навіть у певному розумінні обов'язковим – принаймні рідко коли угоди з фрахтування судна на рейс укладаються на умовах першої поданої фрахтувальником оферти, без жодних намагань судновласника домовитися про інші формулювання. До таких умов відносять норми завантаження і розвантаження, умови підрахунку сталійного часу, порядок подання Нотісу про готовність судна до вантажних робіт та інші [28], які умовно можна вважати змінними (протягом перемовного процесу), адже за їх величинами та/або формулюваннями припускається торгування сторін. Як правило, у контроферті судновласника містяться прийнятні для нього величини та/або варіанти формулювань змінних умов оферти фрахтувальника. Якщо для фрахтувальника вони не є категорично неприйнятними та він готовий поступитися за цими позиціями відносно того, що вказано ним у оферті, він у відповідь надсилає пропозицію, де вказує варіантні формулювання компромісів за такими умовами:

$$G\left[t_{коф}^c \Rightarrow Ft_{коф}^{\phi}\right], \quad (10)$$

де $t_{коф}^{\phi}$ – момент подання пропозиції фрахтувальника у відповідь на контрферту судновласника.

Деякі умови оферти можуть залишатися незмінними порівняно із тими, що вказані контрагентом у попередній оферті, наразі за іншими торгування може тривати. При чому погодження певних умов оферти не означає неможливість їх змінити. Тут принциповою умовою є фрахтова ставка – саме у її величині відображаються та у певному розумінні акумулюються інші умови угоди. Адже судновласник може погодитися на формулювання умов не на свою користь в обмін на згоду фрахтувальника підвищити ставку фрахта. Так само і фрахтувальник, торгуючись щодо прийнятих для себе формулювань умов, має бути готовим до спроб судновласника знизити фрахтову ставку.

Власне перемовний процес і полягає у такому взаємному обміні офертами між сторонами, які змістовно відрізняються формулюваннями за змінними умовами оферти. Втім, кількість більшості змінних умов форти обмежується певними варіантами величин та/або можливих формулювань. Зокрема, умови про підрахунок сталійного часу – трьома можливими варіантами:

- SHInc – вихідні та святкові дні включаються до підрахунку сталійного часу;
- SHEXUU – вихідні та святкові дні виключаються з підрахунку сталійного часу, якщо протягом цих періодів вантажні роботи не виконувались;
- SHEXEIU – вихідні та святкові дні виключаються з підрахунку сталійного часу, навіть якщо по цих днях виконувались вантажні роботи.

Наразі необхідність погодження цих умов по двом портам (завантаження і розвантаження) збільшує кількість можливих варіантів цієї умови.

Обмін офертами триватиме, доки він не припиниться за умови неможливості знайти компроміс за однією чи декількома формулюванням або ж, за добросприятливого перебігу перемовного процесу, доки одна із сторін не направить контрагенту так звану тверду оферту із кінцевим варіантом повного переліку своїх пропозицій (на відміну від попередніх оферт, які у фрахтовій термінології називають умовними) та, що важливо, – фіксацією часу згоди контрагента на детально викладені умови твердої оферти (акцепта).

За своєчасного акцепту твердої оферти угода вважається укладеною па умовах, сформульованих у твердій оферті, та сторони обмінюються підтвердженням про фрахтування *fixure recapitulation* (RECAP), яке означає, що судно зафіксовано за перевезенням та перемовини фактично звершено. Пропуск зазначеного для відповіді часу або незгода з будь-яким з її формулюванням умов вважається відмовою та звільняє від відповідних зобов'язань сторону, яка видала тверду оферту. Таким чином, після видачі твердої оферти угода або ж вважається фактично укладеною та сторони переходять до оформлення RECAP як своєрідної «чернетки» чартер-партії, або ж перемовний процес закінчується без досягнення сторонами компромісу.

Відповідно, видача однією із сторін іншій (фрахтувальником – судновласнику або ж судновласником – фрахтувальнику) твердої оферти (незалежно від того, чи буде вона акцептована) фактично означає закінчення перемовного процесу, під час

якого сторони обговорювали деталі та торгувались щодо умов та формулювань договору:

$$t_{mv.of} \equiv t_{nep3}, \quad (11)$$

а момент акцепту твердої оферти за сутністю ініціює процес оформлення чартер-партії, початком якого є оформлення RECAP:

$$t'_{mv.of} \equiv t_{RECAP} \equiv t_{c/pn}, \quad (12)$$

де $t_{mv.of}$ і $t'_{mv.of}$ – моменти відповідно видачі та акцепту твердої оферти;
 t_{RECAP} – момент оформлення RECAP – початок фінального етапу процесу залучення судна для перевезення вантажу.

Оформлення чартер-партії є доволі коротким за тривалістю, адже він полягає у технічному оформленні документа (умови якого вже погоджено) та підписанні чартер-партії сторонами. Таким чином, документальне оформлення домовленостей судновласника і фрахтувальника є закінченням процесу залучення судна для перевезення вантажу:

$$t_{c/p} \equiv p_{\phi_3}, \quad (13)$$

де p_{ϕ_3} – закінчення процесу фрахтування судна для перевезення вантажу.

Залежно від стану ринка морських перевезень, фрахтувальник може отримати контроферти від декількох судновласників, відповідно обмін офертами і контрофертами, якими власне і реалізується перемовний процес, може розвиватися, як зазначалось вище, із декількома контрагентами. Хронологія перемовного процесу наразі є такою самою – це той самий обмін офертами і контрофертами, який можна подати як процеси, які відбуваються паралельно.

Непроголошені правила гарного тону фрахтового бізнесу зобов'язують сторону видавати тверду оферту лише одному з можливих контрагентів, з якими проводяться перемовини:

$$G[\neg(t_{mo} \wedge t'_{mo})], \quad (14)$$

де t_{mo} – момент подання твердої оферти судновласнику; t'_{mo} – момент подання твердої оферти іншому (іншим) судновласнику (судновласникам).

При цьому в очікуванні відповіді на видану тверду оферту фрахтувальник не позбавлений можливості вести перемовини із іншими судновласниками шляхом обміну умовними офертами. У такий спосіб він страхує себе від втрати інших можливих контрагентів у випадку відмови на видану одному з судновласників тверду оферту.

Слід наголосити, що договір фрахтування судна буде укладено за будь-яких обставин як результат продовження перемовин із одним із судновласників, які вступили до перемовного процесу із фрахтувальником:

$$t_{c_n} \models p_c \cup p_{c/p} \equiv (\exists t_{c_3} \geq t_{c_n}) : \left(t_{c_3} \models p_{c/p} \wedge (\forall t'_c : t_{c_n} \leq t'_c \prec t_{c_3}) : t'_c \models p_{c/p} \right), \quad (15)$$

де $\cup$ – темпоральний оператор (від англ. *Until* – доти, доки); t_{c_n} і t_{c_3} – моменти відповідно початку і закінчення процесу пошуку судна для перевезення вантажу; $p_{c/p}$ – укладання договору фрахтування судна на рейс (рейсової чартер-партії), адже відповідальна за транспортування вантажу морем сторона має виконати свої зобов'язання, а вантаж має бути доставленим.

У процесі проведення перемовин важливим є обмеженість фрахтувальника у часі, який визначається термінами надходження вантажу до порту завантаження та його підготовленості до вивозу. У певному розумінні ця часова зацікавленість фрахтувальник виражена умовами про *laycan* – часовим інтервалом, протягом якого судно має прибути до порту завантаження. Загалом, торгування за термінами подачі тоннажа під час проведення перемовин є можливим – судновласник може намагатися торгуватися щодо «розтягнутої» позиції у вигляді *laycan* тривалішого інтервалу порівняно із тим, що його вказав фрахтувальник у своїй пропозиції. Втім, останній пов'язаний термінами прибуття вантажу до порту та підготовки його до завантаження. До того ж, перевезення вантажу морем є лише складовою частиною загального процесу доставки від пункту відправлення до пункту призначення, а отже – часові параметри рейса з перевезення вантажу (а відтак – і процесу фрахтування судна, який передує йому) має відповідати необхідним часовим параметрам процесу доставки у цілому. Таким чином, фіксуючи у процесі переговорів *laycan*, фрахтувальник здебільшого виходить зі своїх інтересів щодо термінів доставки вантажу, а також договірними зобов'язаннями із іншими учасниками процесу доставки (стивідорними та експедиторськими компаніями зокрема). Відповідно для фрахтувальника процес пошуку судна та проведення перемовин у певному розумінні обмежено у часі:

$$\left[t_{c_n} : t_{c/p} \right] \cup \left[t_{\bar{c}_n} : t_{\bar{c}_3} \right] \subset \left[t_k : t_{can} \right], \quad (16)$$

де $t_{\bar{c}_n}$ і $t_{\bar{c}_3}$ – моменти відповідно початку та закінчення переходу, який судно має здійснити до порту завантаження, якими визначається власне тривалість такого переходу. При чому формально фрахтувальник не має гарантій судновласника щодо місцезнаходження судна, адже у при проведенні перемовин та подальшому укладанні угоди поточне місцезнаходження судно традиційно формулюється як «*trading*», а гарантії своєчасного прибуття судна до порту завантаження фіксуються саме умовами про *laycan*; t_{can} – за умовами чартер-партії – межева пізня дата прибуття судна до порту завантаження; у контексті проведення перемовин з укладання фрахтової угоди сприймається фрахтувальником як межева пізня дата вивозу вантажу з порту завантаження.

Відповідно така обмеженість у часі може стати підставами для ухвалення

рішення щодо укладання угоди на формулюваннях умов, запропонованих судновласником або ж щодо продовження перемовин, наполягаючи на власних, прийнятних для себе формулюваннях – залежно часового інтервалу (від поточного моменту часу до часу необхідності відвантаження), який може дозволити собі фрахтувальник «витратити» на торгування із судновласником.

Зазначимо, що судновласник безумовно також зацікавлений у результативному закінченні перемовин у певні терміни задля можливості планувати подальшу експлуатацію судна: укладання угоди із фрахтувальником, з яким проводяться перемовини чи пошук для судна іншої роботи (іншого рейса). Наразі на відміну від фрахтувальника він не має жорстких часових лімітів, які були б обумовлені іншими зобов'язаннями. Теоретично, не пов'язаний жодними подальшими договірними зобов'язаннями щодо судна, який є об'єктом поточних перемовин, судновласник може знаходитися у перемовному процесі тривалий час, наразі, одне з правил проведення перемовин щодо укладання фрахтової угоди проголошує: не торгуйся занадто довго, особливо – за недоброприємливого стану ринка, аби не втратити угоду.

Викладений вище процес залучення судна до перевезення вантажу подано на рис. 3 у вигляді упорядкованої взаємопов'язаної послідовності подій, які обумовлюють одна одну та забезпечують сплин основних етапів фрахтування судна. Процес проведення перемовин щодо укладання угоди з фрахтування суден подано у вигляді його сплину одночасно із декількома судновласниками, позначеними на вказаному рис. 3 умовними позначеннями часових моментів, викладених вище, із позначками c_1 , c_2 та c_3 – відповідно, судновласник 1, судновласник 2 та судновласник 3. Перемовний процес із декількома судновласниками відбувається паралельно та одночасно і може закінчитися як на етапі обміну умовними офертами (на рис. 3 – проілюстровано лінією перемовного процесу із судновласником 2), так і на етапі видачі однією із сторін твердої оферти, якщо контрагент не акцептував її (перемовини із судновласником 1). Закінчення перемовин з одним із судновласників (на рис. 3 – судновласник 3) як видача та акцепт твердої оферти власне і призводить до укладання чартер-партії, що і є фіналом процесу залучення судна на перевезення вантажу.

Висновки. Процес укладання угоди з фрахтування судна на рейс подано як послідовність взаємопов'язаних упорядкованих у часі подій та процесів із причинно-наслідковими зв'язками їх окремих етапів та подій. Така структуризація процесу фрахтування судна дозволила формалізувати його за допомогою апарату темпоральної логіки. Процес фрахтування суден під перевезення вантажу подано як складову доставки товару за участі морського транспорту, що приводить до висунення фрахтувальником певних вимог та обмежень не лише щодо судна та рейса, який має бути виконаним, але і до самого перемовного процесу. Структуризація процесів та встановлення їх причинно-наслідкових зв'язків є основою для вирішення окремих задач їх моделювання, оптимізації та досконалення взаємодії потенційних сторін угоди з фрахтування судна на рейс.

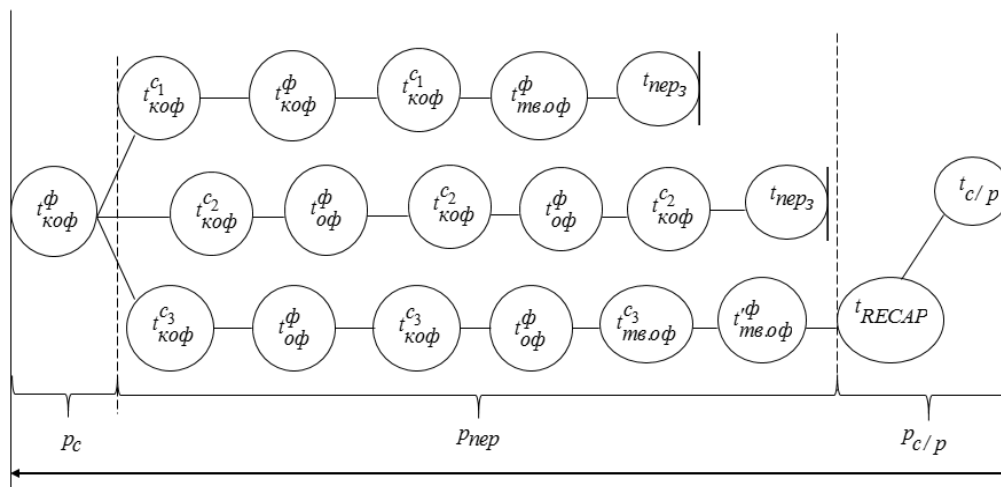


Рис. 3. Узагальнена схема процесу фрахтування судна на рейс

ЛІТЕРАТУРА

1. Лимонов Э.Л. Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки. Москва : Транспорт, 2006. 634 с.
2. Плужников К.И., Чунтомов Ю.А. Транспортное экспедирование. Москва : Транслит, 2006. 528 с.
3. Милославская С.В., Плужников К.И. Мультимодальные и интермодальные перевозки. Москва : РосКонсульт, 2001. 368 с.
4. Зеркалов Д.В., Тимошук Е.Н. Международные перевозки грузов. Киев : Основа, 2009. 523 с.
5. Collins N. The Essential Guide to Chartering and Dry Freight Market. Clarkson Research Studies, 2000. 446 p.
6. Stopford M. Maritime Economics. Routledge. 2009. 815 p.
7. Забелин В.Г. Фрахтовые операции во внешней торговле. Москва : Росконсульт, 2000. 256 с.
8. Бабкин Е.В., Мартынов А.Л. Международные фрахтовые и транспортные операции. Санкт-Петербург : СПГУВК, 2002. 204 с.
9. Brooks Mary R., Button K.J., Nijkamp P. Maritime Transport. Edward Elgar Pub., 2002. 558 p.
10. Marchese U. Economia dei Trasporti Marittimi: Argomenti e Problemi. Bozzi Editori Genova, 2001. 814 p.
11. Gorton L., Hileniua P., Ihre R., Sandervan A. Shipbrokering and Chartering Practice. London: Infroma Law, 2009. 400 p.
12. Pagonis Tomas J. Chartering Practice Handbook. Dimelis Publications, 2009. 319 p.
13. Plomaritou E. Shipbrokering and Chartering Practice. London: Informa Law, 2017. 771 p.
14. Лапкін О.І. Онищенко С.П., Коскіна Ю.О. Теорія і практика фрахтових операцій. Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2017. 151 с.
15. Рылов С.И., Горшков Я.А., Коскина Ю.А. Фрахтование судов. Одесса : Изд-во Одесского национального морского университета, 2010. 269 с.
16. Ярмолович Р.П., Джежер Е.В. Практика фрахтования судов. Одесса : Фенікс, 2006. 328 с.
17. Николаева Л. Л. Коммерческая эксплуатация судна. Одесса : Феникс, 2004. 754 с.
18. Дмитриев В.И., Латухов С.В., Цитрик Ю.В. Практика коммерческой эксплуатации судна. Санкт-Петербург : Профессия, 2007. 207 с.
19. Ярмолович Р.П. Фрахтование судов. Одесса : Изд-во ОНМА, 2007. 160 с.
20. Шутенко В.В. Фрахтование тоннажа. Санкт-Петербург : МОРСАР, 2007. 144 с.
21. Скорубский В.И., Поляков В.И., Зыков А.Г. Математическая логика. М. : Юрайт, 2019. 211 с.
22. UNCTAD Review of Maritime Transport'2018. Geneva : United Nations Publication, 2018. 102 p.
23. Kendall L.C., Buckley J.J. The Business of Shipping. Centerville: Cornell Maritime Press. 2005. 453 p.
24. Olesen T.R. Value Creation in the Maritime Chain of Transportation. Copenhagen : CBS Maritime. 2015. 39 p.

25. Plomaritou E. A Proposed Application of the Marketing Mix Concept to Tramp & Liner Shipping. *Journal of Contemporary Management*. Vol. 13. 2008. P. 59-71.
26. Cullinane K. *International Handbook of Maritime Business*. Cheltenham : Edward Elgar Pub. 2010. 393 p.
27. Рылов С.И., Коскина Ю.А. Оценка фрахтователем степени соответствия судна особенностям выполнения перевозки груза. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2009. № 28. С. 94-103.
28. Онищенко С.П., Коскіна Ю.О. Дослідження впливу умов оферти на успішність укладання фрахтової угоди. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 6(3). С. 25-32.

REFERENCES

1. Limonov, E.L. (2006). *Vneshnetorgovyye operatsii morskogo transporta i multimodalnyie perevozki* [Foreign trade operations of maritime transport and multimodal transportations]. Moscow, Transport Publ. (in Russian).
2. Pluzhnikov, K.I., Chuntomoba, Yu.A.(2006). *Transportnoe ekspedirovanie* [Transport forwarding]. Moscow, Translit Publ. (in Russian).
3. Miloslavskaya, S.V., Pluzhnikov, K.I. (2001). *Multimodalnyie i intermodalnyie perevozki* [Multimodal and intermodal transportations]. Moscow, RosKonsult Publ. (in Russian).
4. Zerkalov, D.V., Timoschuk, E.N. (2009). *Mezhdunarodnyie perevozki gruzov* [International freight transportations]. Kiyv : Osnova Publ. (in Russian).
5. Collins, N. (2000). *The Essential Guide to Chartering and Dry Freight Market*. Clarkson Research Studies. (in English).
6. Stopford, M. (2009). *Maritime Economics*. Routledge. (in English).
7. Zabelin, V.G. (2000). *Frahtovyye operatsii vo vneshney torgovle* [Chartering in foreign trade operations]. Moscow, RosKonsult Publ. (in Russian).
8. Babkin, Ye.V., Martynov, A.L. (2002). *Mezhdunarodnyie frahtovyye i transportnyie operatsii* [International chartering and transport operations] S.-Petersburg : SPGUVK Publ. (in Russian).
9. Brooks Mary R., Button K.J., Nijkamp P. (2002). *Maritime Transport*. Edward Elgar Pub. (in English).
10. Marchese, U. (2001). *Economia dei Trasporti Marittimi: Argomenti e Problemi*. Genova, Bozzi Editori. (in Italian).
11. Gorton, L., Hileniua, P., Ihre, R., Sandervan, A. (2009). *Shipbrokering and Chartering Practice*. London, Infroma Law. (in English).
12. Pagonis Tomas J. (2009). *Chartering Practice Handbook*. Dimelis Publications.(in English).
13. Plomaritou, E. (2017). *Shipbrokering and Chartering Practice*. London, Informa Law. (in English).
14. Lapkin, O.I., Onyschenko, S.P., Koskina, Yu.O. (2017). *Teoriya i praktyka fraxtovy'x operacij* [Theory and practice of chartering]. Odessa, KUPRIENKO SV.
15. Ryilov, S.I., Gorshkov, Ya.A., Koskina, Yu.A. (2010). *Frahtovanie sudov* [Chartering of vessels]. Odessa, ONMU Publ. (in Russian).
16. Yarmolovich, R.P., Dzhazher, E.V. (2006). *Praktika frahtovaniya sudov* [Vessels chartering practice] . Odessa, Fenix Publ. (in Russian).
17. Nikolaeva, L.L. (2004). *Kommercheskaya ehkspluatatsiya sudna* [Commercial operating of the vessel]. Odessa, Feniks Publ. (in Russian).
18. Dmitriev, V.I., Latuhov, S.V., Tsitrik, Yu.V. (2007). *Praktika kommercheskoy ehkspluatatsii sudna* [The practice of the commercial operating of the vessel]. S.Petersburg, Professia Publ. (in Russian).
19. Yarmolovich, R.P.(2007). *Frahtovanie sudov* [Chartering of vessels]. Odessa, ONMA Publ. (in Russian).
20. Shutenko V.V. (2007). *Frahtovanie tonnazha* [Chartering of tonnage]. S. Petersburg, MORSAT Publ. (in Russian).
21. Skorubskiy, V.I., Polyakov, V.I., Zyikov, A.G. (2019). *Matematicheskaya logika* [Mathematical logic]. Moscow, Uright Publ. (in Russian).
22. UNCTAD Review of Maritime Transport'2018. (2018). Geneva, United Nations Publication. (in English).
23. Kendall, L.C., Buckley J.J. (2005). *The Business of Shipping*. Centerville, Cornell Maritime Press. (in English).
24. Olesen, T.R. (2015). *Value Creation in the Maritime Chain of Transportation*. Copenhagen, CBS Maritime. (in English).

25. Plomaritou, E. (2008). *A Proposed Application of the Marketing Mix Concept to Tramp & Liner Shipping*. Journal of Contemporary Management, 13, 59-71. (in English).
26. Cullinane, K. (2010). *International Handbook of Maritime Business*. Cheltenham, Edward Elgar Pub. (in English).
27. Ryilov, S.I., Koskina, Yu.A. (2009). *Otsenka frahtovatelem stepeni sootvetstviya sudna osobennostyam vyipolneniya perevozki gruzha [Charterer assessment of the vessel's suitability to the cargo transportation particulars]*. Visny'k Odes'kogo nacional'nogo mors'kogo universy'tetu [Bulletin of Odessa National Maritime University], 28, 94-103. (in Russian).
28. Onyshchenko, S.P., Koskina, Yu. O. (2015). *Doslidzhennya vplivu umov offerti na uspishnist' ukladannya frakhtovoї ugodu. [Investigation of the impact of the offers terms on the successful conclusion of the chartering deal]*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(3), 25-32.

Yuliia Koskina, Ph.D. in Technical Sciences
(assoc. prof., Department of Fleet Operation and Technology of Sea Carriages,
Odessa National Maritime University)

FORMALIZED DESCRIPTION OF THE PROCESS OF VESSEL'S ENGAGEMENT FOR CARRIAGE OF CARGO

The implementation of the sale and purchase contract means the obligation of one of the parties of the said contract to organize the transportation of the cargo by sea. It actually means the necessity to charter the vessel. The engagement of the vessel to carry the cargo is searched as a three-stage process among which the negotiations are consider to be the main one. At the same time the first one – forming the requirements for the vessel, and the last one – preparation the final version of the charter-party – are rather quick in execution and last not for a long time The chartering process is formalized with the modalities of temporal logic which helped to identify the beginning and final moments of each stage of the vessels engagement process and to formalized their causal relations. Such structure definition of the searched process can be used as a base for charterer's time management as far as hi has some obligations and/or interests regarding the terms of the cargo delivery.

Keywords: voyage chartering, charterer, shipowner, negotiations, dealing of the charter-party.

УДК 656.22

Г.О. Прохорченко, к.т.н.

(доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),

В.В. Білокудря

(аспірант Українського державного університету залізничного транспорту),

Н.С. Севрук, Т.В. Нікітіна, Є.Г. Ступакова, Д.Р. Алафін

(магістранти Українського державного університету залізничного транспорту)

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ ЗА СИСТЕМОЮ БАГАТЬОХ ОДИНИЦЬ НА ЗАЛІЗНИЦІ УКРАЇНИ

В роботі досліджено напрямок впровадження технології експлуатації з'єднаних швидкісних поїздів, що дозволить скоротити витрати на освоєння змінного попиту на ділянках маршрутів поїздів, підвищити якість обслуговування пасажирів. Проведено аналіз досвіду експлуатації високошвидкісних пасажирських поїздів за системою багатьох одиниць. Запропоновано удосконалену модель діючого варіанту обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ-Пшемисьль при з'єднанні двох швидкісних поїздів.

Ключові слова: залізниця, швидкісні поїзда, Інтерсіті+, система багатьох одиниць, моделювання

Вступ. В умовах розвитку економіки України одним із інноваційних проєктів може стати впровадження та організація залізничного швидкісного пасажирського руху. Перший етап впровадження швидкісного руху поїздів підтвердив свою ефективність, а результати стали аналогічними з практик таких країн як Франція, Японія, Польща – збільшилась рухливість населення, покращились фінансові результати пасажирського комплексу. Однак, негативний вплив швидкісних, прискорених поїздів на пропускну спроможність ділянок в умовах змішаного руху з вантажними поїздами, нерівномірність попиту в часі та просторі вимагає удосконалення технологій експлуатації швидкісних поїздів на залізничному транспорті України. Саме надання гнучкості у пристосуванні попиту з пропозицією є важливим заходом для зменшення витрат при здійсненні пасажирських перевезень. За таких умов важливо вивчити досвід залізниць світу в пристосуванні схем обігу та композиції составів на мережі зі зміною попиту у просторі та часі. Важливо проаналізувати технічні та технологічні можливості експлуатації з'єднаних швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць та сформулювати рішення для залізниць України.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-10

Це допоможе підвищити прибутковість залізничного пасажирського комплексу, зберегти конкурентні переваги перед іншими видами транспорту та зменшити негативний вплив транспорту країни на екологію навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Введення в обіг з'єднаних швидкісних поїздів дозволяє скоротити витрати на освоєння змінного попиту на дільницях маршрутів поїздів, підвищує якість обслуговування пасажирів, так як пасажирам не треба змінювати поїзди, і зменшити вплив швидкісних поїздів на пропускну спроможність дільниць [1,2]. Як доводить практика, незважаючи на переваги, вищезазначена технологія має деякі недоліки, головним з яких є складність синхронізації по прибуттю на станціях з'єднання або роз'єднання поїздів вже спланованих варіантів стикування пасажирських поїздів. На даний час задача розробки розкладів руху швидкісних пасажирських поїздів вирішується за допомогою експертних методів в ручному режимі [3].

Закордонними вченими приділяється увага розробкам різних типів систем підтримки прийняття рішень щодо ефективної експлуатації поїздів за системою багатьох одиниць, так, в роботі Nima Ghaviha [4] наведено обґрунтування впровадження системи консультування машиніста поїзда щодо ефективного керування поїздом та проведено реалізацію цієї системи в прототипі на базі системи Android на двоколінійній ділянці лінії Mälaren, що показала свою ефективність.

Оскільки використання поїздів за системою багатьох одиниць дозволяє збільшити пасажиропотік за маршрутом слідування та може мати неабиякий вплив на регіональний економічний розвиток, то вченими приділялося багато уваги побудові маршрутів та станцій стикування поїздів [5]. Так, Steffen Huck [6], Tammy Drezner [7] в своїх роботах проводили дослідження розташування станцій стикування на основі змішаної стратегії рівноваги Неша. Цікавим є робота Р. Dorta-Gonzalez [8], де цю проблему запропонували вирішити за допомогою моделі конкуренції Курно, яка використовується для опису структури галузі, в якій компанії конкурують за обсяг виробництва, який вони вироблять, незалежно один від одного і одночасно, і застосування такої моделі дозволяє отримати прибуток від перевезення більше, ніж при монопольному регулюванні, але нижче, ніж при відкритій конкуренції та існує ризик перетворення на монополію при змові незалежних компаній.

Для побудови раціонального графіка руху поїздів за системою багатьох одиниць з урахуванням пробігів кожної одиниці та необхідного часу технічного обслуговування авторами Ran Chen, Leishan Zhou [9] запропоновано математичну модель нелінійного цілочисельного програмування, що вирішується з використанням адаптованого алгоритму мурашиних колоній та дозволяє отримати графік руху поїздів за системою багатьох одиниць для організації швидкісного руху на великих мережах за досить короткий час.

Автором Lin D.Y. [10] для формування графіка руху поїздів з оптимальними схемами зупинки поїздів запропоновано математичну модель цілочисельного програмування, орієнтовану на зменшення загальних експлуатаційних витрат, яка вирішується з використанням бінарного кодованого генетичного алгоритму. Математична модель нелінійного цілочисельного програмування для побудови графіка руху поїздів, запропонована Niu H.M., Zhou X.S. [11], орієнтована на мінімізацію очікування пасажирів на станціях пересадки та призначена для розрахунку на залізничному напрямку.

Для побудови графіка руху поїздів на одноколінійній дільниці високошвидкісних ліній за системою багатьох одиниць з плануванням оптимального часу зупинки

поїздів Yang LX, Qi JG [12] запропоновано багатоцільову змішану модель лінійного програмування, орієнтовану на мінімізацію загального часу руху поїздів на дільниці та загальної різниці між очікуваним та реальним часом відправлення поїздів. Для вирішення даної моделі було застосовано загальну систему алгебраїчного моделювання (англ., General Algebraic Modeling System, GAMS).

Незважаючи на успішний досвід застосування даних моделей на реальних полігонах залізничної мережі, жодна з них не може бути застосована в умовах функціонування залізничної мережі України, оскільки дані моделі застосовуються на залізничних лініях з розділеним рухом пасажирських та вантажних поїздів в умовах функціонування декількох пасажирських компаній та наявності конкуренції між ними.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є дослідження сучасних особливостей експлуатації з'єднаних швидкісних поїздів та дослідження можливості запровадження даної технології на залізниці України.

Матеріали та методи дослідження. Технічна можливість експлуатації двох високошвидкісних електропоїздів за системою багатьох одиниць (англ., Modular train sets, MU) дозволила на залізницях світу створити нову стратегію експлуатації парку високошвидкісних та регіональних поїздів. Це надало можливість використовувати короткосоставні поїзди, які можна комбінувати з поїздами більшої составності для освоєння змінного попиту на дільницях залізничної мережі.

Технологія експлуатації високошвидкісних поїздів з малою кількістю вагонів у своєму складі надає дві основні переваги: запропонована кількість місць у поїзді може бути адаптована до попиту, що змінюється у часі та просторі (наприклад, пікові години, тощо); поїзди можна розчіпляти або з'єднувати на певній точці маршруту, та обслуговувати напрямки з різним попитом. Пасажирам не треба змінювати поїзди, а оператор економить витрати. В умовах з'єднання двох поїздів збільшується пропускна спроможність залізничних дільниць.

Модульна експлуатація високошвидкісних поїздів передбачає можливість об'єднання поїздів у два або навіть у три состави за умови високого попиту у часі або просторі. Ця концепція особливо підходить для регіонального, приміського сполучення та широко застосовується на мережах високошвидкісних магістралей (ВШМ) в усьому світі. За такою технологією високошвидкісні поїзди можуть бути різної довжини. Наприклад, DB AG замовив потяги ICE-T (поїзд з нахилом кузова) з можливістю експлуатації його з'єднаним у двох варіантах составності: 5-вагонні та 7-вагонні состави поїзда. Состав з семи вагонів ICE T може працювати у подвійній тязі, состав з п'яти вагонів у трьох-тяговому (з 1999 року). Максимальна експлуатаційна швидкість поїздів досягає 200 км/год на звичайних залізничних лініях та до 230 км/год на швидкісних залізничних лініях. Цікавим є конструкція поїзда типу ICE 2: типова конфігурація німецького ICE 2 складається з двох напівпоїздів, кожен з яких має локомотив на одному кінці, і невеликий привід (без встановленої потужності) на іншому кінці. Це дозволяє розділити ICE 2 на два напівпотяги, щоб обслуговувати два маршрути, що мають спільну першу частину поїздки (наприклад, лінія Берлін-Кельн). Максимальна швидкість експлуатації даних поїздів на швидкісних залізничних лініях до 300 км/год, а на території Франції до 320 км/год.

Витрати на поїзд, що припадають на одне місце, вищі для коротших поїзних одиниць, оскільки необхідна майже та сама потужність тяги, як і для більш довгого составу високошвидкісного поїзда. Те саме стосується кабін машиністів локомотивів. Додатковий ефект вартості може виникнути, якщо спеціально розробляти конструкції поїздів потужність яких буде збалансованою у випадку їх

експлуатації з'єднаними. Таким прикладом є конструкція поїздів-модулів 5-вагонних та 7-вагонних составів MU поїзда ICE-T. Проте збільшення інвестиційних витрат на конкретне місце в більшості випадків буде компенсовано меншою потребою в розміщенні на місце завдяки кращій адаптації пропозиції кількості місць на дільниці до попиту пасажирів.

Експлуатація з'єднаних поїздів є ефективним способом досягнення кращої населеності в ситуаціях із сильними відхиленнями попиту у часі або просторі. Це значно зменшує витрати та покращує ефективність використання енергії (на пасажир-км). Вищі індивідуальні витрати на місце розташування компенсуються зниженими можливостями недозаселення поїздів. У місцевому та регіональному сполученні вже широко використовується використання коротких MU для адаптації довжини поїзду до попиту. Проте деякі оператори побоюються більшої складності процесів формування поїздів та додаткових планових зусиль, спрямованих на синхронізацію графіку їх руху на мережі. До недоліків слід віднести відсутність проходу між двома зчепленими поїздами.

Технологія експлуатації з'єднаних поїздів широко застосовується на швейцарських залізницях (SBB). З'єднання поїздів планується тривалістю від 2 до 6 хвилин. Найбільшою проблемою організацією обігу швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць є взаємозалежність їх графіків руху, що у випадку запізнень призводить до вторинних затримок. Однак висока надійність перевезень дозволяє звести дані випадки до мінімуму. [10].

Технічні можливості організації з'єданого руху швидкісних поїздів забезпечуються спеціальними багатофункціональними автозчепними пристроями (англ., Multi-function couplers, MFCs), які забезпечують автоматичне зчеплення составів (модулів) між собою з під'єднанням гальмівних систем та електричного обладнання для можливості управління з'єднаним поїздом з однієї кабіни (рис. 1).

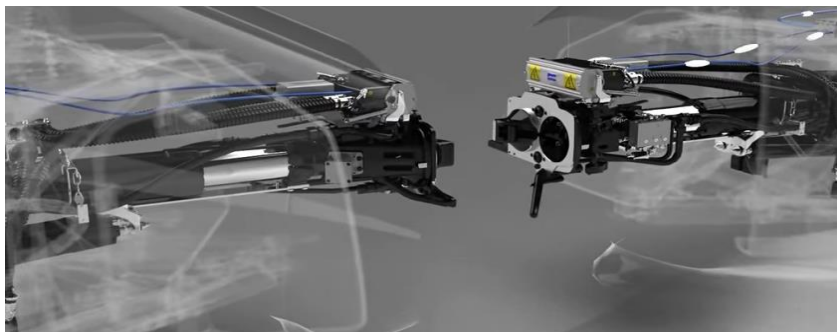


Рис. 1. Фото-схема спеціального багатофункціонального автозчепного пристрою

Найбільшого поширення має автозчепна система Шарфенберга -Scharfenberg coupler (нім., Scharfenbergkupplung або Schaku), що була розроблена у 1903 році Карлом Шарфенбергом в Кенігсберзі, Німеччина. Дана система встановлена на німецьких високошвидкісних поїздах IC (рис. 2). Основним недоліком шарфенберзького з'єднувача є його низький максимальний тоннаж, що робить його непридатним для вантажних перевезень. Приєднання модулів пасажирського поїзда

виконується на дуже низькій швидкості (менше 2 милі на годину або 3,2 км/год в кінцевому підході), так що пасажери не відчувають стикування.



Рис. 2. Приклад готовності до з'єднання двох модулів поїздів ICE T за допомогою шарфенберзького з'єднувача

Введені в експлуатацію у 2009 році на ВШМ Південної Кореї високошвидкісні поїзди KTX-Sancheon, також мають автоматичні зчеплення системи Шарфенберга [13], що дозволяють об'єднати і розчеплювати дві серії поїздів на проміжних станціях, надаючи Національному залізничному оператору "Корайл" (англ., Korail) більшу гнучкість в експлуатації даних поїздів на лініях з різним рівнем попиту. Автозчепні пристрої та автоматику постачала німецька промислова компанія Voith. Поїзди KTX-Sancheon побудовані компанією побудований Hyundai Rotem і використовуються як на швидкісних ліній Сеул-Бусан, так і на звичайній мережі. З'єднання двох поїздів KTX-Sancheon за допомогою системи Шарфенберга компанії Voith показано на рис. 3.



Рис. 3. З'єднання двох поїздів KTX-Sancheon за допомогою системи Шарфенберга компанії Voith

Точка зору про те, що короткосоставні поїзди повинні бути додані до рухомого складу KTX (англ., Korean Train Express) для операційної гнучкості, було підсилено реальними тенденціями населеності поїздів Нопам KTX після запуску послуг KTX з 1 квітня 2004 року з 20-ти вагонними поїздами KTX-I [14]. Поточна конфігурація поїздів складається з 20 фіксованих вагонів з 935 місцями. Така композиція не становить великої проблеми для коридору Сеул-Бусан, де щільність попиту досить висока. Однак попит на коридорі Сеул-Мопко засвідчив бажаність курсування

составів з меншою кількістю вагонів (рисунок 4). Двадцятивагонні секції поїзда були підготовлені для коридору Сеул-Бусан без розгляду попиту в коридорі Сеул-Мокпо. Ця невідповідність попиту змусила компанію, що експлуатує поїзди на цих лініях змінити складність поїздів та застосувати модульну систему експлуатації поїздів на мережі. [18].

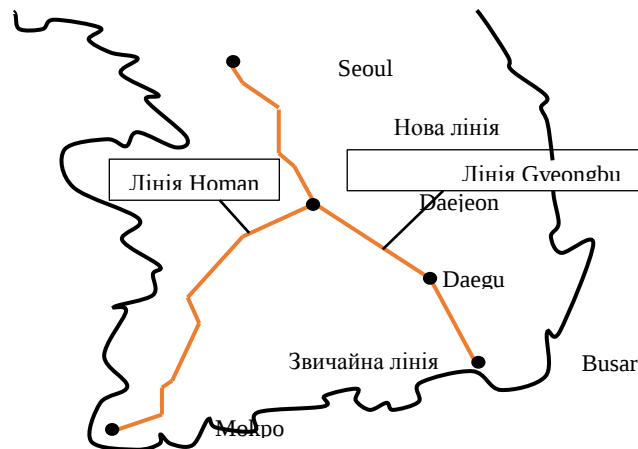


Рис. 4. Схема залізничних високошвидкісних магістралей Сеул-Бусан та Сеул-Мокпо

Закуплені у 2012 році урядом України 10 швидкісних поїздів HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem» також передбачають їх експлуатацію за системою багатьох одиниць. Український EMU (електропоїзд) HRCS2 має два типи зчепки: автозчеплення і жорстка міжвагонна зчепка (рис. 5).

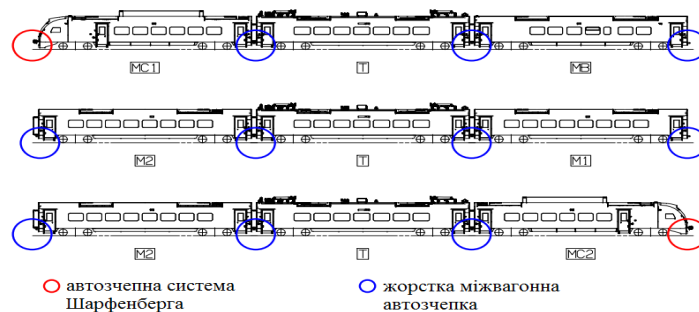


Рис. 5. Базова схема формування 9-ти вагонного состава поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem»

Автозчепка встановлюється у передній частині МС-вагона для зчеплення декількох составів і для рятувальних операцій з аварійним адаптером зчепки (при необхідності). Жорстка міжвагонна зчепка встановлюється на задній частині МС-вагона і з обох кінців М, МВ, Т-вагонів для міжвагонного зчеплення (рисунок 6).

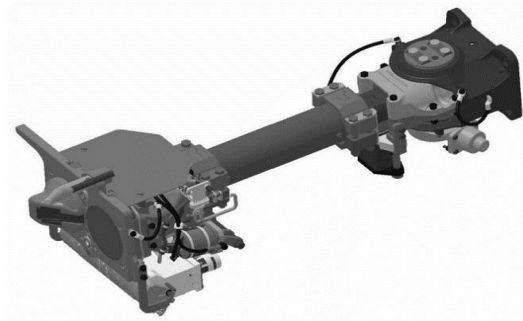


Рис. 6. Автоматична автозчепна система типу Шарфенберга поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem»

Принцип роботи автозчепної система типу Шарфенберга поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem», що експлуатується на залізницях України передбачає розчеплення та зчеплення составів в автоматичному режимі. Автоматичне розчеплення може здійснюватися з обох складів, оскільки машиніст керує кнопкою в кабіні. Для можливості експлуатації поїзди в умовах низьких температур автозчепний пристрій обладнано спеціальними обігрівачами.

Технологія зчеплення двох составів HRCS2 передбачає наступну послідовність дій: 1) состави поїзда для зчеплення зупиняються на відстані приблизно одного метра один від одного; 2) повільно наближається один состав до іншого (не більше 0,6 км/год); 3) зчіпки з'єднуються без ручної допомоги (автоматично). Поїзда також зчіпляються електрично та пневматично; 4) включаються електричні головки автозчепної системи.

Після всіх операцій проводиться перевірка зчеплення і після цього поїзд може відправлятися у визначеному напрямку руху. За вище наведеним аналізом можна констатувати технологічну та технічну можливість експлуатації швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць на залізниці України.

Приймаючи до уваги складність рішення поставленої задачі, в роботі запропоновано застосувати оптимізаційну математичну модель для синхронізації розкладу руху з'єднаних швидкісних пасажирських або приміських поїздів на залізничній мережі [16-19].

$$F = \sum_m \sum_n \sum_l \sum_p (dept_{p,l}^m - arrt_{p,n}^m) \rightarrow \min, \quad (1)$$

З такими обмеженнями оптимізаційної математичної моделі:

$$X_{p,n} \geq 0, X_{1,n} \leq I_{\max_n}; 1 \leq p \leq f_n, \quad (2)$$

$$X_{f,n} \leq T, 1 \leq n, l \leq N, \quad (3)$$

$$I_{\min_n}^m \leq X_{(p+1)n} - X_{pn} \leq I_{\max_n}^m, 1 \leq m \leq M, \quad (4)$$

$$H \min_i^S \leq H_i^S \leq H \max_i^S, \quad (5)$$

$$dept_{p,l}^m > arrt_{p,n}^m, 1 \leq n, l \leq N, \quad (6)$$

де m – станція з'єднання швидкісних пасажирських або швидкісних приміських поїздів; l – маршрут руху першого з поїздів за системою багатьох одиниць на

маршруті l ; n – маршрут руху другого з поїздів за системою багатьох одиниць на маршруті l ; p – час відправлення кожного поїзда за системою багатьох одиниць на маршруті слідування, хв.; $dept_{p,l}^m$ – час прибуття кожного поїзда p на маршруті l , хв.; $arr_{p,n}^m$ – час відправлення кожного поїзда p на маршруті l , хв.; $X_{p,n}$ – час відправлення кожного поїзда p на маршруті слідування i , хв.; $I\min_n$, $I\max_n$ – мінімальний та максимальний міжпоїзний інтервал, хв; f_n – кількість відправлень (частота) поїздів за системою багатьох одиниць або кількість поїздів, що заплановані на маршруті n в інтервалі $[0, T]$, поїздів; T – період планування – відповідає максимальному часу обороту состава, доба.

Обмеження (2) визначає необхідність відправлення першого поїзда за системою багатьох одиниць на кожному маршруті n в межах інтервалу $[0, I\max_n]$. Обмеження (3) встановлює умову, при якій відправлення останнього поїзда за системою багатьох одиниць повинне бути в межах планового періоду T . Обмеження (4-5) визначають необхідність дотримання меж міжпоїздного інтервалу та часу стоянки поїзда на станції з'єднання груп. Обмеження (6) виключає недопустимі варіанти схем проходження поїздів за системою багатьох одиниць на станції з'єднання, тобто виключається раннє приймання та відправлення поїздів на станціях з'єднання. Слід зазначити рішення запропонованої математичної моделі можливе лише за умови допустимості задачі, тобто при існуванні пропускну спроможності на залізничних дільницях в умовах існування пасажирського руху.

Рішення поставленої задачі оптимізації не представляється складним і можливо здійснити за допомогою методу оптимізації на основі використання генетичного алгоритму [15].

По суті вихідними даними для запуску програми синхронізації розкладу руху швидкісних пасажирських поїздів є можливі часові вікна стикування пасажирських поїздів. На рис. 7 наведено результати розрахунку у вигляді діаграми Ганта для попередньо отриманого рішення задачі побудови плану формування з'єднаних швидкісних поїздів на графі мережі.

По абсцисі діаграми відображається відносний час від 0 до 1440 хв. Темні прямокутники (рис. 7) відображають тривалість руху состава поїздах на відповідну нитку. На початку і у кінці кожного прямокутника вказаний час відправлення та прибуття. Назва нитки відображена посередині. Тонкими лініями показана операція з'єднання або розчеплення поїздів при відправленні на нитки різних напрямків.

Згідно до знайденого рішення на рисунках 8-9 наведено скорочену схему ув'язки обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ-Пшемисль за діючим та варіантом та при з'єднанні двох швидкісних поїздів на дільниці Львів – Пшемисль.

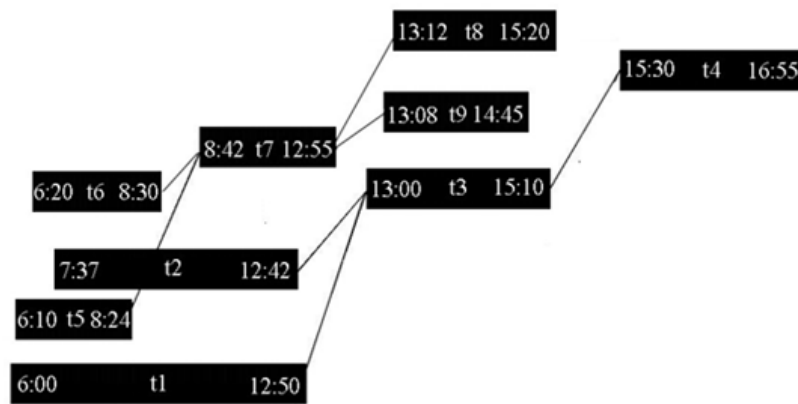


Рис. 7. Результат рішення оптимізаційної задачі синхронізації графіка руху швидкісних пасажирських поїздів у вигляді діаграми Ганта

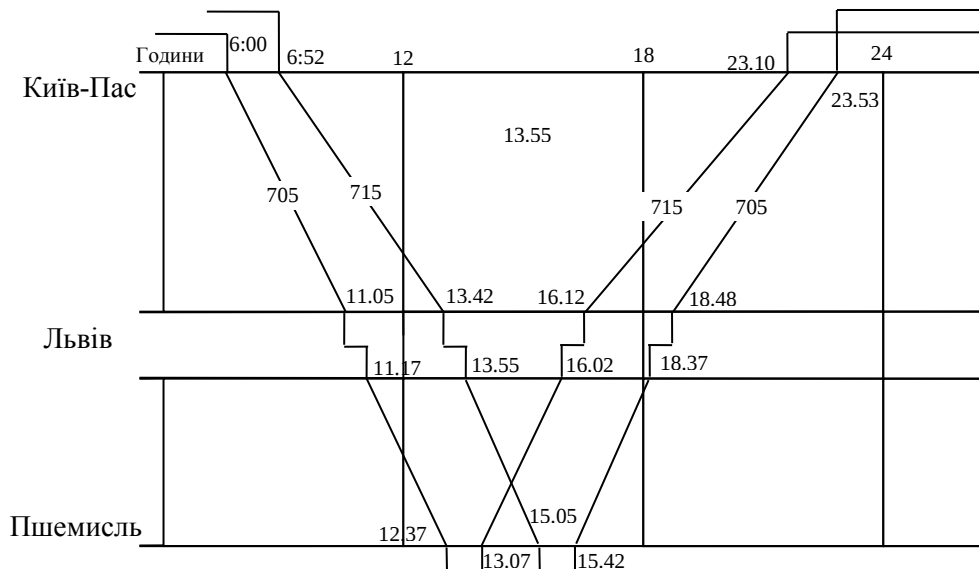


Рис. 8. Схема діючого варіанта обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ – Пшемисль

В реаліях експлуатаційної роботи залізничної мережі України економічна ефективність курсування пасажирських поїздів за системою багатьох одиниць досягається за рахунок вивільнення на розрахунковому залізничному напрямку частки пропускної спроможності, що призначена для руху швидкісного поїзда для пропуску вантажних поїздопотоків. Таким чином, проведені в роботі розрахунки економічного обґрунтування запропонованих заходів доводять, що після впровадження технології експлуатації здвоєних швидкісних пасажирських поїздів на залізничній дільниці Львів-Пшемисль витрати, що припадають на одну пару вантажних поїздів, зменшаться на 29%, економічний ефект з наростаючим

підсумком від впровадження запропонованої системи організації руху за період 2019-2022 рр., становить 9 653,81 грн у розрахунку на пару вантажних поїздів.

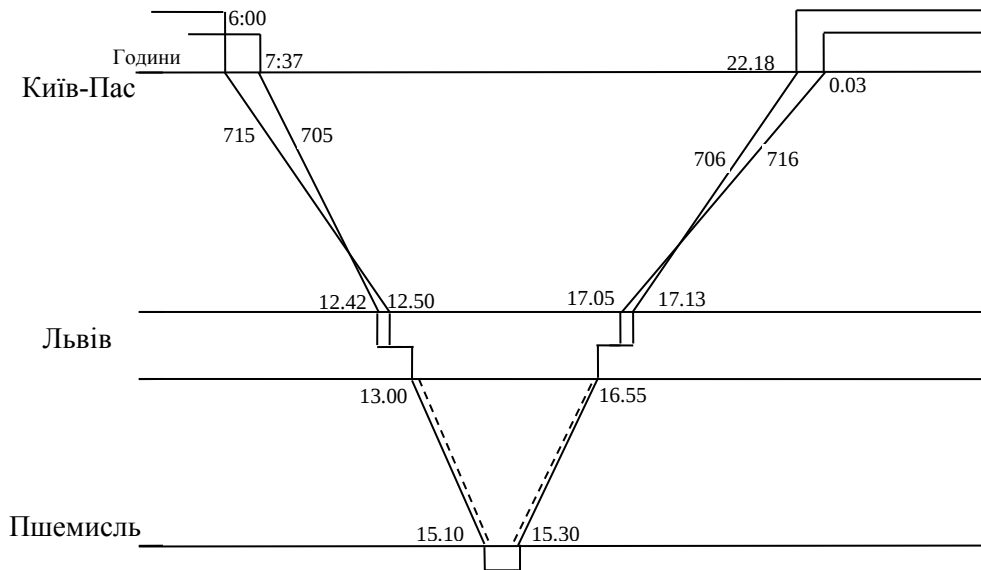


Рис. 9. Схема варіанта обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ – Пшемисль при з'єднанні двох швидкісних поїздів на дільниці Львів – Пшемисль

Висновки. Проведені дослідження доводять, що експлуатація з'єднаних пасажирських поїздів є ефективним способом досягнення кращої населеності в ситуаціях із сильними відхиленнями попиту у часі або просторі. Це значно зменшує витрати та покращує ефективність використання енергетичних ресурсів на пасажиро-км.

За вище наведеним аналізом можна констатувати технологічну та технічну можливість експлуатації швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць на залізниці України. Принцип роботи автозчепної система типу Шарфенберга поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem», що експлуатується на залізницях України передбачає розчеплення та зчеплення составів в автоматичному режимі. Автоматичне розчеплення може здійснюватися з обох складів, оскільки машиніст керує кнопкою в кабіні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang, Chao Lu. The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem. *Advances in Mechanical Engineering* 2018, Vol. 10(3). 1–16.
2. Zhou X.S. and Zhong M. Bicriteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications. *Eur J Oper Res* 2005; 167: 752–771.
3. Бутько Т.В., Ломотько Д.В., Прохорченко А.В., Олійник К.О. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіку руху поїздів. *Збірник наукових праць. Харків, УкрДАЗТ, 2009. №78. С. 71-75.*

4. Nima Ghaviha, Markus Bohlin, Christer Holmberg, Erik Dahlquist, Robert Skoglund, Daniel Jonasson .A driver advisory system with dynamic losses for passenger electric multiple units.// Transportation Research Part C: Emerging Technologies Volume 85, December 2017, Pages 111-130.
5. Heyuan Huang, Weikun Zhang, Meng Chen, Yiming He. Effect of intercity electric multiple unit projects on regional economic development: evidence from a natural experiment in Zhongshan city, China /Heliyon 5, 2019 P. 1-6.
6. Steffen Huck, Wieland Müller, Nicolaas J. Vriend “the east end, the west end, and king’s cross: on clustering in the four-player hotelling game// Econ. Inq., 40 (2) (2002), P. 231-240
7. Tammy Drezner, Zvi Drezner, Shogo Shiode A threshold-satisfying competitive location model// J. Reg. Sci., 42 (2) (2002), pp. 287-299.
8. Pablo Dorta-González, Dolores R. Santos-Peñate, Rafael Suárez-Vega Cournot oligopolistic competition in spatially separated markets: the stackelberg equilibrium //Ann. Reg. Sci., 38 (3) (2004), P. 499-511
9. Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang and Chao Lu The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem// Advances in Mechanical Engineering 2018, Vol. 10(3) P.1–16.
10. Lin D.Y. and Ku Y.H. Using genetic algorithms to optimize stopping patterns for passenger rail transportation.Comput: Aided Civ Inf 2014; 29. P. 264–278
11. Niu H.M., Zhou XS and Gao RH. Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: nonlinear integer programming models with linear constraints. Transport ResB: Meth 2015. P. 117–135
12. Yang L.X., Qi J.G., Li S.K. Collaborative optimization for train scheduling and train stop planning on high-speed railways. Omega 2016; 64. P. 57–76.
13. High-Speed Rail in Korea: Lessons for the Midwes. Midwest High Speed Rail Association, December 7, 2013. - 9 p. Режим доступу: https://www.midwesthsr.org/sites/default/files/studies/Korea_overview_2013_12_07.pdf.
14. D. Suh, Sunduck; Yang, Keun-Yul; Lee, Jae-Hoon; Ahn, Byung-Min; Kim, Jeong Hyun (2005). "Effects of Korean Train Express (KTX) Operation on the National Transport System" (PDF). Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 5. P. 175–189.
15. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus timetables with maximal synchronization //Transportation Research. 2000. Part A 35. P. 913 -928.
16. Liebchen C., Schachtebeck M., Schöbel A., Stiller S, Prigge A. Computing delay resistant railway timetables. Computers & Operations Research .Volume 37, Issue 5, May 2010, Pages 857-868
17. Castelli L., Pesenti R., Ukovich Castelli W. Scheduling multimodal transportation systems // European Journal of Operational Research. 2004. Vol. 155(3). P. 603-615.
18. Kim K-H and S. Suh (2003), Allocation of Rail Line Capacity between KTX and Conventional Trains under Different Policy Goals with Mathematical Programming, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, October, P.236-251.
19. Yun Wang, Yu Zhou, Xuedong Yan. Optimizing Train-Set Circulation Plan in High-Speed Railway Networks Using Genetic Algorithm Journal of Advanced Transportation. Volume 2019, Article ID 8526953, P.1-12.

REFERENCES

1. Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang, Chao Lu. The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem. Advances in Mechanical Engineering 2018, Vol. 10(3). 1–16.
2. Zhou XS and Zhong M. Bicriteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications. Eur J Oper Res 2005; 167: 752–771.
3. Butko, T.V. (2009) Formuvannya logistichnoyi tehnologiyi prosuvannya vantazhopotokiv za zhorstkimi nitkami grafiku ruhu poyizdiv/ T.V.Butko, D.V.Lomotko, A.V.Prohorchenko, K.O. Ollinyk // Zbirnik naukovih prats UkrDAZT , 78. 71-75.
4. Ghaviha, Nima (2017). A driver advisory system with dynamic losses for passenger electric multiple units/ Nima Ghaviha, Markus Bohlin, Christer Holmberg, Erik Dahlquist, Robert Skoglund, Daniel Jonasson// Transportation Research Part C: Emerging Technologie, 85, 111-130.
5. Heyuan, Huang (2019). Effect of intercity electric multiple unit projects on regional economic development: evidence from a natural experiment in Zhongshan city, China/ Heyuan Huang, Weikun Zhang, Meng Chen, Yiming He //Heliyon 5, 1-6.
6. Steffen Huck (2002). “The east end, the west end, and king’s cross: on clustering in the four-player hotelling game/ Steffen Huck, Wieland Müller, Nicolaas J. Vriend// Econ. Inq., 40 (2) (2002), P. 231-240

7. Drezner, Tammy (2002). A threshold-satisfying competitive location model / Tammy Drezner, Zvi Drezner, Shogo Shiode J.// Reg. Sci., 42 (2),287-299.
8. Dorta-González, Pablo (2004) Cournot oligopolistic competition in spatially separated markets: the stackelberg equilibrium / Pablo Dorta-González, Dolores R. Santos-Peñate, Rafael Suárez-Vega// Ann. Reg. Sci., 38 (3), 499-511.
9. Chen, Ran (2018). The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem/ Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang, Chao Lu// Advances in Mechanical Engineering 2018, 10(3), 1–16.
10. Lin, D.Y.(2014) Using genetic algorithms to optimize stopping patterns for passenger rail transportation/ D.Y.Lin, Y.H. Ku // Comput. Aided Civ, 29, 264–278.
11. Niu, H.M. (2015). Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: nonlinear integer programming models with linear constraints/ H.M.Niu, X.S., R.H. Zhou Gao// Transport ResB: Meth, 2015 117–135.
12. Yang, L.X.(2016). Collaborative optimization for train scheduling and train stop planning on high-speed railways/ L.X.Yang, J.G.Qi, S.K. Li// Omega, 64, 57–76.
13. High-Speed Rail in Korea: Lessons for the Midwes. Midwest High Speed Rail Association, December 7, 2013. – 9 p. URL: https://www.midwesthsr.org/sites/default/files/studies/Korea_overview_2013_12_07.pdf.
14. Suh, D (2005) "Effects of Korean Train Express (KTX) Operation on the National Transport System" / D. Suh, Sunduck; Yang, Keun-Yul; Lee, Jae-Hoon; Ahn, Byung-Min; Kim, Jeong Hyun// Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 5, 175–189.
15. Ceder, A. (2000). Creating bus timetables with maximal synchronization // A.Ceder, B.Golany, O. Tal// Transportation Research. 2000. Part A 35, 913 -928.
16. Liebchen C., Schachtebeck M., Schöbel A., Stiller S, Prigge A. Computing delay resistant railway timetables. Computers & Operations Research .Volume 37, Issue 5, May 2010, Pages 857-868
17. Castelli, L. (2004). Scheduling multimodal transportation systems/ L.Castelli, R.Pesenti, W.Ukovich Castelli // European Journal of Operational Research, 155(3), 603-615.
18. Kim, K-H (2003). Allocation of Rail Line Capacity between KTX and Conventional Trains under Different Policy Goals with Mathematical Programming / K-H Kim, S. Suh// Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 236-251.
19. Yun Wang, Yu Zhou, Xuedong Yan. Optimizing Train-Set Circulation Plan in High-Speed Railway Networks Using Genetic Algorithm Journal of Advanced Transportation. Volume 2019, Article ID 8526953, P.1-12.

Г.О. Прохорченко, к.т.н. (доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),

В.В. Белокудря (аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),

Н.С. Севрук, Т.В. Никитина, Є.Г. Ступакова, Д.Р. Алафін (магістранти кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ПО СИСТЕМЕ МНОГИХ ЕДИНИЦ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ УКРАИНЫ

В работе исследовано направление внедрения технологии эксплуатации соединенных скоростных поездов, что позволит сократить расходы на освоение переменного спроса на участках маршрутов поездов, повысить качество обслуживания пассажиров. Проведен анализ опыта эксплуатации высокоскоростных пассажирских поездов по системе многих единиц. Предложена усовершенствованная модель действующего варианта обращения скоростных поездов категории

Интерсити+ на направлении Киев-Пржемысль при соединении двух скоростных поездов.

Ключевые слова: железная дорога, скоростные поезда, Интерсити+, система многих единиц, моделирование

Halyna Prokhorchenko, Ph.D. in Technical Sciences,
(docent of Department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport)

Volodymyr Belokudria, graduate student,
(department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport)

Natalia Sevruck, Tetiana Nikitina, Yevhenia Stupakova, Denys Alafin, master students, (department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport)

RESEARCH ON OPPORTUNITIES OF OPERATION OF SPEED PASSENGER TRAINS BY THE COUPLE UNIT SYSTEM ON THE RAILWAY OF UKRAINE

In the work investigated the direction of introduction of technology for the organization of multiply-units speed trains, which will reduce the cost of developing variable demand of train routes, and improve the quality of passenger service. In order to increase the efficiency of transportation in high-speed trains, it is necessary to use organizational technologies, which are based on concepts, that meet the requirements of the variable basis of the organization of passenger transportation and allow to provide a flexibility for companies-carriers. Was analyzed experience of operating high-speed electric trains on multiply-units control system. The modular operation of high-speed trains offers the ability to combine trains into two or even three trains with the possibility of adapting to changing time and space requirements. This makes it possible to use short-haul trains, which can be combined with trains of higher complexity to meet variable demand on railway network. In the work we find a solution for the problem of constructing a plan for the formation of connected high-speed trains on the network graph, and proposed an improved model of the current variant of the Intercity+ high-speed train on the Kiev-Przemysl route using connecting two high-speed trains.

Keywords: rail, high-speed trains, Intercity+, multiply-units control system, modeling.

УДК 656.13

Микола Жук, к.т.н.

(доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»)

Володимир Ковалишин, к.т.н.

(доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»)

АНАЛІЗ ТРИВАЛОСТІ РУХУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ (НА ПРИКЛАДІ м. ЛЬВІВ)

Забезпечення точної інформації про тривалість руху громадського транспорту та часу прибуття автобусів дає можливість зменшити тривалість очікування пасажирів та залучити більше людей до користування громадським транспортом. Авторами запропоновано новий сегментний підхід для прогнозування часу поїздки громадським транспортом. Використані реальні дані руху автобусів, які визначені у різних сегментах автобусних маршрутів.

Ключові слова: громадський транспорт, тривалість руху, рух між зупинками, тривалість зупинки.

Вступ. Оскільки кількість транспортних засобів в міських районах постійно зростає, то у багатьох містах затори транспортних потоків стали важливою проблемою. Розробка інтелектуальних транспортних систем (ІТС) є одним з рішень для зменшення забруднення на транспорті. Оцінка тривалості поїздки громадського транспорту є важливою складовою ІТС, оскільки забезпечує точну інформацію про поїздки пасажирів в реальному часі. Інтелектуальна система замість заздалегідь визначених розкладів може скоротити час очікування пасажирів. Це також може покращити якість обслуговування системи шляхом миттєвого коригування графіку відправлень, коли трапляються непередбачені події.

Серед різних систем громадського транспорту автобусна мережа є найскладнішою та найпоширенішою у сучасних містах, яка може використовувати існуючу дорожню інфраструктуру і має менші поточні витрати. Отже, для покращання якості послуг громадського транспорту необхідно зосередити увагу на такій проблемі – як точно визначити час подорожі чи прибуття автобуса. Визначення часу подорожі автобусом у режимі реального часу має багато переваг, включаючи планування поїздки пасажирів [1], де поїздки плануються шляхом обчислення тривалості поїздки до кожного пункту призначення та оптимізації маршруту [2]. Отримуючи цю інформацію оператори системи можуть проектувати та налаштовувати дані відповідно до орієнтовної тривалості подорожі. На підставі вищенаведеного, багато існуючих досліджень прогнозування тривалості поїздки автобусом досягли різного ступеня успіху [3-4].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-11

Однак продовження даних досліджень дасть можливість більш точно прогнозувати тривалість подорожі автобусом

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми

Оцінка тривалості руху автобусним маршрутом залучила багатьох дослідників та планувальників ІТС для вирішення цієї проблеми. Запропоновано різні моделі та методи прогнозування руху автобусом, часу або швидкості прибуття, які наведені нижче (рис. 1).



Рис. 1. Методи та моделі прогнозування тривалості руху автобуса

Існуючі підходи поділено на три частини на основі моделей, чинників впливу та методів побудови маршруту. Нижче наведено огляд та порівняння деяких з них.

Штучна нейронна мережа (ANN) – популярний підхід для вирішення складних нелінійних задач, який зазвичай застосовується для прогнозування тривалості поїздки. Автори [3] запропонували дві моделі ANN для прогнозування часу прибуття автобуса як основи побудови маршруту, використовуючи тривалості руху та зупинки. Їх результати досліджень показують, що дві моделі на основі ANN мають досить непогані показники. Дослідження інших авторів [5] також показують, що моделі на основі ANN забезпечують кращі показники, порівнюючи точність прогнозування тривалості поїздки з середніми даними та методами регресії.

Метод підтримуючого вектора (SVM) – специфічний тип алгоритму статистичного навчання, який має ряд властивостей, таких як здатність контролювати функції прийняття рішень та надання нелінійних рішень. Останнім часом SVM використовується як корисний метод прогнозування тривалості поїздки. Наприклад, у дослідженнях [6-9] показано, що моделі SVM випереджають ANN, використовуючи середні значення та методи часових рядів.

Фільтрація Калмана (Kalman filtering) – це ефективна процедура оцінки, оскільки вона має можливість оновлювати стан, залежний від часу. Нові спостереження стають доступними постійно. Дослідники [3,10] запровадили методи фільтрації Калмана для прогнозування тривалості руху автобуса, використовуючи дані в режимі реального часу та попередні дані.

На тривалість руху автобуса впливають різні чинники, наприклад, різні погодні умови [11-12], часові зміни пікових і не пікових годин [6, 13-15], інформація про посадку пасажирів [3, 11, 16], умови руху в режимі реального часу [17-18].

Порівнюючи з моделлю на основі даних GPS, точність прогнозування покращується за умови вводу даних про швидкість руху та даних про пасажирів у години пік у будні дні. Врахування обох чинників в одній моделі є ефективним способом зменшити невизначеність результатів прогнозування часу в дорозі [16]. Можна зауважити, що існує мала кількість досліджень, які враховують вплив дорожніх умов в режимі реального часу на час подорожі автобуса та співвідношення між ними.

Мета і завдання дослідження – Запропонувати новий підхід на основі сегментації, що включає дані про транспортний потік у режимі реального часу. Є два основні технічні завдання, які необхідно вирішити.

Перше – як точно розділити автобусний маршрут на різні ділянки? Наявні дані зазвичай не містять інформації про час, коли автобуси знаходяться «в» та «поза» зупинками, а онлайн-карти, такі як карти Google, можуть надавати лише одне місце для кожної зупинки. Крім того, ділянки пролягання маршрутів не можуть бути представлені за допомогою однієї мітки на карті, і складно отримати цю інформацію за допомогою необроблених GPS даних. Тому авторами запропоновано методологію сегментації маршруту автобуса, яка може покладатися на інформацію про дані GPS та дані натурних досліджень.

Друге – як точно оцінити час проїзду автобусів та час перебування на зупинці? Оскільки умови руху в режимі реального часу є основними чинниками впливу на тривалість руху, а кількість пасажирів на зупинках є основним чинником, який впливає на час перебування на зупинці, необхідно розпізнати дві незалежні схеми часу в дорозі та часу перебування на основі різних даних про транспортний потік у реальному часі.

Матеріали та методи дослідження

Оскільки автобусні маршрути відносно довгі, то уже існуючі моделі зазвичай використовують для аналізу певної частини (при поділі всього маршруту на ділянки). Популярні методи побудови маршрутів ділять автобусні маршрути, ґрунтуючись на важливих перехрестях доріг та місцях зупинки автобусів, які називаються відповідно моделями на основі перегонів та зупинок.

Однак час перебування автобуса на зупинках не вважається незалежним від тривалості руху. Тривалість руху автобуса являє собою періоди часу, коли автобуси очікують на зупинках, і час переміщення, що являє собою тривалість руху автобуса між кожними двома зупинками. Тривалість руху автобуса суттєво впливає на кількість пасажирів, які сідають і виходять, що відрізняється від часу проїзду, який залежить від місцевих умов руху.

Час перебування автобуса на зупинці є більш нестабільним і має різні причини. Він має істотний вплив на загальний час руху автобуса. Тому виникає необхідність досліджувати час перебування автобусів на зупинках із врахуванням також часу їх руху до цієї зупинки, щоб підвищити точність при оцінці тривалості руху автобуса.

Дослідження проведено на автобусному маршруті 3А у місті Львові, який поділено на три сегменти, щоб прогнозувати загальну тривалість поїздки на автобусі з метою врахування умов руху (рис. 2).

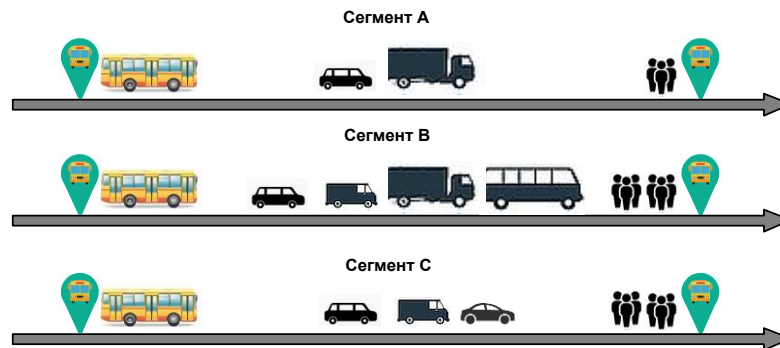


Рис. 2. Приклади руху автобуса за різних умов: Сегмент А) магістральна вулиця, рівень завантаження $z \leq 0,5$; Сегмент В) магістральна вулиця, рівень завантаження $z \geq 0,7$; Сегмент С) вулиці у центральній частині, рівень завантаження $z \geq 0,5$

Маршрут з'єднує два термінали: Термінал А – торговий центр «Кінг Крос Леополіс» (південна частина міста); Термінал В – площа «Різни» (центр міста). У таблиці 1 наведено основні характеристики автобусної лінії №3А.

Таблиця 1. Основні характеристики автобусної лінії №3А

Час роботи	3 6:15 (терм. А) / 7:00 (терм. В) до 23:00
Довжина маршруту (для напрямку)	18.54 км (9.26 км / 9.28 км)
Тривалість маршруту	30-60 хв
Кількість зупинок	17/17 зупинок (до центру / з центру)
Відстань між зупинками	від 350 м до 1000 м
Кількість автобусів на маршруті	12-14
Тип автобусів за маршрутом	12-ти метрові низькопідлогові

Дані про час поїздки на автобусі були отримані з GPS даних і відносяться до робочих днів кожного тижня. Дані автобусного маршруту №3А зібрані під час моніторингу руху автобусів з використанням GPS протягом 10 тижнів. Зібрані дані включають час відправлення від початкової зупинки та час прибуття до кінцевої зупинки в обох напрямках (рис. 3).

Для дослідження тривалості руху між зупинками на різних сегментах маршруту обрано ранковий піковий період (ранок між 7:30 та 9:30). Результати досліджень тривалості руху між зупинками та часу перебування на зупинці наведені на рисунках 4-6.

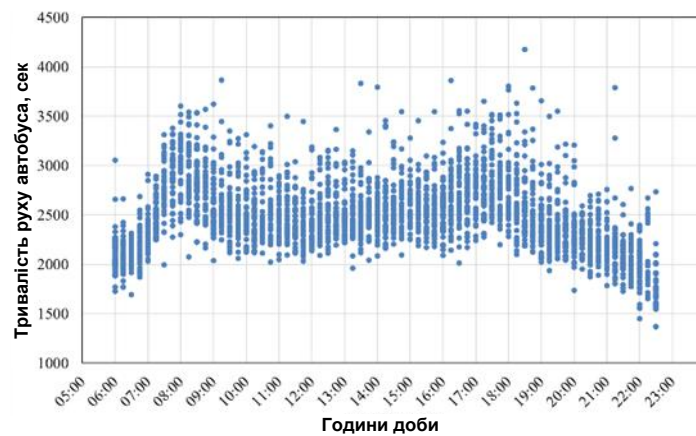


Рис. 3. Часове коливання тривалості руху автобусної лінії №3А у робочі дні (відправлення з терміналу А – до центру міста)

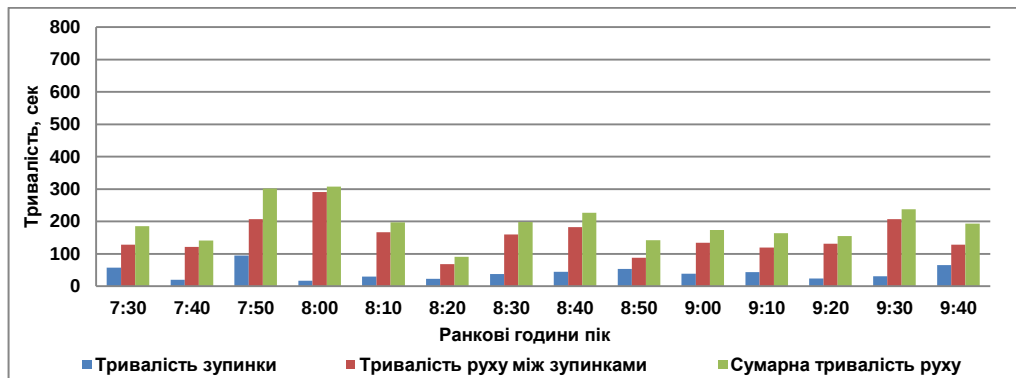


Рис. 4. Результати досліджень тривалості руху між зупинками та часу перебування на зупинці в сегменті А

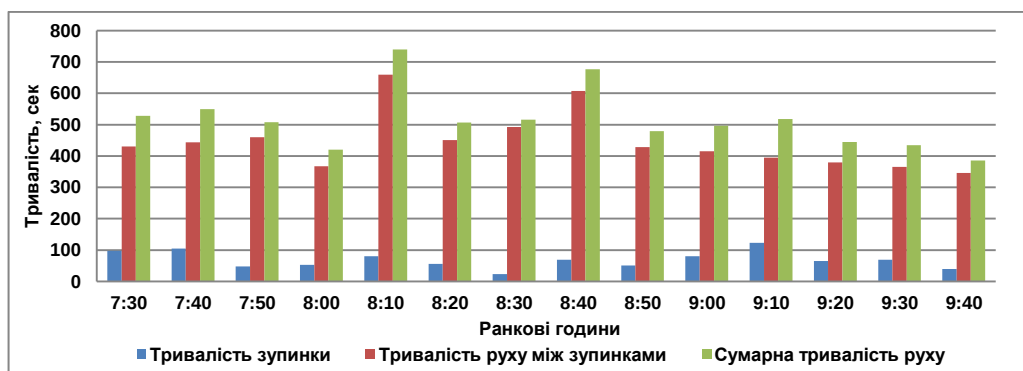


Рис. 5. Результати досліджень тривалості руху між зупинками та часу перебування на зупинці в сегменті В

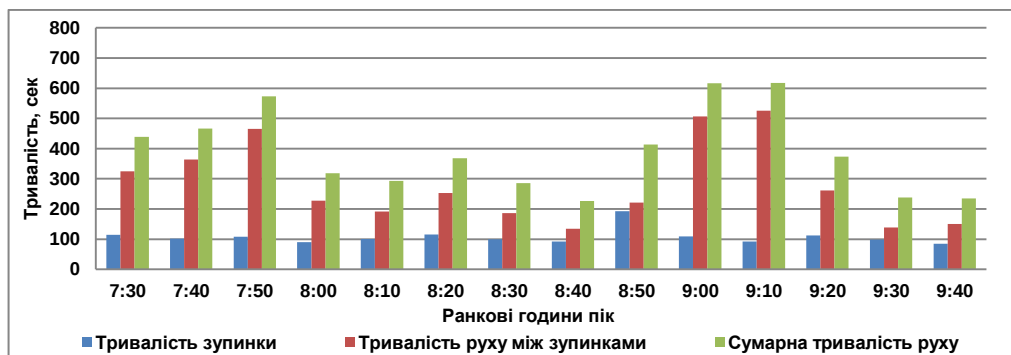


Рис. 6. Результати досліджень тривалості руху між зупинками та часу перебування на зупинці в сегменті С

Наведені результати надають можливість отримання залежностей тривалості руху автобусів за різних умов (рис. 7). Як бачимо з рисунка 7 найбільший вплив на загальну тривалість руху здійснюють ділянки з інтенсивним рухом та великою тривалістю зупинок. Тривалості руху між зупинками у різних сегментах маршруту змінюються у дуже великому діапазоні. Порогові та середні результати тривалості руху між зупинками у різних сегментах маршруту розміщені у таблиці 2. Окрім цього у залежностях чітко спостерігається наростаючий вплив пікової інтенсивності на тривалість руху між зупинками у різних сегментах маршруту.

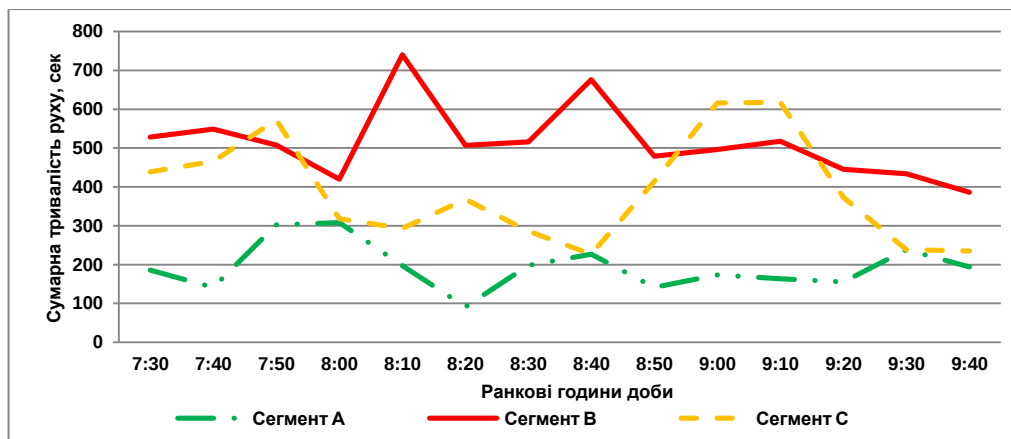


Рис. 7. Результати досліджень тривалості руху на різних сегментах у ранковий час пік

Висновки. Підсумовуючи, основні внески запропонованого підходу описані нижче:

- Запропоновано сегментний підхід для прогнозування часу поїздки на автобусі, на основі проїзду автобуса та часу перебування на зупинці, що використовує незалежні базові моделі. Це може підвищити точність прогнозування за рахунок зменшення невизначеності часу перебування та розподілу поїздок за

різних умов руху. Таким чином можна визначити вплив умов руху в режимі реального часу на тривалість руху автобуса.

- Запропоновано спосіб побудови сегментного графіку автобусного маршруту, який дозволяє ефективно розділити маршрут на визначені сегменти. Це допомагає незалежно та точно передбачити тривалість руху автобуса та час перебування на зупинці.

- Для часу перебування автобуса на зупинках використовується інформація про пасажирів та траєкторія руху автобусів. Результати експерименту показують, що сегментна модель може підвищити точність прогнозування як в нормальних, так і в аномальних ситуаціях руху в порівнянні з найсучаснішими методами.

Таблиця 2. Порогові та середні результати тривалості руху між зупинками у різних сегментах маршруту

	Тривалість руху, сек								
	Мінімальне			Максимальне			Середнє		
Сегмент	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Зупинка	17	24	85	95	123	193	42	69	108
Рух між зупинками	68	346	135	291	659	526	152	446	282
Сумарний рух	91	386	227	308	740	618	194	514	390

ЛІТЕРАТУРА

1. Bagchi M., White P.R. The potential of public transport smart card data. *Transport Policy* 12, 2005. P. 464–474.
2. Yao B., Hu P., Lu X., Gao J., Zhang M. Transit network design based on travel time reliability. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 43, 2004. P. 233–248.
3. Chien S.I.J., Ding Y., Wei C. Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks. *J. Transport. Eng.* 128, 2002. P. 429–438.
4. Zhu T., Ma F., Ma T., Li C. The prediction of bus arrival time using global positioning system data and dynamic traffic information. In: *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2011 4th Joint IFIP. IEEE*, 2011. P. 1–5.
5. Gurmu Z.K., Fan W.D. Artificial neural network travel time prediction model for buses using only gps data. *J. Public Transport.* 17, 2014. P.3.
6. Yang M., Chen C., Wang L., Yan X., Zhou L. Bus arrival time prediction using support vector machine with genetic algorithm. *Neural Network World* 26, 2016. 205 P.
7. Yu B., Yang Z.Z., Wang J. Bus travel-time prediction based on bus speed. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*. Thomas Telford Ltd., 2010. P. 3–7.
8. Bai C., Peng Z.R., Lu Q.C., Sun, J. Dynamic bus travel time prediction models on road with multiple bus routes. *Comput. intell. Neurosci.* 2015. P. 63.
9. Xu H., Ying J. Bus arrival time prediction with real-time and historic data. *Clust. Comput.* 20, 2017. P. 3099–3106.
10. Cathey F., Dailey D.J. A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 11, 2003. P. 241–264.
11. Zhou M., Wang D., Li Q., Yue Y., Tu W., Cao R. Impacts of weather on public transport ridership: Results from mining data from different sources. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 75, 2017. P. 17–29.
12. Cheng Z., Chow M.Y., Jung D., Jeon J. A big data based deep learning approach for vehicle speed prediction. In: *2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). IEEE*, 2017. P. 389–394.

13. Ma Z., Koutsopoulos H.N., Ferreira L., Mesbah M. Estimation of trip travel time distribution using a generalized markov chain approach. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 74, 2017. P. 1–21.
14. Kumar B.A., Vanajakshi L., Subramanian S. Pattern-based bus travel time prediction under heterogeneous traffic conditions. *Transportation Research Record*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 2013.
15. Kumar B.A., Vanajakshi L., Subramanian S.C. Bus travel time prediction using a time-space discretization approach. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 79, 2017. P. 308–332.
16. Shalaby, A., Farhan, A. Prediction model of bus arrival and departure times using avl and apc data. *J. Publ. Transport.* 7, 2004, P. 3.
17. Brakewood C., Macfarlane G.S., Watkins K. The impact of real-time information on bus ridership in new york city. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 53, 2015. P. 59–75.
18. Rahman M.M., Wirasinghe S., Kattan L. Analysis of bus travel time distributions for varying horizons and real-time applications. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 86, 2018. P. 453–466.

REFERENCES

1. Bagchi, M., White, P.R. (2005). *The potential of public transport smart card data*. *Transport Policy* 12, 464–474.
2. Yao, B., Hu, P., Lu, X., Gao, J., Zhang, M. (2014). *Transit network design based on travel time reliability*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 43, 233–248.
3. Chien, S.I.J., Ding, Y., Wei, C. (2002). *Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks*. *J. Transport. Eng.* 128, 429–438.
4. Zhu, T., Ma, F., Ma, T., Li, C. (2011). *The prediction of bus arrival time using global positioning system data and dynamic traffic information*. In: *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*, 2011 4th Joint IFIP. IEEE, pp. 1–5.
5. Gurmu, Z.K., Fan, W.D. (2014). *Artificial neural network travel time prediction model for buses using only gps data*. *J. Public Transport.* 17, 3.
6. Yang, M., Chen, C., Wang, L., Yan, X., Zhou, L. (2016). *Bus arrival time prediction using support vector machine with genetic algorithm*. *Neural Network World* 26, 205.
7. Yu, B., Yang, Z.Z., Wang, J. (2010). *Bus travel-time prediction based on bus speed*. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*. Thomas Telford Ltd., pp. 3–7.
8. Bai, C., Peng, Z.R., Lu, Q.C., Sun, J. (2015). *Dynamic bus travel time prediction models on road with multiple bus routes*. *Comput. intell. Neurosci.* 2015, 63.
9. Xu, H., Ying, J. (2017). *Bus arrival time prediction with real-time and historic data*. *Clust. Comput.* 20, 3099–3106.
10. Cathey, F., Dailey, D.J. (2003). *A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 11, 241–264.
11. Zhou, M., Wang, D., Li, Q., Yue, Y., Tu, W., Cao, R. (2017). *Impacts of weather on public transport ridership: Results from mining data from different sources*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 75, 17–29.
12. Cheng, Z., Chow, M.Y., Jung, D., Jeon, J. (2017). *A big data based deep learning approach for vehicle speed prediction*. In: *2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*. IEEE, pp. 389–394.
13. Ma, Z., Koutsopoulos, H.N., Ferreira, L., Mesbah, M. (2017). *Estimation of trip travel time distribution using a generalized markov chain approach*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 74, 1–21.
14. Kumar, B.A., Vanajakshi, L., Subramanian, S. (2013). *Pattern-based bus travel time prediction under heterogeneous traffic conditions*. *Transportation Research Record*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
15. Kumar, B.A., Vanajakshi, L., Subramanian, S.C. (2017). *Bus travel time prediction using a time-space discretization approach*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 79, 308–332.
16. Shalaby, A., Farhan, A. (2004). *Prediction model of bus arrival and departure times using avl and apc data*. *J. Publ. Transport.* 7, 3.
17. Brakewood, C., Macfarlane, G.S., Watkins, K. (2015). *The impact of real-time information on bus ridership in new york city*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 53, 59–75.
18. Rahman, M.M., Wirasinghe, S., Kattan, L. (2018). *Analysis of bus travel time distributions for varying horizons and real-time applications*. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 86, 453–466.

*Николай Жук, к.т.н.
(доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет
«Львівська політехніка»)
Владимир Ковалишин, к.т.н.
(доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет
«Львівська політехніка»)*

АНАЛИЗ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА (НА ПРИМЕРЕ г. ЛЬВОВ)

Обеспечение точной информации о продолжительности движения общественного транспорта и времени прибытия автобусов позволяет уменьшить продолжительность ожидания пассажиров и привлечь больше людей к пользованию общественным транспортом. Авторами предложен новый сегментный подход для прогнозирования времени поездки общественным транспортом. Используются реальные данные движения автобусов, которые определены в различных сегментах автобусных маршрутов.

***Ключевые слова:** общественный транспорт, продолжительность движения, движение между остановками, продолжительность остановки.*

***Mykola Zhuk, Ph.D. in Technical Sciences, (Associate Professor of Transport technologies Department, Lviv Polytechnic National University)
Volodymyr Kovalyshyn, Ph.D. in Technical Sciences, (Associate Professor of Transport technologies Department, Lviv Polytechnic National University)***

ANALYSIS OF PUBLIC TRANSPORT TRAVEL TIME (ON THE EXAMPLE of LVIV)

An important aspect of Intelligent Transport Systems (ITS) is the provision of accurate information on the duration of public transport. By knowing the time of arrival of shuttle vehicles, it is possible to reduce the waiting time for passengers and to attract more people to use public transport. Existing approaches have two major limitations in the field of bus travel forecasting. The first is the large number of factors affecting traffic and the limited amount of real-time travel time data in modern cities make it difficult to accurately predict travel time. The second is mainly the transit time, under the influence of various factors, has different patterns. However, little research has focused on how to divide different routes and build independent models for them. The authors propose a new segmental approach to predicting travel time for public transport, using a model of real bus traffic data that is defined in different segments of bus routes. The authors evaluated the approach using real trajectories collected in Lviv during April 2019. Compared with existing methods, the experimental results show that this approach improves the accuracy of predicting of bus travel time, especially in the case of uneven vehicle flow.

***Keywords:** public transport, movement time, transit time, dwelling time.*

УДК 656.2:681.51:007.51

Valerii Samsonkin, Doctor of science, Professor
(Professor the department of transport technology and process control traffic State University of Infrastructure and Technology)
Oleksii Goretskyi, PhD (Historical Sciences), Associate Professor
(docent the department of transport technology and process control traffic State University of Infrastructure and Technology)
Rozalia Shcherbyna PhD, Associate Professor
(Department of transport technology and process control traffic State University of Infrastructure and Technology)
Zynaida Mazurenko
(Leading specialist)
Department of Locomotivs State Administration of Railway Transport of Ukraine "Ukrzaliznytsia"

ENSURING SELF-ORGANIZATION OF SOCIO-ECONOMIC ACTIVITY OF RAILWAY TRANSPORT WITH THE STAFF: ORGANIZATIONAL CULTURE

The problems of professional-technological decline are described in the management of Ukrzaliznytsia JSC. There is a lack of a strategic and systematic approach to the formation senior management employees of railway enterprises. A technique is proposed for determining the labor potential of an organization over time. Universal criteria for the growth of labor potential are developed.

Keywords: *organizational culture, railway transport reform, Ukrzaliznytsia, labor potential, competence*

Introduction

The last period of activity of JSC "UR" vividly confirmed the paramount importance of staff in a large transport company. The process of reforming the consolidation of railways from state to joint-stock ownership is accompanied by such dangerous processes as the lack of a strategic vision, the creation of several new functional departments and organizational areas, the decline in traffic, the catastrophic aging of rolling stock, the lack of significant anti-corruption activities (judging by the statements of the Cabinet of Ministers of Ukraine).

According to experts, one can add such a factor as a drop in the professional-technological orientation in the management of JSC "UR". At first glance, this natural process makes it impossible to formulate requirements for updating technical means and technological schemes, especially in the areas of their integral use, for example, in the field of digitalization.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-12

These shortcomings do not arise today and not by chance. This is a process of many years of lack of a strategic vision of the problem of the development of company staff. These are outdated approaches to the formation of senior management, management of the selection and career planning of senior and middle managers, neglect of quality training.

Attention should be paid to another very serious drawback of the company's staff – the lack of a sense of systemic railway transport. As a result, the staff considers it its duty to defend the interests of its industry (locomotive or wagon economy) contrary to the interests of others and the railway transport as a whole. The industry principle of existence is becoming a very big problem in the functioning of system-wide information technologies, for example. When the failure of one firm does not bother another at all. Another danger of inconsistency is not perception or rejection of development directions, if they do not concern “my economy”.

Analysis of recent research and problem statement

Self-organization of the enterprise has always been given a lot of attention. Quite often there is an opinion that workers can't organize themselves and show good results. What are the main concerns of company executives? For railway transport, such reasons may be: the operation of the transport is related to traffic safety, all operations are subject to constant and careful monitoring, or no errors can be made in the operation. And most importantly, without control and leadership, it is not known who to bring to justice.

The papers [1 – 2] examine the issues of self-organization of adaptive organizational systems under the influence of external factors. Self-organization is an important factor in the processes of quality management systems. It is quality that affects the performance of the enterprise. Self-organization enables the process to improve the structure and introduce technology depending on the environment. This is very important in today's fast-paced world, where speed reaches high levels of logistic approaches to organizing transportation.

The work [3] explores the correlation between the development of human capital and innovation. The authors conclude that the development of human capital, healthcare management, the infrastructure of formal institutions, the infrastructure of informal institutions and knowledge (education), as well as the development of management, have a significant impact on innovation.

The paper [4] is devoted to the issues of the formation of human capital as a component of organizational culture. The article considers in detail the problem of the formation of human capital as a resource of innovation for the functioning of the economy. The functioning of a modern economy is impossible without innovation. Therefore, investing in education and science is a must for both employers and the state.

In modern conditions of the digital economy, new demands are placed on the workforce. At the same time, the problem of replacing a person with digital means appears [5]. In addition, there is a “digital gap” between employee level and digital media. Without the interaction and support of state bodies, without proper motivation, it is impossible to influence human behavior in modern economic conditions. The motivation effect can be used cumulative or cumulative.

The article [6] addresses the issue of effective human resource management in the implementation of IT technologies, and affects the growth potential of labor productivity. There is a hypothesis that the strengthening of the use of IT technologies for analyzing data within the company and making managerial decisions will lead to the inclusion in these processes of all the necessary data not only about human resources, but also about people directly or indirectly associated with the company.

In the period of globalization in business, the question of trust and virtue is an acute issue. An example of the banking sector in [7] shows the influence of the working environment on the development of moral and ethical standards of staff. Awareness of an employee by professional identity as a bank employee weakens the business culture and undermines integrity. Therefore, the adoption of measures to restore an honest culture is very important. Honesty in working relationships is very important for an industry such as rail. This is due to the close cooperation of all parts of the transportation process.

In [8], attention is paid to two assumptions in the system of organizational culture. The first assumption is that senior management is the main determinant of culture. Second, culture is linked to the consequences of organizational outcomes. The results are mixed. On the one hand, a significant influence of the leader on culture is observed. On the other hand, an assumption is made that the choice of a leader is a consequence of the culture of the organization itself, especially with generally accepted components.

Deepening the issue of the impact of senior management on organizational and work culture is reflected in [9]. Key points: there is a direct relationship between specific indicators of the company and the change of manager; organizational corporate culture affects the likelihood of a change of leader; corporate culture also affects the type of succession (insider versus outsider). For railway transport, the characteristic features given above, but the main research criterion is clear and specific performance indicators. For a long time, the change of leadership in the system of JSC «UR» occurs according to clearly indefinite indicators. This has a negative effect on the self-organization of the company.

The authors set a goal to show the relationship between organizational culture, staff self-organization, motivation and competencies of railway workers, as well as provide suggestions for increasing productivity and improving the functioning of JSC «UR».

The main research materials

In modern conditions, the internationalization of the production and circulation of goods is intensifying before our eyes. World-wide synthesis covers not only all countries of the world, but also individual sectors of the economy. In these contradictory conditions, the transport industry determines the competitiveness of the Ukrainian economy, acts as a structure-forming production.

As a result of globalization, the geography of transport and economic relations has changed both in individual regions and in the world as a whole. In addition, the interaction of various modes of transport from simple competition to cooperation. Therefore, it is possible to talk about the presence of two trends in the interaction of individual modes of transport: competition and mutually beneficial cooperation.

Functional harmony is a mutually beneficial cooperation observed in the highly developed states of Western Europe, Southeast Asia, Japan, China and the United States. This is due above all to the start of the digital age. There are mechanisms to centrally ensure customer needs using digital technology. Therefore, a new era of scientific and technological progress – 4.0 – is the most “made friends” with various types of transport by supply chains. This applies to both passenger transport and freight. Now they say that civilization will lead from the concepts of railway, sea, aviation modes of transport to the concept of transport in general.

Increased competition can be seen in developing countries. As a result, the share in the global freight turnover of railway transport decreased. Changing the nature of cargo flows, switching them to alternative modes of transport (water, road) creates additional tension in the competition of railway transport in the market of transport services. Traditional approaches to solving this problem due to cost reduction, reaching new sales

levels, and seeking investment are becoming few. It is still necessary to effectively use labor potential.

Of course, important factors in increasing the labor potential of the railway industry in Ukraine are public health and the availability of medical care, the level of development of scientific and technological progress, the availability of education, demand on the labor market and the like.

Of all these areas of impact on labor potential, the authors of the article especially want to focus on the influence of organizational culture.

Organization management is carried out by people, and both the subject and the object of management is, ultimately, a person. It is possible to talk about production management, quality management, cost management, but in the end let's still come to a specific person who works on the machine, and understanding, attitude to work depends on the result of the management.

It is also important that culture is a purely human category, and organizational culture is formed in the minds of a person – staff of the company and it is its carrier and distributor. Therefore, the influence of organizational culture is directly directed at the person and through it already on the production process, product quality, etc. A person for an organization is a labor resource, and one that has a high development potential (due to retraining, advanced training, rotation), in comparison with equipment, technology, etc., the constant updating of which is impossible. In modern conditions of rapid scientific and technological progress, limited external resources, the ability for a company to develop using its internal potential is one of the most important factors in successful competition. Obviously, one of the main elements of the internal potential of any company is its labor potential.

In general, organizational culture has a multi-purpose orientation: it establishes and strengthens the relationship, interaction between employees of the organization and departments; forms a favorable psychological climate in the organization; provides valuable guidelines for the activities of employees (for example, actions and actions are allowed in the organization, and which are unacceptable), etc.

However, the main goal of organizational culture is ensuring self-organization of the socio-economic system with the help of staff.

Achieving the main goal of organizational culture is possible through increasing the labor potential of the organization.

The labor potential includes the following components: health, morality and teamwork, creativity, activity, organization, education, professionalism, working time resources [12], as well as professional culture.

Professional culture is a function of the competence of the staff and its work ethic, principles, values, that is:

$$\text{Professional culture} = f_{unc} (\text{competency, work ethic})$$

Competence is a rational combination of abilities, personal qualities and motivation of company staff, considered in the time interval. *Work ethics* is a specific set of rules and standards of behavior of an individual at work, its attitude to work and the result of its work.

Creative activity is a special category of staff activity; it is not only real activity in the development of new products, technologies, scientific research, etc. Any employee can carry out creative activity if he has the ability to complicity, empathize with the results and work process of scientists and researchers of the company.

Empathizing, it contributes to the creative process, because it affects the final result, and thus becomes an accomplice in the creative process.

Motivation is the impact on human behavior to achieve personal, group or social goals. Motivation is *internal* – the content and significance of the work performed, compliance with beliefs and moral standards, and *external*. External motivation (incentive) can be administrative (performing work by order, coercion), and economic (wages, dividends, providing free travel, etc.) [13 – 14].

Labor potential can be defined as the limit value of the totality of professional, personal characteristics, creative abilities, employee motivation and its ability to develop at a given time. Labor potential is essentially the difference between the maximum possible return of an employee under very favorable conditions and return at a given level of competence at a given time.

It is important that the labor potential is a vector quantity, that is, the low value of one component can't be offset by the high value of the other. The vector of labor potential can change direction (i.e., the nature of development – increase or decrease), the form of development (rectilinearly, exponentially, in the form of a sinusoid, etc.). The task of organizational culture is to set the right direction and nature of the development of labor potential for a given organization. Over time, the competence of an employee increases under the condition of continuous training, professional skills, knowledge, education, and work experience. However, if the employee does not improve and does not support the components of competence, it begins to fall.

The vector of labor potential in each period of time depends on the level of competence: competence is growing, and labor potential is growing. At the same time, labor potential is still of utmost importance – the maximum that every employee can give is due to its abilities, character, age, etc. The higher the level of competence, the higher the value of labor potential.

The influence of organizational culture on competency is presented in Fig. 1

Labor potential of the organization can be defined as the weighted sum of the components of the potential, that is:

$$LP = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 - a_5x_5 - a_6x_6 - a_7x_7 \pm \sum_{j=8}^N a_j x_j \quad (1)$$

where LP – the value of labor potential;

a_i ($i=1,2,...,N$) – the weight of each component of the labor potential, and

$\sum_{i=1}^N a_i = 1$;

x_1 – the number of workers with higher education (or a certain qualification for workers) for the billing period

x_2 – the number of rationalization proposals made for the billing period;

x_3 – the number of patents, inventions;

x_4 – average wages (income) of employees for the billing period (by category);

x_5 – the number of production conflicts for the billing period;

x_6 – the number of work-related injuries during the billing period;

x_7 – the average age of employees;

x_i – other components of the labor potential (depending on the specifics of each particular organization for which the labor potential is determined).

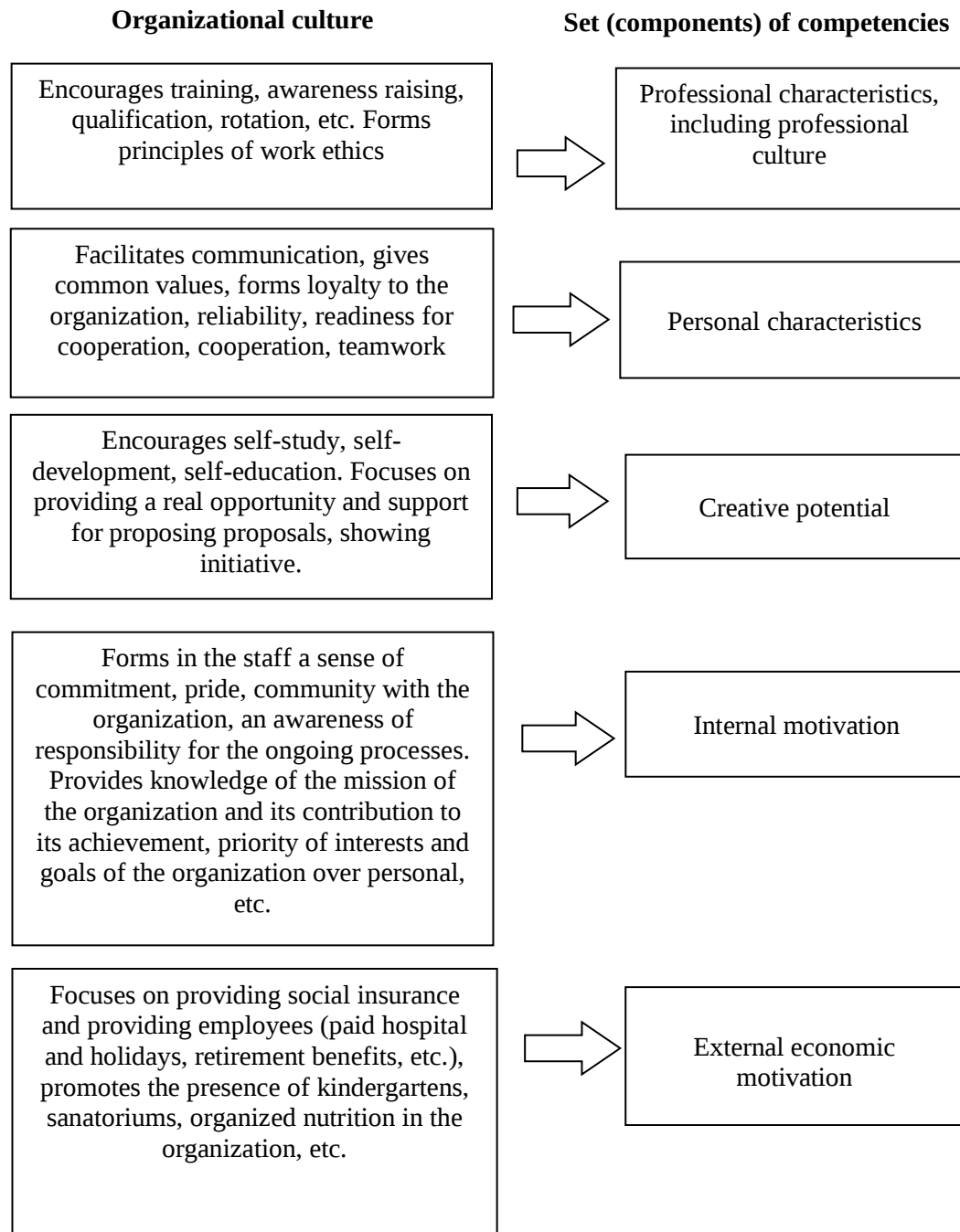


Fig. 1. The impact of organizational culture on competency

The calculation of the value of labor potential is carried out for a certain period.

The weight of each component of the labor potential is estimated by experts (for example, from a survey of department heads, employees, unauthorized persons). Weight

is determined by the number of people who named this indicator among the most important (share in the total volume of respondents).

This calculation method allows to evaluate the change in the labor potential of this organization over time (after re-calculation after six months, a year, etc.). If it is possible to obtain information about other organizations, then one can compare the value of the labor potential of several firms [15].

Labor potential is a vector quantity, that is, labor potential has a development direction. Its direction is set by the organizational culture: if it contributes to the growth of enlightenment, staff qualifications, creative approach, then the labor potential will increase, otherwise the labor potential will decrease.

The components of labor potential given in formula (1) are scalar quantities. In this case, the algebraic values of the components are taken for calculation, they do not have a unit of measurement. That is, as a result of calculating the labor potential by the formula (1), let's obtain a scalar quantity.

Moreover, if the organization has a high level of average wages with a high level of work-related injuries and conflicts, the value of labor potential may be higher than in an organization with lower wages, but also with fewer negative factors. Weighing each component of the labor potential makes it possible to level such a discrepancy.

Imagine the labor potential in the form of a vector.

Each component of labor potential has an algebraic meaning. Let's suppose that those components that contribute to the development of labor potential are positive, and those that impede development are negative. The algebraic meaning of the components is the length of the vector.

Let's denote the arrows of the components of labor potential, and determine its length:

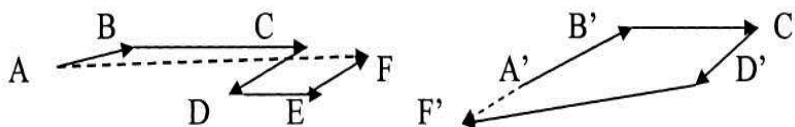


Fig. 2. Determination of the vector of labor potential

Vectors AB, BC, CD, DE, EF are the components of labor potential, the length of the arrow corresponds to the algebraic value of the component in the accepted unit of measurement;

AF vector by the rule of addition of vectors is the sum of components, that is, the vector of labor potential.

In Fig. 2, if there are more factors of negative influence, or they are of high importance, then the vector of labor potential will have a negative orientation.

So, organizational culture determines the direction of the vector of labor potential, and also has a significant impact on all its components.

The increase in labor potential leads to the growth (development) of competence and work ethic of staff. Ultimately, this means an organization's profit growth.

Criteria for the growth of labor potential, and therefore the achievements of the main goal of organizational culture are:

1. Increasing the number of studies, rationalization proposals, developments carried out by the organization's employees, as well as the number of patents, licenses, copyrights, etc. organization.

2. Growth of labor productivity.

3. Increasing the number of specialists with higher education (or specialists who have undergone retraining, training).

4. Growth in employee income.

These criteria are universal and suitable for most enterprises. They can easily be calculated, since the information necessary for calculations is available in any organization. However, in some cases, their qualitative and quantitative refinement may be necessary taking into account the specifics of the company and its fields of activity. It should be noted that these criteria indicate the achievement of the main goal of organizational culture with a certain degree of conventionality, since it is impossible to categorically state that, for example, an increase in labor productivity leads to an increase in organizational culture as a whole. It is important that all the criteria considered should be taken into account in a complex.

Results and conclusions

1. After analyzing the activities of JSC "UR" according to the above criteria, it is possible to conclude that the growth of labor productivity does not match the rate of change of the wage fund. Thus, specific measures to improve labor potential are actively used.

2. For the effective use of the labor potential of the industry, it is necessary to implement measures that will be aimed at increasing the labor potential of an individual employee; as a result of their combinations it will achieve maximum results for the whole enterprise. It is necessary to introduce other criteria for encouraging staff to self-education, self-development, self-education in existing forms in JSC «UR».

3. It is necessary to develop and differentiate the advanced training in the direction of creating a corporate university. The corporate university at the first stage is engaged in the preparation of a system level: a reserve of top-management and auditors for traffic safety. At the second stage – presentation of the goals and objectives of the company for senior management of senior and middle management system of JSC «UR».

4. It is necessary to develop a mechanism and content formation for the employee to have a sense of ownership, pride, loyalty, focus on achieving the general goal of the company under the leadership of the department of development and training of staff of JSC «UR». Refresher courses and seminars/conferences of sharing experience can be used as the forms.

5. It is necessary to begin the formation of the necessary qualities from the moment of study in the field of knowledge 27, and especially for specialties 275. This can be done in the framework of individual special disciplines according to a special distribution plan, or by restoring the discipline «Corporate Culture of Railway Transport». It is such education that becomes the most important factor in attracting the highest quality workforce, maintaining valuable staff, and developing the staff of organizations in the context of production renewal and rapid changes in the environment.

6. Motivation directly affects the state of the labor potential of the enterprise, and therefore, the competitiveness of the enterprise in market conditions.

REFERENCES

1. Birdsey L., Szabo C., Falkner K. (2017) *Identifying Self-Organization and Adaptability in Complex Adaptive Systems*. 11th International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems, 131 – 140 [in English].
2. Gazizulina A., Eskina E., Vasilieva I., Valeeva O. (2017) *The Reasons for the Increase in Self-Organization in Companies*. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 24 (06), 1740002 [in English].
3. Mohammad Reza Goodarzi, Anahita Goodarzi, Effat Goodarzi (2016) *The Role of Human Capital Development and Innovation in Healthcare organizations of Markazi Province in Iran*. Journal of Health Management & Informatics, 3 (1), 20 – 25 [in English].
4. Cherkesova E., Breusova E., Savchishkina E., Demidova N. (2017) *Competitiveness of the Human Capital as Strategic Resource of Innovational Economy Functioning*. Journal Of Advanced Research In Law And Economics, 7 (7), 1662 – 1667 [in English].
5. Zakharov A., Kozlov V., Shamin A., Sysoeva Y. (2019) *The Impact of Motivation on Labor Resources Reproduction*. International Conference on Integrated Science (ICIS 2019). Integrated Science in Digital Age, 3 – 10 [in English].
6. Malyshev D. (2019) *IT Technologies and Automation as Factors in Increasing*. Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software. Intelligent Systems Applications in Software Engineering, 333 – 340 [in English].
7. Cohn Alain, Fehr Ernst, Maréchal Michel André (2014) *Business culture and dishonesty in the banking industry*. Nature, 516, 86 – 89 [in English].
8. O'Reilly III Charles A., Caldwell David F., Chatman Jennifer A., Doerr Bernadette (2014) *The Promise and Problems of Organizational Culture: CEO Personality, Culture, and Firm Performance*. Group & Organization Management, 39 (6), 595 – 625 [in English].
9. Fiordelisi Franco, Ricci Ornella (2014) *Corporate culture and CEO turnover*. Journal of Corporate Finance, 28, 66 – 82 [in English].
10. Biggs Amanda, Brough Paula, Barbour Jennifer P. (2014) *Relationships of individual and organizational support with engagement: Examining various types of causality in a three-wave study*. Work & Stress, 28:3, 236 – 254 [in English].
11. Naranjo-Valencia Julia C., Jiménez-Jiménez Daniel, Sanz-Valle Raquel (2016) *Studying the links between organizational culture, innovation, and performance in Spanish companies*. Revista Latinoamericana de Psicología, 48 (1), 30 – 41 [in English].
12. Tihomirova O.G. (2008) *Organizatsionnaya kultura: formirovanie, razvitie i otsenka: Uchebnoe posobie [Organizational culture: formation, development and evaluation: Textbook]*. SPetersburg: SPbSU ITMO [in Russian].
13. Kibanov A.Ya. (2008) *Upravlenie personalom organizacii: Uchebnik*. Moscow, INFRA-M [in Russian].
14. Vasyuhin O.V., Pavlova E.A. (2013) *Osnovy motivacii innovacionnoj deyatel'nosti promyshlennogo predpriyatiya [Fundamentals of motivation for innovative activity of an industrial enterprise] Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education], 4. [in Russian] <https://www.science-education.ru/pdf/2013/4/9.pdf>*.
15. Gari Dessler (2004) *Upravlenie personalom [Personnel Management]*. Moscow, Litres [in Russian].

ЛІТЕРАТУРА

1. Birdsey L., Szabo C., Falkner K. Identifying Self-Organization and Adaptability in Complex Adaptive Systems // 11th International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems, 2017, pp. 131 – 140. doi: 10.1109/SASO.2017.22
2. Gazizulina A., Eskina E., Vasilieva I., Valeeva O. The Reasons for the Increase in Self-Organization in Companies // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering. 2017. № 24 (06). P. 1740002
3. Reza Goodarzi M., Goodarzi A., Goodarzi E. The Role of Human Capital Development and Innovation in Healthcare organizations of Markazi Province in Iran // Journal of Health Management & Informatics, 2016. № 3 (1). P. 20 – 25
4. Cherkesova E., Breusova E., Savchishkina E., Demidova N. Competitiveness of the Human Capital as Strategic Resource of Innovational Economy Functioning // Journal Of Advanced Research In Law And Economics, 2017. № 7 (7), P. 1662 – 1667.

5. Zakharov A., Kozlov V., Shamin A., Sysoeva Y. The Impact of Motivation on Labor Resources Reproduction // International Conference on Integrated Science (ICIS 2019). Integrated Science in Digital Age, 2019. P. 3 – 10.
6. Malyshev D. IT Technologies and Automation as Factors in Increasing // Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software. Intelligent Systems Applications in Software Engineering, 2019. P. 333 – 340.
7. Cohn A., Fehr E., Maréchal M.A. Business culture and dishonesty in the banking industry // Nature, 2014. № 516. P. 86 – 89.
8. O'Reilly III C. A., Caldwell D. F., Chatman J. A., Doerr B. The Promise and Problems of Organizational Culture: CEO Personality, Culture, and Firm Performance // Group & Organization Management, 2014. №: 39 (6), P. 595 – 625.
9. Fiordelisi F., Ricci O. Corporate culture and CEO turnover // Journal of Corporate Finance, 2014. № 28. P. 66 – 82
10. Biggs A., Brough P., Barbour J.P. Relationships of individual and organizational support with engagement: Examining various types of causality in a three-wave study // Work & Stress, 2014. № 28 (3). P. 236 – 254.
11. Naranjo-Valencia J. C., Jiménez-Jiménez D., Sanz-Valle R. Studying the links between organizational culture, innovation, and performance in Spanish companies // Revista Latinoamericana de Psicología, 2016. № 48 (1). P. 30 – 41.
12. Тихомирова О.Г. Организационная культура: формирование, развитие и оценка: Учебное пособие. Санкт Петербург: СПбГУИТМО, 2008. 156 с.
13. Кибанов А.Я. Управление персоналом организации: Учебник. Москва: ИНФРА-М, 2008. 638 с.
14. Васюхин О.В., Павлова Е.А. Основы мотивации инновационной деятельности промышленного предприятия // Современные проблемы науки и образования. Москва, 2013. Вип. 4. Режим доступу <https://www.science-education.ru/pdf/2013/4/9.pdf>
15. Десслер Гари. Управление персоналом. Москва: Литрес, 2004. 802 с.

Самсонкин В.Н., д.т.н., профессор
(профессор кафедры технологий транспорта и управления процессами перевозок Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Горецкий А.А., к.и.н., доцент
(доцент кафедры технологий транспорта и управления процессами перевозок Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Щербина Р.С., к.т.н., доцент
(доцент кафедры технологий транспорта и управления процессами перевозок Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Мазуренко З.П.
(главный специалист департамента локомотивного хозяйства АО «Укрзализниця»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ПЕРСОНАЛА: ОРГАНИЗАЦИОННАЯ КУЛЬТУРА

Описывается проблематика профессионально технологической направленности в руководстве ПАТ «Укрзализниця». Обращается внимание на отсутствие стратегического и системного подхода к формированию как руководящего состава, так и к работникам среднего звена железнодорожных предприятий. Предложена методика определения трудового потенциала организации во времени. Разработаны универсальные критерии роста трудового потенциала.

Ключевые слова: организационная культура, реформирование железнодорожного транспорта Украины, Укрзализниця, трудовой потенциал, компетенция

*Самсонкін В.М., д.т.н., професор
(професор кафедри технологій транспорту та управління процесами
перевезень Державного університету інфраструктури та технологій)
Горецький О.А., к.і.н., доцент
(доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами
перевезень Державного університету інфраструктури та технологій)
Щербина Р.С., к.т.н., доцент
(доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами
перевезень Державного університету інфраструктури та технологій)
Мазуренко З.П.
(головний фахівець департаменту локомотивного господарства АТ
«Українська залізниця»)*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САМООРГАНІЗАЦІЇ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ
ДІЯЛЬНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ
ПЕРСОНАЛУ: ОРГАНІЗАЦІЙНА КУЛЬТУРА**

Останній період діяльності АТ «Українська залізниця» виявив відсутність стратегічного та системного підходу до формування керівного складу. Підвищення напруги в конкурентній боротьбі на ринку транспортних послуг вимагає ефективно використовувати трудовий потенціал. Особлива увага авторами статті зосереджена на чиннику зростання трудового потенціалу через організаційну культуру. Наголошується, що вплив організаційної культури безпосередньо спрямований на людину, а через неї на виробничий процес. Трудовий потенціал розглядається як сукупність професійних, особистих характеристик, мотивації працівника тощо на певний момент часу. Трудовий потенціал є величиною векторною, завданням організаційної культури є задати вірний напрямок розвитку і характеру трудового потенціалу транспортної організації. Авторами запропоновано методика розрахунку трудового потенціалу організації в часі, який може бути виконаний повторно, що дає змогу порівняти результати, в тому числі по декількох організаціях. Запропоновано універсальні критерії росту трудового потенціалу. Вони легко можуть бути розраховані, так як базуються на доступній інформації. Дана методика є універсальною та може використовуватися для будь якої організації.

Ключові слова: організаційна культура, реформування залізничного транспорту України, Укрзалізниця, трудовий потенціал, компетенція

УДК 656.13

Тарас Постранський, к.т.н.

(асистент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка»)

Максим Афонін

(асистент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка»)

ЗМІНА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ЙОГО РОБОТИ

Належне функціонування системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» є одним з ключових завдань сучасності щодо створення належного рівня безпеки дорожнього руху. Враховуючи особливості кожної з цих ланок, можна зробити висновок, що саме підсистема «водій» є найменш передбачуваною та вивченою. Від його дій та функціонального стану залежить функціонування системи в цілому.

Ключові слова: водій, функціональний стан, умови роботи, індекс напруження.

Вступ. З кожним роком автомобільний транспорт набуває все більш масового розповсюдження. Про це свідчить стрімкий ріст рівня автомобілізації. У свою чергу, як наслідок, зростають показники інтенсивностей руху транспортних потоків на вулично-дорожніх мережах населених пунктів та за їх межами. Відомо, що водій відіграє важливу роль у забезпеченні належного функціонування системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» (ВАДС). Результат його дій впливає на ймовірність безаварійного керування транспортним засобом та безпеку руху всіх учасників цього процесу. Відповідно до статистики дорожньо-транспортних пригод (ДТП), більшість з них трапляється саме з вини водія та пішохода. Це в котрий раз підтверджує вагомість чинника людини у забезпеченні надійності транспортного процесу. Відповідно до цього виникає потреба щодо дослідження функціонального стану (ФС) водія.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Функціональний стан людини – це показник, що відображає життєдіяльність систем організму, його реакцію на фізичне та емоційне навантаження, дає оцінку рівня адаптації до навколишнього середовища тощо. Що стосується водія, то з використанням цього показника, визначають рівень його готовності до виконання різних поставлених перед ним завдань. Ще одна з особливостей цього показника, є здатність проведення аналізу енергетичних затрат людини та визначення ймовірності досягнення поставлених цілей [1, 2].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-13

Що стосується чинників, що впливають на ФС водія, то під час керування автомобілем у різних умовах руху, вони можуть змінюватися. При цьому, одним з найбільш вагомих чинників є потік інформації, що надходить до водія та процес його опрацювання. Враховуючи сучасний рівень розвитку технологій, існує значна кількість засобів, які допомагають операторам отримувати та опрацьовувати інформацію. Аналогічна ситуація й в автомобільній галузі. Проте значний рівень інформаційного забезпечення (як ззовні автомобіля, так із середини) і надалі впливає на водія, його психофізіологічні показники та ФС. Надмірний такий вплив може призвести до погіршення його психоемоційного стану та зростання ймовірності скоєння ДТП [3].

Проведені дослідження, зокрема опитуванням водіїв про зовнішні та внутрішні чинники, що здійснюють вплив на їх сприйняття та можуть призвести до виникнення аварійної ситуації, свідчать про такі статистичні дані [4]:

- рекламна інформація;
- стільниковий телефон;
- пішоходи, які перебувають неподалік від проїжджої частини;
- специфічна поведінка інших транспортних засобів;
- неадекватна поведінка пішоходів, що перетинають проїжджу частину;
- природні феномени.

Що стосується потоків інформації, то різні вчені виділяли різні їх класифікації та джерела. Зокрема опрацювавши відповідну літературу встановлено найбільш вагомі потоки інформації [4 – 6]. При цьому, всі джерела надходження інформації можна розділити на такі п'ять пунктів, зокрема: транспортний потік, траса дороги, дорожня обстановка, транспортний засіб та додаткові джерела. Слід зазначити, що кожен з цих пунктів має свої показники, якими можна аналізувати їх особливість. Також слід зазначити, що додаткові джерела інформації виникають на основі результатів діяльності водія та відображають собою тривалість відволікання від виконання основної діяльності [3].

При цьому виділяють різного роду чинники, що можуть знижувати надійність роботи водія як у процесі керування автомобілем, так і безпосередньо перед цим. Більшість з них можна виділити у такому переліку [7]: шкідливі звички, лікарські засоби, недостатній відпочинок, емоційне напруження, не якісне харчування, низька мотивація, значна втома, зміна графіка роботи, кліматичні чинники, хворобливий стан тощо.

При цьому всьому, ФС водія відіграє важливу роль у забезпеченні надійності роботи системи ВАДС. Саме, від цього показника у значній мірі залежить і безпека руху. Так, дослідження проведені Н.У. Гюльєвим, свідчать про те, що ФС водія впливає на тривалість його реакції. При цьому, від проводив дослідження у зв'язаному транспортному потоці, в якому проявлявся передзаторовий стан. У таких умовах водій змушений постійно здійснювати операції щодо зниження та підвищення швидкості руху (гальмування та розгону). Тривалий вплив таких умов на його організм призводить до зниження ефективності його діяльності [8].

Інші дослідження зміни ФС та його впливу на час реакції водія проведені Ковалишиним В.В. Результати відображено у роботі [9]. Ним встановлено, що водій неоднозначно реагує на різні сигнали при різному стані його організму. Так, при появі відчуття втоми, змінюється його реакція на різного роду подразники в часі. Також цим автором в котрий раз підтверджено вагомість врахування психофізіологічних особливостей під час проведення транспортних досліджень.

Також дослідження пов'язані з часом реакції водія провів Бойків М.В. У цьому випадку враховувалося таке [2]:

- ФС водія та динаміка його зміни;
- умови руху;
- період доби;
- тривалість засліплення водія.

У науковій роботі Савченко О. С. [10] теоретично обґрунтовано важливість врахування психофізіологічних якостей людини та їх вплив на надійність роботи майбутніх водіїв. Зокрема для підвищення рівня психофізіологічної надійності він рекомендує таке:

- необхідно використовувати психофізіологічну підготовку у системі підготовки водіїв та фахівців з безпеки руху;
- створити різного роду тренінги для підвищення рівня показників уваги;
- чітко встановити та унормувати критерії професійної придатності та проведення відбору;
- створити рекомендації спрямовані на підвищення безпеки руху та з урахуванням психофізіологічних показників;
- розробити засоби тестування та оцінки значимості психофізіологічних компонентів.

Вище перелічене свідчить про необхідність врахування ФС водіїв під час розробки заходів щодо підвищити надійність роботи системи ВАДС та безпеку руху в цілому.

Мета і завдання дослідження. У роботі поставлено таку мету, зокрема виявлення закономірностей зміни функціонального стану водія автобуса залежно від умов його роботи. Відповідно до цього, визначено такі основні завдання:

- проаналізувати методи дослідження ФС водія та обрати той, який може не створювати додаткового впливу на водія;
- провести натурні дослідження ФС водія на маршрутах громадського транспорту в населеному пункті та за його межами;
- опрацювати результати натурних досліджень;
- виявити закономірності зміни ФС водіїв як працюють у різних умовах руху.

Матеріали та методи дослідження. На сьогодні для визначення ФС людини використовують зазвичай методи аналізу таких записів [1, 11 – 13]:

- електроенцефалограми;
- показників шкіро-гальванічної реакції;
- електроокулограми;
- електрокардіограми (ЕКГ).

Електрокардіограма – графічний запис змін електричних потенціалів, які виникають у наслідок збудження серцевого м'яза [13]. Під час транспортних досліджень аналіз ЕКГ дає можливість оцінити емоційний стан людини під час фізичних та розумових навантажень. Це один з методів, який найчастіше використовується для дослідження ФС водія [2, 8].

Основою цього методу дослідження є аналіз роботи серцево-судинної системи людини та її показників. Одним з найважливіших, при цьому, є варіабельність серцевого ритму (ВСР). Що стосується більш детального аналізу запису ЕКГ та визначення ФС водія, то для цього використовують дані ВСР, зокрема проводять його спектральний аналіз та розраховують такі показники [14]:

- математичне очікування – показник, який відображає кінцевий результат впливу на організм (позначається M або rNN);
- середньоквадратичне відхилення – один з основних показників ВСР, який характеризує стан механізмів регуляції (позначається δ , $SDNN$);
- мода – показник, який відображає кількість R-R інтервалів, які найчастіше зустрічаються (позначається Mo);
- варіаційний розмах – відображає різницю між найбільшим та найменшим значенням R-R інтервалів (позначається BP , dX);
- амплітуда моди – відображає частку кардіоінтервалів, які відповідають значенню моди (позначається AMo);
- коефіцієнт варіації – нормалізована оцінка середньоквадратичного відхилення (позначається CV);
- спектральна потужність в діапазоні дуже низьких частот (позначається VLF);
- спектральна потужність в діапазоні низьких частот (позначається LF);
- спектральна потужність в діапазоні високих частот (позначається HF).

На основі даних ВСР для визначення ФС водіїв часто розраховують значення індексу напруження (IH) [14]:

$$IH = \frac{AMo}{(2dX \cdot Mo)}. \quad (1)$$

Цей показник відображає напруження досліджуваної особи в залежності від тих умов, в яких вона перебувала, або перебуває. У спокійному стані він коливається в межах 80-150 у.о. [14]

Для визначення показників ФС водія, зокрема IH , необхідні використовувати технічні засоби, які надають інформацію про початкові значення показників ВСР, які відображені у формулі (1). Прилади які дозволяють отримувати такі значення, зазвичай відносяться до Холтерівських систем моніторингу. Ця методика полягає в тривалій реєстрації показників ЕКГ та відсутності необхідності перебування у лабораторних умовах (лікарні, клініці тощо) [2].

Враховуючи те, що транспортні дослідження проводяться не у медичних цілях, а лише для визначення функціонального стану та динаміки його зміни, достатньо використовувати і прилад Холтерівського моніторингу з 5-ма відведеннями. Що стосується приладів для здійснення реєстрації ЕКГ водіїв, то у цьому випадку часто застосовують прилад CardioSens. Він дозволяє здійснювати запис без використання портативного комп'ютера та є повністю автономним. При цьому, запис проводиться на флеш-накопичувач, а живлення здійснюється від акумуляторної батареї типу ААА. Недоліком у використанні цих приладів для дослідження ФС є складність їх налаштування та необхідність певних навиків щодо розміщення електродів на тілі досліджуваної особи. Відповідно до цього, створюються певні незручності щодо потреби у спеціалізованому персоналі який буде проводити підготовку цих приладів до фіксації ЕКГ водіїв та розміщення на них електродів безпосередньо перед виїздами на рейс.

Відповідно до цього, у транспортних дослідженнях часто також використовують прилад з спортивної медицини. Вони є значно простішими у використанні та дозволяють здійснювати їх фіксацію на організмі безпосередньо досліджуваними особами. До таких приладів можна віднести комплекс Polar. Цей прилад є датчиком

частоти серцевих скорочень. Він розміщується в межах грудної клітки з використанням спеціального ремня з електродами. Слід зазначити, що на відміну від попереднього приладу, у Polar електроди не є одноразовими для використання.

Що стосується аналізу даних отриманих приладом Polar, то у цьому випадку використовуються різного роду мобільні додатки. При цьому, операційна система мобільного приладу може бути як Android так і IOS. Короткий аналіз найчастіше використовуваних мобільних додатків наведено у роботі [15].

Дослідження ФС водія маршрутного транспортного засобу проводилося з використанням прилад Polar H10 та додатку на мобільний пристрій HRV lite (рис. 1). Заміри показників ВСР водіїв здійснювалися на автобусних маршрутах руху як у населеному пункті, так і за його межами.



Рис. 1. Прилад (а) та програмне забезпечення (б), що було використано для проведення досліджень ФС водіїв

Провівши аналіз отриманих статистичних даних щодо значення R-R інтервалів та з використанням формули (1) визначено динаміку зміни ФС водіїв протягом першої години роботи у різних умовах. Результати відображено на рис. 2.

Як видно з даних наведених на рис. 2, початкове значення ІН водіїв, які керували маршрутними транспортними засобами у населеному пункті та за його межами, починається приблизно з однакових позначок. Проте, протягом однієї години такі водії у різній мірі входять у робочий режим, зокрема ІН водіїв міських автобусів після відмітки у 30 – 35хв починає зростати стрімкіше. Це свідчить про те, що у таких умовах роботи на їх організм діє значно більша кількість чинників, що, у свою чергу, призводить до більшого напруження.

Під час натурних досліджень ФС водіїв маршрутних транспортних засобів, також здійснено заміри потужності пасажиропотоку. Проаналізувавши ці дані, встановлено, що із збільшенням кількості пасажирів (наповненості салону автобуса) погіршується показники ІН водія. Це зумовлено тим, що при збільшенні кількості пасажирів, водій зобов'язаний здійснювати більшу кількість додаткових операцій (оплачування проїзду, на приміських маршрутах – розміщення багажу тощо).

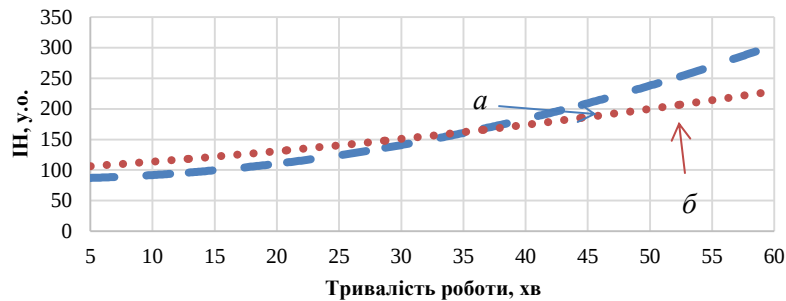


Рис. 2. Порівняння зміни ІН водіїв маршрутних транспортних засобів, що працюють у міських умовах (а) та за їх межами (б)

Висновки. У роботі встановлено, що залежно від умов в яких працюють водії (на маршрутах громадського транспорту в населеному пункті чи за його межами), необхідно здійснювати різний відпочинок за тривалістю на кінцевих пунктах. Це зумовлено тим, що:

- напруженість руху у межах населеного пункту та за його межами є різною;
- тривалість однієї їздки на маршруті різні за тривалістю;
- потужність пасажиропотоку в межах населеного пункту змінюється значно частіше, ніж на приміському сполученні, що у різній мірі впливає на ФС водія.

Слід зазначити, що проведення та врахування результатів таких досліджень дозволить підвищити якість обслуговування пасажирів на маршрутах громадського транспорту та безпеку руху автобусів в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wang F. W., Luo X. Comprehensive Analysis of Fatigue Driving Based on EEG and EOG // Journal of Northeastern University. 2014. P. 175–178.
2. Бойків М.В. Зміна тривалості реакції водіїв протягом доби залежно від їх функціонального стану // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. №1. С. 133 – 137.
3. Афанасьєва І.А. Щодо зміни функціонального стану водія під час отримання інформації з додаткових джерел // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2014. № 45. – С 15 – 20.
4. Looking behavior for vertical road signs / [M. Costa, G. Dondi, A. Bucchi та ін.]. // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2014. Volume 23 P. 147–155.
5. Borsos A., Birth S., Vollpracht H. The role of human factors in road design // 2015 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications. 2015. P. 363 – 367.
6. Batrakova A., Gredasova O. Influence of Road Conditions on Traffic Safety // Procedia Engineering. 2016. №134. P. 196–204.
7. D. G.Kidd, J. Tison, N. K.Chaudhary та ін. The influence of roadway situation, other contextual factors, and driver characteristics on the prevalence of driver secondary behaviors // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. – Volume 41. – 2016. – P. 1–9.
8. Гюльєв Н.У. Про вплив часу реакції водія на ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Северодонецьк, 2017. С. 90 – 93.
9. Ковалишин В.В., Мухар Р.І., Цір Р. Зміна часу прийняття адекватного рішення водієм у лабораторних умовах // Тези доповідей Всеукраїнської науково-теоретичної конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання». Львів : НУЛП, 2015. С. 138-139.
10. Савченко О.С. Вплив психофізіологічних якостей майбутніх водіїв на безпеку дорожнього руху // Збірник наукових праць «Педагогіка та психологія». Харків, 2015. Вип. 51. С. 219 – 227.
11. Thomas J., Nelson J., Silverman S. Research Methods in Physical Activity / J. Thomas., USA: Walsworth Print, 2016. 480 p.

12. Driver Behavior Profiling Using Smartphones: A Low-Cost Platform for Driver Monitoring / G.Castignani, T. Derrmann, R. Frank, T. Engel. // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2015. Volume: 7, Issue: 1 P. 91 – 102.
13. Jung S., Shin H., Chung W. Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel // IET Intelligent Transport Systems. 2014. Volume 8, Issue 1 P. 43 – 50.
14. Баевский Р. М. Вариабельность сердечного ритма в космической медицине // Материалы VI всероссийского симпозиума. Ижевск: Издательский дом "Удмуртский университет", 2016. С. 15 – 19.
15. Фурман О. О. Hardware and software for road user's functional state research // VII Міжнародний молодіжний науковий форум «Litteris et Artibus»: матеріали, 23 – 25 листопада 2017 року. Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2017. С. 287 – 288.

REFERENCES

1. Wang F. W., Wang H., Luo X. (2014). *Comprehensive Analysis of Fatigue Driving Based on EEG and EOG*. Journal of Northeastern University, 175–178 (in English).
2. Boikiv M.V. (2016). *Zmina tryvalosti reaktsii vodiiv protiahom doby zalezno vid yikh funktsionalnoho stanu* [Change of reaction time of drivers in different periods of the day depending on their functional state]. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu [Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute], Volume 1, 133 – 137.
3. Afanasieva I.A. (2014). *Shchodo zminy funktsionalnoho stanu vodiia pid chas otrymannia informatsii z dodatkovykh dzherel* [Changes regarding the functional state driver of information from additional sources]. Mizhvuzivskyi zbirnyk «Naukovi notatky» [Intercollegiate Collection «Scientific Notes»], Volume 45, 15 – 20.
4. Costa M., Dondi G., Bucchi A., Lantieri C., Simoneb A., Vignali V. (2014). *Looking behavior for vertical road signs*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 23, 147–155 (in English).
5. Borsos A., Birth S., Vollpracht H. (2015). *The role of human factors in road design*. 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, 363 – 367 (in English).
6. Batrakova A., Gredasova O. (2016). *Influence of Road Conditions on Traffic Safety*. Procedia Engineering. Volume 134, 196–204 (in English).
7. Kidd D., Tison J., Chaudhary N., McCartt A., Casanova-Powell T. (2016). *The influence of roadway situation, other contextual factors, and driver characteristics on the prevalence of driver secondary behaviors*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. Volume 41. 1–9 (in English).
8. Hiuliev N. U. (2017). *Pro vplyv chasu reaktsii vodiia na ymovirnist skoiennia dorozhno-transportnoi pryhody* [Influence driver's reaction time with possibility commit traffic accidents]. Visnyk skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia [Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], Volume 4 (234), 90 – 93.
9. Kovalyshyn V.V., Mukhar R.I., Cir R. (2015). *Zmina chasu pryiniattia adekvatnoho rishennia vodiim u laboratornykh umovakh* [Changing time of decision making driver in the laboratory]. Tezy dopovidei Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii «Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozv'iazannia» [Abstracts of the Ukrainian Scientific-Theoretical Conference «Problems with traffic flows and directions of their solution»], 138–139.
10. Savchenko O.S. (2015). *Vplyv psykhoфизиологических качеств maibutnikh vodiiv na bezpeku dorozhnoho rukhu* [Influence psychophysiological qualities future drivers on road safety]. Zbirnyk naukovykh prats «Pedahohika ta psykholohiia» [Collection of scientific works «Pedagogy and Psychology»], Volume 51, 219 – 227.
11. Thomas J., Nelson J., Silverman S. (2016). *Research Methods in Physical Activity*. 480p (in English)
12. Castignani G., Derrmann T., Frank R., Engel T. (2015). *Driver Behavior Profiling Using Smartphones: A Low-Cost Platform for Driver Monitoring*. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Volume: 7, 91 – 102. (in English)
13. Jung S., Shin H., Chung W. (2014). *Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel*. IET Intelligent Transport Systems, Volume: 8, 43 – 50. (in English)
14. Baevskyi R. M. (2016). *Varyabelnost serdechnoho rytma v kosmycheskoi medytseyne* [Heart rate variability in space medicine]. Materyaly VI vserossyiskoho sympozyuma [Materials of the VI Russian Symposium]. 15 – 19.

15. Furman O. O. (2017). *Hardware and software for road user's functional state research*. VII Mizhnarodnyi molodizhnyi naukovyi forum «Litteris et Artibus» [VII International youth science forum "Litteris et Artibus"], 287 – 288. (in English)

Тарас Постранський, к.т.н.
(асистент кафедри транспортних технологій Національного
університету «Львівська політехніка»)
Максим Афонин
(асистент кафедри транспортних технологій Національного
університету «Львівська політехніка»)

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЕГО РАБОТЫ

Должное функционирование системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» является одной из ключевых задач современности по созданию нужного уровня безопасности дорожного движения. Учитывая особенности каждого из этих элементов, можно сделать вывод, что именно звено «водитель» является наименее предсказуемой и изученной. От его действий и функционального состояния зависит функционирование системы в целом.

Ключевые слова: водитель, функциональное состояние, условия работы, индекс напряжения.

Taras Postransky, PhD.
(Assistant of transport technologies` department, Lviv Polytechnic National
University)
Maksym Afonin
(Assistant of transport technologies` department, Lviv Polytechnic National
University)

CHANGE OF THE DRIVER'S FUNCTIONAL STATE BY DEPENDED ON THE CONDITIONS OF HIS WORK

Every year the development of the industrial and tourism fields oh the countries industries is increasing. Accordingly, there is a need to increase the level of passenger service`s quality. At the same time, one of the important indicators is the creation of safe driving conditions. It`s necessary to bear in mind that a large number of such transportations is carried out by buses. Therefore, the task is to ensure the driver's reliable and trouble-free operation.

It is known that the safety of all road users depends on the reliability of the driver's work. At the same time, the driver is one of the least studied links of the system «driver – car – road – environment". So, the task is to study the psychophysiological indicators of the driver, which represent the reliability of his work. Also, they should show the influence of the environment on the driver`s organism. It should be noted the fact that during work, the driver of the vehicle may be exposed to various external factors. It can affect the driver: being over-stressed, neglecting traffic rules, making erroneous decisions, losing control of the transport process, etc. Such processes can lead to accidents. Accordingly to this, the importance of this kind`s transport research is confirmed.

Keywords: the driver, functional state, working conditions, strain index.

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О.</i> Дослідження впливу тимчасового резервування на надійність обладнання локомотивів	4
<i>Брайковська Н.С., Нечипорук А.В.</i> Перспективи розвитку організаційно-технологічних структур вагоноремонтних підприємств з використання гнучких потокових ліній ремонту вагонів	19
<i>Козік Ю.Г.</i> Оптимальне за питомими витратами прогнозування ресурсу корпусної ізоляції тягових електричних двигунів локомотивів	30
<i>Плаксин С.В., Житник Н.Е., Левченко Р.Ю.</i> Обоснование импульсного метода балансировки электрохимических накопителей энергии для транспортных средств	48
<i>Горобченко О.М., Слободянюк М.Е., Неведров О.В.</i> Формалізація поїзних ситуацій при керуванні локомотивом на основі методів нечіткої логіки	65
<i>Чигирик Н.Д., Сумцов А.Л., Вихопень І.Р., Яценко Д.В.</i> Діагностування технічного стану високовольтного устаткування тягового рухомого складу	71
<i>Недак А.В.</i> Исследование преимуществ и недостатков монорельсового транспорта	82
<i>Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Сова С.С.</i> Особливості визначення залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів з терміном служби, який перевищує призначений	95
<i>Бабанін О. Б., Буцький О.В., Андрющенко А.О., Мальков І.С., Гузь В.В.</i> Визначення ресурсу роботи синтетичних фільтрів для оливних систем тепловозів	106
<i>Гулак С.О., Заїка Д.О., Твердомед В.М., Крикливий С.В., Халепчук Д.С.</i> Дослідження впливу параметрів напруги контактної мережі на енергетичні показники приводу допоміжних машин електровозів серій ВЛ-80К,Т	118
<i>Кладько Н. С.</i> Вибір раціональних параметрів буксового вузла з конічним роликотітним роликом	137
<i>Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Сергієнко М.О.</i> До питань прогнозування залишкового ресурсу рам пасажирських вагонів	146
<i>Дубравін Ю.Ф., Ткаченко В.П.</i> Дослідження моделі активного чотириквadrантного перетворювача магістрального електровоза змінного струму	155

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

<i>Завгородня Г.А., Завгородній В.В.</i> Аналіз методів виробки рішень при виникненні техногенних аварій у системах управління реального часу	175
<i>Сулим А.О., Сіора О.С., Хозя П.О., Мельник О.О.</i> Програмне забезпечення для моделювання руху поїзда метрополітену	182
<i>Ботвін М.М., Бутрик Н.О., Герцій О.А.</i> Алгоритм кластеризації k-means в задачах розпізнавання зображень	199
<i>Тимченко Л.І., Майстренко Ю.В., Галушко М.М.</i> Розробка методу багаторівневої сегментації зображень	210
<i>Шикула Е.Н.</i> Нелинейное деформирование зернистого композитного материала	217
<i>Турпак С.М., Завальна Ю.М., Грицай С.В., Пілікіна А.А.</i> Дослідження ефективності управління вантажопотоками рідкого чавуну імітаційним моделюванням процесу доставки	230

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

<i>Мельник О.М.</i> Стан досліджень проблеми перевезень негабаритних вантажів в Україні	242
<i>Сьомкін В.В.</i> Метод дизайн-програм як спосіб оптимізації діяльності Укрзалізниці	254
<i>Коскіна Ю.О.</i> Формалізований опис процесу залучення судна для перевезення вантажу	267
<i>Прохорченко Г.О., Білокудря В.В., Севрук Н.С., Нікітіна Т.В., Ступакова Є.Г., Алафіль Д.Р.</i> Дослідження можливостей експлуатації швидкісних пасажирських поїздів за системою багатьох одиниць на залізниці України	280
<i>Жук М.М., Ковалишин В.В.</i> Аналіз тривалості руху громадського транспорту (на прикладі м. Львів)	293
<i>Samsonkin V., Goretskyi O., Shcherbyna R., Mazurenko Z.</i> Ensuring self-organization of socio-economic activity of railway transport with the staff: organizational culture	302
<i>Постранський Т.М., Афонін М.О.</i> Зміна функціонального стану водія залежно від умов його роботи	313

Науково-виробниче видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІНФРАСТРУКТУРИ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 34

Відповідальний за випуск - Саяпіна І.О.

Підписано до друку 17.12.2019
Ум. друк. арк. 18,8. Обл.-вид. арк. 20,64.
Наклад 50 прим. Зам. № 2051-09/2019.

Надруковано в друкарні редакційно-видавничого відділу
Державного університету інфраструктури та технологій.
Свідок про реєстрацію Серія ДК № 6148 від 18.04.2018.
03049, м. Київ-49, вул. І. Огієнка, 19.