

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**З Б І Р Н И К  
НА У К О В И Х П Р А Ц Ь  
ДЕРЖАВНОГО  
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

**СЕРІЯ**

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ  
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

**ВИПУСК 26-27**

**Київ·ДЕТУТ·2015**

**Збірник наукових праць** Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 26-27. – К.: ДЕДУТ, 2015. – 273 с.

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним та прикладним проблемам галузі залізничного транспорту. У статтях збірника розглядаються питання інфраструктури й рухомого складу залізниць, технології та організації транспортних процесів, математичного моделювання об'єктів залізничного 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:**

**В. К. Мироненко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень», академік Транспортної академії України (*головний редактор*);

**Ю. В. Черняк**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» (*заступник головного редактора*);

**Е. І. Даніленко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», академік Транспортної академії України;

**М. Б. Кельріх**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство», академік Транспортної академії України;

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

**О. Я. Пилипчук**, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності на залізничному транспорті»;

**О. І. Стасюк**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», член-кореспондент Транспортної академії України;

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

**М. М. Чепілко**, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри «Фізика та електротехніка»;

**Ю. М. Черних**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», академік Транспортної академії України (*відповідальний секретар*);

**О. Г. Стрелко**, кандидат історичних наук, доцент, професор кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету «Управління залізничним транспортом» (*відповідальний секретар*);

**Г. С. Висоцька**, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» (*технічний секретар*).

Статті збірника проходять обов'язкове рецензування членами редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу. Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕДУТ (протокол № 7 від 28 квітня 2015 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту  
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19979-9779ПП від 28.05.2013 р.

Збірник входить до Переліку № 10 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).

---

## ЗМІСТ

### ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Возненко А. Д., Демченко В. О., Булгакова Ю. В., Єфіменко А. М.</i> Вплив поверхні кочення колісної пари на стійкість руху по рейковій колії .....   | 5   |
| <i>Кульбовський І. І., Левківський С. А., Тютін В. М., Незліна О. А.</i> Експериментальні дослідження одноступінчастого планетарного редуктора в проєктах міського транспорту .....                         | 12  |
| <i>Савенко В. Я., Жигайло О. В.</i> Застосування моделей організаційного розвитку для розробки управління проєктами при реформуванні дорожнього господарства України .....                                  | 18  |
| <i>Даніленко Е. І., Косарчук В. В., Пилипенко А. П., Йосифович Р. М., Рафальський О. Ю.</i> Обґрунтування методики експериментальної оцінки залишкового ресурсу рейок залізничної колії метрополітену ..... | 26  |
| <i>Данилевський В. І., Тарасюк В. М., Данилевський В. В.</i> Застосування сучасних систем електроізоляційних матеріалів класу нагрівостійкості F, H і C... ..   | 39  |
| <i>Мікульонок І. О.</i> Класифікація шпал та огляд їхніх конструкцій .....  | 47  |
| <i>Маркуль Р. В.</i> Розробка технології контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 .....  | 58  |
| <i>Вороб'єв Л. П., Черных Ю. М., Вороб'єва Н. Л.</i> К вопросу совершенствования турбокомпрессора для наддува тепловозного дизеля .....   | 69  |
| <i>Чубикало М. Б., Логвіненко О. А.</i> Перспективні компресори для систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу .....   | 75  |
| <i>Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Гаюр А. В., Каращук С. В.</i> Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи рекуперативного гальмування електропоїздів .....   | 83  |
| <i>Бурлуцький О. В., Кочешкова Н. С.</i> Визначення зварювальних деформацій, які виникають на етапах життєвого циклу на піввагоні .....   | 92  |
| <i>Данилевський В. І., Черных Ю. М., Слизовська Л. В.</i> Аналіз наявності, вимог до конструкції та роботи тягових двигунів електрорухомого складу залізниць .....  | 102 |
| <i>Кульбовський І. І., Агарков О. В., Катерещук В. О.</i> Методологічні аспекти оцінки кваліфікації персоналу вимірювальних лабораторій .....   | 111 |
| <i>Фалендиш А. П., Іванченко Д. А.</i> Розробка структурно-функціональної схеми тепловоза як об'єкта випробувань .....  | 118 |
| <i>Іванов В. Б., Косенко В. І.</i> Використання муфт граничного крутного моменту для захисту приводів високошвидкісних потягів .....  | 125 |
| <i>Катерещук В. О.</i> Статистический анализ дефектности рельс на железных дорогах мира .....   | 131 |
| <i>Фомін О. В., Гостра А. В.</i> Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів .....  | 137 |
| <i>Горбунов М. І., Кара С. В., Ноженко О. С., Анофрієв А. Д.</i> Перспективні напрямки підвищення міцності бокових рам візків вантажних вагонів .....   | 148 |

---

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

|  |     |
|--|-----|
| <i>Мироненко В. К., Андрейцев А. Ю., Габа В. В., Висоцька Г. С.</i> Застосування транспортноелектричної аналогії до побудови математичної моделі транспортних потоків .....  | 156 |
| <i>Ковальчук В. В., Бамбура О. В.</i> Про методи дослідження збуреного руху однієї маятникової системи .....   | 165 |
| <i>Мямлин С. В., Мурадян Л. А.</i> Застосування основних законів розподілу випадкових величин для визначення показників надійності вагонів .....   | 172 |
| <i>Ковтанець М. В.</i> Имитационное моделирование процесса движения абразивного материала и его распределение по поверхности головки рельса. ....  | 180 |
| <i>Черняк Ю. В., Ревчук М. О., Олійник В. М., Малюк С. В., Волосяк О. С.</i> Моделювання електро-механічних процесів двигуна постійного струму із широтно-імпульсним регулюванням напруги в середовищі Simulink Matlab.. | 191 |
| <i>Грисенко М. В., Крижановська Т. В.</i> Математичні моделі самоорганізації та утворення структури диференціальних систем .....   | 199 |

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ

### ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Герцій О. А.</i> Критеріальна оцінка якості функціонування мультисервісних мереж ..... | 206 |
| <i>Коротун І. А.</i> Аналіз технологій сучасних мереж зв'язку .....                       | 216 |
| <i>Наконечна С. В.</i> Здатність штучного інтелекту до самосвідомості та мислення .....   | 223 |

### ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Торопов Б. І., Мироненко В. К.</i> Удосконалення методології проектного аналізу з урахуванням додаткових експлуатаційних витрат при наданні «вікон» .....                | 232 |
| <i>Щербина Р. С.</i> Методологічний аспект основних елементів змішаних перевезень експортних вантажів .....   | 242 |
| <i>Сорочинська О. Л., Косовець Ю. В.</i> Аналіз виробничого травматизму – основа вдосконалення СУОП .....   | 250 |
| <i>Лямзин А. А., Хара М. В.</i> Равновесное состояние транспортного сектора в транзитной среде промышленного района .....   | 256 |
| <i>Гудков О. М., Бердниченко Ю. А., Поздняков А. А., Позднякова О. О.</i> Логістичний підхід у створенні ефективного механізму управління пасажирськими перевезеннями ..... | 262 |
| <i>Мацюк В. І.</i> Дослідження технологічної надійності парків технічних станцій дискретно-подієвим моделюванням.....   | 268 |

УДК 625.032.4

*А. Д. Возненко, к.т.н., професор (декан факультету ІРСЗ, професор кафедри «Залізнична колія і колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*В. О. Демченко, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*Ю. В. Булгакова (асистент кафедри «Технології міжнародних перевезень і логістика» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» м. Маріуполь)*

*А. М. Єфіменко (здобувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## ВПЛИВ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ КОЛІСНОЇ ПАРИ НА СТІЙКІСТЬ РУХУ ПО РЕЙКОВІЙ КОЛІЇ

*Причиною втрати стійкості руху рейкових екіпажів є місце контакту колеса з рейкою – точніше, співвідношення сил, що генеруються у зоні контактної взаємодії колеса з рейкою. Однак навіть для досить простих розрахункових схем рейкових екіпажів загальна картина впливу характерних параметрів системи на її динамічні якості не відома, бо умови стійкості усталеного руху є надзвичайно громіздкі і практично непридатні для якісного аналізу.*

*У даній статті запропонований підхід, який передбачає перенесення результатів аналізу стійкості прямолінійного руху колісної пари по рейковій колії (при деяких конструктивних обмеженнях) на модель візка рухомого складу.*

*Ключові слова: рейкова колія, стійкість руху, колісна пара, горизонтальні сили, поверхня кочення, швидкість руху, автоколивання, візок, критична швидкість.*

*Получила дальнейшее развитие теория моделирования влияния поверхности катания колесных пар на устойчивость движения колесной пары при взаимодействии с верхним строением пути. В расчетах поперечных горизонтальных сил применялись цифровые данные о профиле катания, которые получены с помощью лазерного сканирования. Расчеты выполнялись для трех видов износа колесной пары, при скоростях движениях до 160 км/час, радиусы кривых участков пути от 300 м до 1000 м.*

© Возненко А. Д., Демченко В. О., Булгакова Ю. В., Єфіменко А. М., 2015

*Анализируя результаты расчетов можно сделать вывод, что состояние поверхности катания влияет на горизонтальные боковые силы, амплитуду колебаний колесной пары, значение критической скорости локомотива уменьшается. Таким образом, для движения по рельсовому пути важным резервом уменьшения бокового воздействия на путь есть значение критической скорости извилистого движения, которое должно быть выше эксплуатационной скорости при любом значении износа поверхности катания бандажей магистральных локомотивов.*

**Ключевые слова:** *рельсовый путь, устойчивость движения, колесная пара, горизонтальные силы, поверхность катания, скорость движения, автоколебания, тележка, критическая скорость.*

Зношування поверхні кочення (прокат) призводить до збільшення ефективної конічності поверхні кочення колісної пари локомотива, та зменшення значення критичної швидкості. В даній статті викладені результати аналізу впливу нелінійної геометрії поверхні кочення колісної пари в межах точки контакту. За результатами аналізу дано обґрунтовану рекомендацію щодо оновлення поверхні кочення.

Результатом проведеного аналізу останніх досліджень встановлено, що колесо має одноточковий контакт з рейкою, а точка контакту не змінює свого положення відносно рейки, що можливо лише при досить малих значеннях бокового зсуву колісної пари (С. Esveld, I.Y. Shevtsov, V.L. Markine [1], O. Polach [2]), це дає можливість обґрунтувати рекомендації (при докритичній швидкості коливання колісної пари затухають), на що вказано в роботах В.К. Гарга і Р.В. Дуккіпаті [3].

Метою даної роботи є дослідження впливу профілю поверхні кочення колісної пари на стійкість руху та значення критичної швидкості.

Колісна пара розглядається як механічна система з двома ступенями свободи схема наведена на рис. 1:  $y, \psi$  – поперечне відхилення центру мас колісної пари відносно осьової лінії колії і кут вилання відповідно (координати  $y, \psi$  визначають положення колісної пари в горизонтальній площині відносно інерційної системи координат, що рухається з постійною швидкістю вздовж осьової лінії колії).

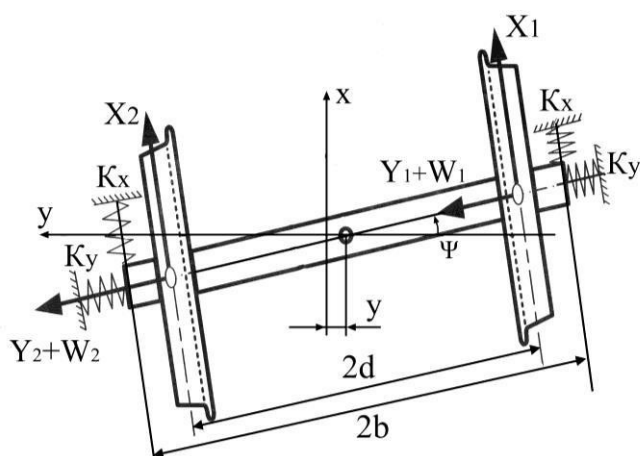


Рис. 1. Схема сил, діючих на колісну пару під час руху

Відхилення приймалось у межах 4 мм в обидва боки від осі кола кочення колісної пари, координати точок поверхонь катання нового та зношеного колеса брались із бази даних, отриманої в результаті замірів колісних пар.

Рівняння руху (1) відповідають колісній парі, яка має буксове підвішування:

$$m\ddot{y} = -2k_y y + Y_1 + Y_2 + W_1 + W_2 \quad (1)$$

$$J\ddot{\psi} = -2k_x b \psi + (X_1 - X_2) d + (W_1 - W_2) d \sin(\psi)$$

де поздовжні і бокові проекції сил псевдоковзання позначені через  $X_i$ ,  $Y_i$  відповідно і є функціями відносного псевдоковзання.

При боковому відхиленні колісної пари від осі колії радіуси коліс будуть різними. В математичну модель внесено отримані експериментальним шляхом геометричні дані щодо геометрії профілю (зношеного) колісної пари у вигляді

полінома четвертого ступеня проф. М.Л. Коротенка  $\Delta r_1$  – для лівого колеса,  $\Delta r_2$  – для правого колеса:

$$\left. \begin{aligned} \Delta r_1 &= -k_{r1} y + k_{r2} y^2 - k_{r3} y^3 + k_{r4} y^4 \\ \Delta r_2 &= k_{r1} y + k_{r2} y^2 + k_{r3} y^3 + k_{r4} y^4 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Зміна геометричних характеристик поверхні катання колеса (через коефіцієнти відповідного полінома, що входять у визначення поперечних і поздовжніх сил) може позначитись на характеристиках автоколивань і умовах м'якої – грубої втрати стійкості системи.

Розгорнутий вигляд системи (1) наведено нижче:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{y} + (2K_y + 4Pk_{r2})y + 2k_x \left(\frac{x}{v} - \psi\right) + 8Pk_{r1} r_4 y^3 = 0; \\ \ddot{\psi} - 2Pd\gamma\psi + 2k_x d^2 \left(\frac{\psi}{v} + \frac{\dot{y}}{dr_0}\right) + \frac{dk_1 k_{r3}}{r_0} y^3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де  $y$  – бічне відхилення центру мас колісної пари від поздовжньої осі колії;

$\psi$  – кут виляння;

$m, J$  – маса і центральний момент інерції відносно центральної вертикальної осі;

$P_l$  – навантаження на колесо;

$K_x, K_y$  – коефіцієнти жорсткості пружних елементів буксового підвішування в поздовжньому і поперечному напрямках;

$k_l$  – коефіцієнт кріпа;

$k_{ri}$  – коефіцієнти (полінома), що визначають геометрію профілю;

$\gamma$  – конусність профілю колеса ( $\gamma = k_{r1}$ );

$2d$  – відстань між колами катання;

$2b$  – плече «пружної» пари (відстань між поздовжньо розташованими пружними елементами буксового підвішування).

При певному виборі параметрів буксового підвішування характер втрати стійкості (м'який або жорсткий) буде обумовлений лише геометрією профілю колеса. У роботі при теоретичному дослідженні автоколивань колісної пари та чисельно-

му моделюванні динамічної взаємодії пари колесо-рейка використовувались та порівнювались моделі взаємодії Ф. Картера та Дж. Калкера. У математичну модель внесемо отримані експериментальним шляхом геометричні дані щодо геометрії профілю (зношеного) колісної пари. Поява складової гравітаційної жорсткості у випадку зношеного профілю колеса призведе до порушення «симетрії» пружних характеристик в поперечному і поздовжньому напрямках, що може відобразитись на характеристиках автоколивань і умовах м'якої – грубої втрати стійкості системи. В даному підрозділі буде проведений аналіз таких ситуацій.

При боковому відхиленні колісної пари від осі колії радіуси коліс будуть різними – різниця радіусів  $\Delta r$  виникає за рахунок конусності поверхні катання нового колеса, її конструктивної криволінійності або набутої криволінійності для зношеного профілю (рис. 2).

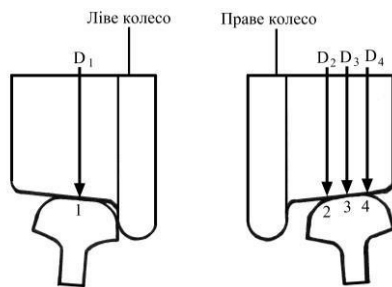


Рис. 2. Схема зміни діаметрів коліс у межах точки контакту коліс з рейками

Знаючи профіль колеса в межах незбуреного положення точки контакту з рейкою і узагальнену характеристику пружного підвісу, на основі модельного підходу можна передбачити особливості динамічної поведінки візка – визначити небезпечний – безпечний характер втрати стійкості прямолінійного руху і оцінити амплітуди виникаючих автоколивань бічного відносу.

Наближений аналітичний метод визначення амплітуд автоколивань нелінійної моделі колісної пари реалізовувався для випадку моделі крипу за Ф. Картером. В роботі пропонується оцінювати амплітуду автоколивань на основі аналітичного виразу, який враховує основні геометричні, інерційні параметри та геометрію профілю поверхні катання колісної пари.

$$A = \frac{k \left( \frac{\tau d r_0}{r_1} \right)}{\left[ \frac{d^3 P k r}{8 \left( \frac{J + d^2 m}{k_{r3}} \right)^{-v^2}} \right]} \quad (4)$$

Результати роботи свідчать про збіг характеру втрати стійкості (небезпечний-безпечний) моделі при різних підходах визначення крипу, однак аналітичні оцінки з використанням моделі крипу за Ф. Картером не слід абсолютизувати (можливо використовувати у випадку експрес-аналізу).

За результатами досліджень впливу зміни геометричних параметрів поверхні кочення на стійкість прямолінійного руху колісної пари можна зробити висновок, що під час відновлення бандажа треба залишати прокат до 1,8 мм. В такому випадку не буде виникати потреба в передчасному обточуванні колеса, бо частина поверхні кочення залишатиметься припрацьованою.

Активними керованими параметрами, що впливають на зміну властивостей стійкості системи (колісної пари з пружним підвісом), є швидкість поздовжнього руху; коефіцієнти жорсткості пружного підвісу; ефективна конічність колеса; ширина колії; вагові та інерційні характеристики колісної пари [4].

Однією із задач оптимізації параметрів є мінімізація дійсних частин власних значень системи, що, з одного боку, збільшить швидкість затухання коливань, а з іншого – має «забезпечувати» збереження властивостей стійкості при неминучій на практиці флуктуації параметрів.

Наближений метод визначення амплітуд автоколивань нелінійної моделі колісної пари реалізовувався як для випадку лінійного крипу за Дж. Картером, так і за Ф. Калкером. Аналітичні результати, отримані в останньому випадку абсолютно «непрозорі» з точки зору якісного аналізу, тому для ілюстрації наближеного аналітичного підходу вибрана модель Дж. Картера. Зіставлення чисельних результатів свідчить про збіг характеру втрати стійкості (небезпечний-безпечний) моделі при різних підходах опису крипу. Однак цей висновок не слід абсолютизувати, аналітичні оцінки з використанням моделі крипу за Дж. Картером можливо використовувати лише у випадку попереднього «екс-прес»-аналізу. Причина втрати стійкості рейкових екіпажів «криється» у співвідношенні сил, які виникають між колесом і рейкою. Останні мають складну з точки зору математичної класифікації структуру і вмістять у собі дисипативні, гіроскопічні, потенціальні й неконсервативні позиційні сили. Саме тому можливі різноманітні сценарії втрати чи збереження стійкості незбуреного руху. Однак умови стійкості в загальному вигляді надзвичайно громіздкі і мало придатні для якісного аналізу [5].

Сенс робочої гіпотези полягає в тому, що сумарні жорсткості, які «передаються» колісній парі з боку візка в поздовжньому і поперечному напрямках, будуть задовольняти тому ж співвідношенню, однак коефіцієнт пропорційності невідомий. Припустимо, що критична швидкість прямолінійного руху візка відома, наприклад отримана чисельним методом для деякого набору параметрів.

Тоді із співвідношення  $|V_{kr} = \left( \begin{array}{c} \sqrt{\tau dr_0} \\ 1 \end{array} \right)$ , яке визначає критичну швидкість колісної  $kr$

пари, може бути визначений «гіпотетичний» параметр («інтегральна» жорсткість, яка створюється всією конструкцією візка).

### Висновки:

1. При певному виборі параметрів буксового підвішування критична швидкість прямолінійного руху колісної пари практично не залежить від значень коефіцієнтів крипу.

2. На основі аналізу нелінійної моделі колісної пари визначено вплив параметрів нелінійного профілю (коефіцієнтів полінома 4-го ступеня, що описує зміну радіуса кочення при поперечному зміщенні колісної пари відносно нейтрального положення): коефіцієнти при лінійному і квадратичному мономах визначають критичну швидкість прямолінійного руху колісної пари; два інших коефіцієнти (при кубічному моному і моному четвертого ступеня) визначають амплітуди автоколивань і розміри області стійкості (реальний запас стійкості колісної пари в прямолінійному русі).

3. Аналітичне співвідношення, що визначає критичну швидкість колісної пари, можна використовувати для визначення жорсткості рейкової колії, яка використовується при модельному підході.

4. Амплітуди автоколивань моделі вагона можуть бути наближено оцінені на основі аналітичних співвідношень, що отримані на основі підсистем (візка та колісної пари), з використанням реальної геометрії поверхні кочення колеса.

5. Обмеження на граничне зношування (прокат) колісної пари можна пов'язати з величиною амплітуди автоколивань, що передують виникненню 2-точкового контакту при максимальній експлуатаційній швидкості руху екіпажа. В результаті проведених експериментальних і теоретичних досліджень щодо зношування бокової поверхні гребенів і поверхні кочення бандажа та після теоретичних розрахунків встановлено, що найбільш ефективними способами збільшення пробіжного ресурсу колісних пар є обточування бандажів за профілем «Мінетек», коли товщина гребеня становить більше 26,5 мм, а параметр крутості гребеня не менше 6,0 мм; для збільшення пробігу колісних пар пропонується залишати прокат під час обточування до 1,8 мм, коли частина поверхні кочення залишається припрацьованою.

6. Результати розрахунків критичної швидкості свідчать, що із збільшенням кіничності поверхні кочення її значення зменшується; при швидкостях руху до 120 км/год. бокові сили, які передаються від колеса на рейку, достатньо стабілізовані і не перевищують встановлені значення, а при швидкостях руху більше 120 км/год. значно зростають і наближаються до максимально допустимих. Значний вплив на значення бокової сили має співвідношення жорсткості буксового підвішування та стану поверхні кочення колісної пари.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Shevtsov V.L.* Presented at the 6-th international conference on contact mechanics and wear of rail/wheel systems (cm2003) in gothenburg, sweden june 10–13, 2003 optimal design of wheel profile for railway vehicles i.y. / V.L. Shevtsov, C. Markine, C. Esveld // Section of Road and Railway Engineering Faculty of Civil Engineer-ing and Geosciences, Delft University of Technology Stevinweg 1. – NL-2628. – CN Delft. – The Netherlands. – 2003.

2. *Polach O.* On non-linear methods of bogie stability assessment using computer simulations Bombardier Transportation Limited / O. Polach // The manuscript was received on 19 April 2005 and was accepted after revision for publication on 27 July 2005. – Zürcherstrasse 41. – PO Box 8401. – Winterthur. – Switzerland. P. 25–34.

3. *Гарг В.К.* Динамика подвижного состава / В.К. Гарг, Р.В. Дуккипати ; [пер. с англ.]. – М. : Транспорт, 1988. – 392 с.

4. *Вербицкий В.* Введение в теорию устойчивости колесных экипажей и рельсового пути: Монография / В. Вербицкий, А. Новак, Э. Даниленко, М. Ситаж. – Катовице – Киев (Польша – Украина) 2006–2007. – Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 255 с.

5. *Демченко В.А.* Анализ влияния профиля поверхности катания колеса на устойчивость движения колесной пары / В.А. Демченко, В.Г. Вербицкий, Э.И. Даниленко // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління : тези доповідей другої науково-практичної конференції. – Частина 1 «Техніка, технологія». – К. : КУЕТТ, 2004. – С. 92 – 93.

**Anatolii D. Voznenko, PhD (Technical Sciences), Professor**  
**(Dean of faculty IRSR, Professor of Railroad Track and Track Sector Chair,**  
**State University for Transport Economy and Technologies)**  
**Vladimir O. Demchenko, PhD (Technical Sciences)**

*(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Julia V. Bulgakova*

*(Assistant Technologies of International Transportation and Logistics Chair, State University «Azov State Technical University»)*

*Alla M. Yefimenko*

*(Graduate Student of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

## EFFECT OF SURFACE WHEELSET BEARINGS ON THE STABILITY MOVEMENT ON RAILWAY TRACKS

*Received further development of the theory of modeling the impact of treads wheel pairs on stability of motion of the wheel pair at interaction with rail track. The paper describes a new solution of a scientific problem of influence of the state of wheel pair tread surface on stability of motion of the wheel pair. It is proved that the stability of motion of the wheel pair at considerable wear of the wheelset is reduced.*

*Experimental researches of wear of the wheelset rolling stock wheel pairs, studied the intensity of wear depending on the mileage of the locomotive. On the basis of the obtained data on the condition of wheel pair tread surface made the calculations to determine the lateral forces of interaction of rail track and wheel pairs in combination with different speeds, radii of the curves of the track sections and various types of rails.*

*The received experimental and theoretical results allow us to estimate the force interaction of rail track rolling stock, and to determine the rational geometrical sizes of the tread surface, wheel pair in operation.*

*Key words: rail track, stability of motion, wheel pair, horizontal forces, the roll surface, speed, self-oscillations, truck, the critical speed.*

## REFERENCES

1. Shevtsov V.L. *Presented at the 6-th international conference on contact mechanics and wear of rail/wheel systems (cm2003) in gothenburg, sweden june 10–13, 2003 optimal design of wheel profile for railway vehicles i.y. / V.L. Shevtsov, C. Markine, C. Esveld // Section of Road and Railway Engineering Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology Stevinweg 1. – NL-2628. – CN Delft. – The Netherlands. – 2003.*
2. Polach O. *On non-linear methods of bogie stability assessment using computer simulations Bombardier Transportation Limited / O. Polach // The manuscript was received on 19 April 2005 and was accepted after revision for publication on 27 July 2005. – Zürcherstrasse 41. – PO Box 8401. – Winterthur. – Switzerland. P. 25–34.*
3. Garg V.K. *Dinamika podvznogo sostava / V.K. Garg, R.V. Dukipati. – Moscow, Transport, 1988. – 392 p.*
4. Verbitckiy V. *Vvedenie v teoriyu ustoychivosti kolyesnykh ekipazhey i relsovogo puti: Monografiya / V. Verbitskiy, A. Novak, E. Danilenko, M. Sitazh. – Katovitse – Kiyev (Polsha – Ukraina) 2006–2007. – Donetsk : «Veber», 2007. – 255 p.*
5. Demchenko V.A. *Analiz vliyanuya profilya poverkhnostikataniya koleasa na ustoychivost dvizheniya kolyesnoy pary / V.A. Demchenko, V.G. Verbitskiy, E.I. Danilenko // Problemy ta perspektyvy rozvitku transportnykh sistem: tekhnika, tekhnologiya, ekonomika i upravlinya: tezy dopovidey drugoy nauko-vo-praktychnoy konferentsiy. – Chastina 1 «Takhika, tekhnologiya». – K. : KUETT, 2004. – P. 92 – 93.*

УДК 621.833.6

- І. І. Кульбовський, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*С. А. Левківський (старший викладач кафедри «Дорожні машини» Національного транспортного університету, м. Київ)*  
*В. М. Тютін (старший викладач кафедри «Дорожні машини» Національного транспортного університету, м. Київ)*  
*О. А. Незліна, к.і.н. (доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ОДНОСТУПІНЧАСТОГО ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА  
В ПРОЕКТАХ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

*У статті запропонована експериментальна методика для знаходження нерівномірності розподілу крутного моменту між шестернями планетарної передачі та в той же час розподілу навантаження вздовж зуба на основі п'яти датчиків навантаження на осі кожної планетарної шестерні. Результати лабораторних випробувань планетарного редуктора показують, що мета цього експерименту була досягнута.*

*Ключові слова:* редуктор, планетарна передача, експеримент, тензодатчик, метод тензометрії, випробування, метрологічне забезпечення.

*В статті предложена експериментальная методика для нахождения неравномерности распределения крутящего момента между шестернями планетарной передачи и в то же время распределения нагрузки вдоль зуба на основе пяти датчиков нагрузки на оси планетарной шестерни. Результаты лабораторных испытаний планетарного редуктора показывают, что цель этого эксперимента была достигнута.*

*Ключевые слова:* редуктор, планетарная передача, эксперимент, тензодатчик, метод тензометрии, испытания, метрологическое обеспечение.

**Вступ.** Подальший розвиток методів проектування планетарних редукторів здійснюється з метою створення конструкцій, які б мали меншу матеріаломісткість і більшу надійність. Розробити такі методики можна лише тоді, якщо мати достатній обсяг даних про реальні процеси формування навантаження в зубчастих зачепленнях. Така інформація може бути отримана тільки за результатами експериментального дослідження.

© Кульбовський І. І., Левківський С. А., Тютін В. М., Незліна О. А., 2015

Існує декілька методик дослідження планетарних редукторів за допомогою методів тензометрії, які головним чином відрізняються одна від одної місцем розташування тензодатчиків. Вибір деталі, на яку наклеюють датчики, з одного боку, визначає технічну складність реалізації експерименту, а з іншого – якість та повноту отриманої інформації. Найбільш простим експеримент буде у випадку, коли датчики розміщують на нерухомій деталі. Тоді немає потреби у використанні струмознімального обладнання. В більшості випадків такою деталлю є центральне колесо  $b$  з внутрішніми зубцями. Така методика передбачає розміщення тензорезисторів на обох торцях зубців. Проте через необхідність використання датчиків з малою базою, експеримент значно ускладнюється. Це пов'язане з необхідністю виконання значного обсягу підготовчих операцій, а також низькою стабільністю роботи мікродротяних тензодатчиків. Точну інформацію про величини сил, які діють у зачепленнях центрального колеса  $a$  з сателітами  $g$ , можна отримати, якщо розташувати датчики безпосередньо в зоні деформацій. Таким місцем є ніжки зубців центрального колеса  $a$  [ 1 ]. Проте реалізація такої методики утруднена через те, що центральне колесо  $a$  обертається з великою кутовою швидкістю і внаслідок цього виникає технічна проблема в передаванні електричного сигналу від тензорезисторів до підсилювача. Значно менше недоліків має спосіб розміщення датчиків на осях сателітів [ 2 ]. Він дозволяє безперервно фіксувати значення навантажень в усіх зачепленнях сателітів з центральним колесом  $a$ . Водило планетарного редуктора має на багато меншу порівняно з зубчастим колесом  $a$  кутову швидкість, з огляду на це, проблема знімання електричного сигналу не постає.

Напруження, що виникають у зубцях коліс планетарного редуктора, обумовлені дією двох силових факторів. Це нерівномірність розподілу навантаження між сателітами та його концентрація по довжині зубців. З огляду на це, було б доцільним під час проведення експерименту мати можливість отримувати значення обох цих параметрів. З цією метою була розроблена спеціальна методика такого дослідження [ 3 ].

**Мета роботи** полягає у встановленні експериментальним шляхом взаємозв'язку між нерівномірністю розподілу навантаження серед сателітів та по довжині зубців у зачепленнях планетарного редуктора.

**Основна частина.** Лабораторні випробовування проводились методом тензометрування осей сателітів. Тензорезистори наклеювалися на кожну вісь. Для цього з обох боків осей були зроблені спеціальні лиски. Для того, щоб разом з нерівномірністю розподілу навантаження поміж сателітів, отримувати інформацію про характер його концентрації по довжині зубців, рівномірно вздовж кожної осі були наклеєні по п'ять пар тензодатчиків  $2ПКБ-5 \times 100$  з базою 5 мм та електричним опором 100 Ом. На рис. 1 зображена тензометрична вісь. При встановленні осей у щіли водила вони були орієнтовані так, щоб датчики сприймали деформації згину, викликані дією колових сил у зачепленнях редуктора. Електричні кабелі виводилися через отвір у вихідному кінці водила. Така схема розташування датчиків давала змогу безперервно протягом кінематичного циклу отримувати інформацію про характер навантаження зачеплень. Показання тензорезисторів однієї осі записувалися протягом одного кінематичного циклу, який приблизно дорівнював шести обертам водила. Початок і кінець запису визначався за допомогою лічильника обертів водила. Водночас здійснювався запис значень крутного моменту на вихідному валу редуктора. Для цього на водилі

був наклеєний тензодатчик типу ФКТБ. Тарування каналів підсилювача здійснювалося за допомогою балки рівного опору. Масштабні коефіцієнти для відповідних каналів мали такі значення:  $k_1 = 1,81$ ;  $k_2 = 1,41$ ;  $k_3 = 1,12$ ;  $k_4 = k_5 = 1$ . Для того, щоб через показання датчиків можна було б отримати справжні значення сил, які діють у зачепленнях редуктора під час його роботи, проводилось тарування тензорезисторів у статистиці. Для цього в редукторі залишали один сателіт, встановлений на тензометричній осі, а замість двох інших використовували ролики з метою центрування зачеплення. Навантаження редуктора здійснювали важелями, що мали форму секторних блоків і через які були перекинуті канати з гилями. Тарування тензодатчиків проводили при наступних значеннях крутного моменту на вихідному валу: 63,7 Н·м; 113,7 Н·м; 163,7 Н·м; 213,7 Н·м. На підставі отриманих даних для кожної осі будувався тарувальний графік.

**Об'єкт, стенд і результати експериментального дослідження.** Випробування планетарного редуктора відбувалися на стенді, який складався з редуктора, привід якого здійснювався від двохшвидкісного електродвигуна типу АО2-62-8/4 через пасову передачу. Навантаження створювалось порошковим гальмом марки ПГ-100М. На вільному кінці гальма було встановлено струмознімальне обладнання РАТ 2, а за ним лічильник обертів. Для реєстрації вимірювальних параметрів застосовувалися підсилювач сигналу 8АНЧ-7М та осцилограф Н-115.

Як об'єкт дослідження був прийнятий одноступінчатий планетарний редуктор. Вхідний вал встановлений на радіальних підшипниках у кришці корпусу. Центральне колесо із зовнішніми зубцями знаходиться у зачепленні з трьома сателітами, опорами яких є радіальні підшипники.



*Рис. 1. Вісь сателіта з тензорезисторами*

Центральне колесо з внутрішніми зубцями нерухомо закріплене в корпусі. Вихідним валом редуктора є водило, в якому закріплені осі сателітів. Кількість зубців: центральне колесо із зовнішніми зубцями  $a$   $Z_a = 21$ , сателіти  $g$   $Z_g = 45$ , центральне колесо з внутрішніми зубцями  $b$   $Z_b = 111$ . Модуль зачеплення

$m = 5$  мм , ступінь точності виготовлення – Ст. 9-8-7-В, крутний момент на вихідному валу  $T = 500$  Н · м , кутова швидкість обертання  $\omega_a = 157$  с<sup>-1</sup> .

Центральне колесо  $a$  було виготовлене із сталі 40 ХН2МА з послідуєчим азотуванням робочих поверхонь до твердості HRC 52-56, сателіти – зі сталі 40 Х, термооброблені та азотовані. Для виготовлення центрального колеса  $b$  була застосована сталь 45 поліпшена. Корпус та водило були відлиті з чавуну СЧ 15-32 та ВЧ 60-2 відповідно.

Результати експериментального дослідження були отримані у вигляді осцилограм п'яти тензорезисторів кожної осі сателітів. Крива показань  $n$ -го датчика  $j$ -ї вісі розподілялась на шість частин протягом одного оберту водила, тобто на  $I=36$  частин протягом усього запису. Для обробки отриманих даних був розроблений алгоритм, який був реалізований у вигляді комп'ютерної програми. Спочатку визначалось  $\Pi$  середнє значення показань усіх датчиків на всіх осях. Ця величина дорівнює показанням датчиків за умови рівномірного розподілу навантаження поміж сателітів.

$$\Pi = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^5 \sum_{i=1}^{36} \Pi^{jni}}{3 \cdot 5 \cdot 36} \quad (1)$$

де  $j = 3$  – кількість сателітів;

$n = 5$  – кількість тензорезисторів на одній осі;

$i = 36$  – кількість вимірювань протягом одного кінематичного циклу (кількість положень водила).

Потім знаходилося середнє арифметичне показань п'яти датчиків кожної осі окремо в кожному з 36 положень водила.

$$\Pi_{jni}^{\Pi} = \frac{\sum_{n=1}^5 \Pi^{jni}}{5} \quad (2)$$

Величину нерівномірності розподілу навантаження для кожного сателіта в усіх положеннях водила можливо визначити як відношення

$$\Omega_{ij} = \frac{\Pi_{jni}^{\Pi}}{\Pi} \quad (3)$$

Як уже зазначалось, у цьому експерименті з метою визначення концентрації навантаження по довжині зубців, на кожен вісь було наклеєно по п'ять пар тензодатчиків на рівній відстані одна від одної. Це дозволило за допомогою математичної обробки отриманих даних, визначити для кожного зачеплення сателітів із центральним колесом  $a$  протягом кінематичного циклу значення концентрації навантаження. Її величина розраховувалась через відношення показань четвертого резистора до середнього значення концентрації в даному зачепленні в  $i$ -му положенні водила.

$$K_{\text{н}\beta ij} = \frac{2\pi}{\pi_{i4j} + \pi_{i2j}} \quad (3)$$

Результати експериментального дослідження вказують на те, що найбільш навантаженим у цьому редукторі був сателіт під номером  $j = 3$ . Максимальне значення нерівномірності розподілу навантаження для цього сателіту спостерігалось у положенні водила  $i = 12$  і дорівнювало  $\Omega_{\text{max}} = 1,476$ . В цьому ж положенні концентрація навантаження по довжині зубців дорівнювала  $K_{\text{н}\beta} = 1,431$ . Максимальне значення концентрації навантаження по довжині контактних ліній  $K_{\text{н}\beta \text{max}} = 1,839$  було зафіксоване в положенні водила  $i = 25$ . Відповідно величина нерівномірності між сателітами в цьому положенні водила складала  $\Omega = 1,249$ .

Найменш навантаженим під час цього дослідження був сателіт  $j = 4$ . Максимальне значення нерівномірності навантаження для цього сателіту становило  $\Omega_{\text{max}} = 0,669$  в положенні водила  $i = 6$ . Відповідно концентрація в цьому положенні складала  $K_{\text{н}\beta} = 1,689$ . Найбільша величина концентрації навантаження по довжині контактних ліній для цього сателіту  $K_{\text{н}\beta \text{max}} = 2,0$  спостерігалась в положенні водила  $i = 33$ . В цьому ж положенні нерівномірність розподілу поміж сателітів становила  $\Omega = 0,749$ .

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** Результати експериментального дослідження вказують на існування функціонального зв'язку між нерівномірністю розподілу навантаження серед сателітів та його концентрацією по довжині контактних ліній. Максимуми цих двох параметрів для одного і того ж зачеплення не співпадають у часі. Найбільша концентрація навантаження по довжині зубців спостерігається в момент часу, коли зачеплення передає момент, величина якого значно менша за номінальний.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Arnaudov K.* Untersuchung des Lastausgleiches in Planetengetrieben [Text] / K. Arnaudov // *Mashinenbautechnik.* – 1973. — № 8. – s. 361 – 366.
2. *Кроль А.А.* О некоторых особенностях экспериментального исследования планетарных передач с датчиками на осях сателлитов [Текст] / А.А. Кроль // *Некоторые вопросы исследования авиационных передач: Сб. тр. Рижского института инженеров гражданской авиации.* – Рига, 1964. – Вып.45. – С. 3 – 18.
3. *Горобец И.П.* О методике экспериментального исследования планетарных редукторов [Текст] / И. П. Горобец, В. Н. Власенко, В. Н. Тюгин // *Респ. межвед.науч. – техн. сб.* – Киев, 1982. – Вып. 34. – С. 40 – 44.

- I. I. Kulbovskiy, PhD (Technical Sciences)*  
*(Associate Professor, Building Structures and Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)*
- S. A. Levkovsky*  
*(Senior Lecturer, Road Rollers Chair of the National Transport University)*
- V. M. Tyutin*  
*(Senior Lecturer, Road Rollers Chair of the National Transport University)*
- O. A. Nezlina, PhD (Historical Sciences)*  
*(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SINGLE PLANETARY GEAR IN URBAN TRANSPORT PROJECTS

*The experimental technique was created to find non – uniformity of torque distribution between planetary pinions and at the same time load distribution along the tooth. There were five strain gauges on axis of every planetary pinion. The result of laboratory test of the planetary reduction gear show that the purpose of this experiment was arrived.*

*Keywords: gear, planetary gear, experiment, strain gauges, strain gauges method, testing, metrology software.*

## REFERENCES

1. *Arnaudov K.* Investigation of load balancing in planetary gears [Text] / K. Arnaudov // Mashinenbautechnik. – 1973. – № 8. – P 361 – 366 (Deu)
2. *Krol A.* Some features of an experimental study of planetary gears with sensors on the axes of the satellites [Text] / A.A. Krol // Some problems of research aircraft Transmission: Collected papers Riga Institute of Civil aviatcii.- Riga, 1964. – Vyp.45. – P. 3 – 18. (Ru)
3. *Gorobets I. P.* On the method of experimental study of planetary gear units [Text] / I.P. Gorobets, V. Vlasenko, V.N. Tyutin // Rep. mezhved.nauch. – Techno. Sat. – Kyiv, 1982. – Vol. 34. – P. 40 – 44. (Ru)

УДК 656.07

*В. Я. Савенко, д.т.н., професор (завідувач кафедри «Будівництво та експлуатація доріг» Національного транспортного університету, м. Київ)*  
*О. В. Жигайло*  
*(аспірант кафедри «Будівництво та експлуатація доріг» Національного транспортного університету)*

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ДЛЯ РОЗРОБКИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ПРИ РЕФОРМУВАННІ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

*Розглянуті питання, щодо застосування моделей організаційного розвитку стосуються стану і перспектив розвитку дорожнього господарства на початкових стадіях управління проектами, в межах сформованих інституційних умов; проаналізовані проблеми, які зумовили необхідність проведення реформи, охарактеризована необхідність розробки стратегії розвитку підприємств дорожньої галузі та регулювання нею.*

*Ключові слова: організаційний розвиток, реформування, управління проектами, дорожнє господарство, ієрархія.*

*Рассмотрены вопросы, касающиеся применения моделей организационного развития, касающиеся состояния и перспектив развития дорожного хозяйства на начальных стадиях управления проектами в пределах сформированных институциональных условий; проанализированы проблемы, которые обусловили необходимость проведения реформы, охарактеризована необходимость разработки стратегии развития предприятий дорожной отрасли и регулирования ею.*

*Ключевые слова: организационное развитие, реформирование, управление проектами, дорожное хозяйство, иерархия.*

**Постановка проблеми.** На теперішній час питання реформування дорожнього господарства України набуває особливої актуальності, оскільки основною з проблем, що гальмує розвиток дорожньої галузі, є недостатній обсяг бюджетних ресурсів, що виділяються на належне функціонування дорожніх підприємств.

Розподіл рівнів стратегічного та поточного управління, планування та організації діяльності дорожнього господарства має досягатись розмежуванням основних функцій між центральним органом управління галуззю і регіональними службами дорожнього господарства.

Організація ефективного управління дорожнім господарством вимагає впровадження сучасних ефективних підходів у систему управління галуззю, здатних забезпечити:

© Савенко В. Я., Жигайло О. В., 2015

- тісну взаємодію органів управління дорожньою інфраструктурою з місцевими органами виконавчої влади;
- прозорість діяльності органів управління дорожнім господарством для цілей контролю як з боку державної влади, так і з боку громадськості;
- управління галуззю на основі комплексного довгострокового планування розвитку дорожнього господарства в контексті загальної стратегії розвитку транспортного комплексу і економіки в цілому з використанням моделей і методів планування та управління, прийнятих у світовій практиці.

З метою підвищення ефективності функціонування дорожнього господарства України та відокремлення функцій з державного управління і контролю від виробничо-господарської діяльності відбувається реформування організаційної структури управління дорожнім господарством України. Для цього необхідно правильно поставити пріоритети у досягненні цілей, стратегії розвитку, дослідити організаційні зміни при реалізації та управлінні проектами реформування дорожнього господарства України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний період часу конкретно питанням щодо застосування моделей організаційного розвитку до проектів реформування дорожнього господарства України майже не займалися, проте існує низка науковців і дослідників, які досліджують та аналізують процеси, моделі й методи організаційного розвитку підприємств, управління проектами та ефективність їх реалізації. До вчених, праці яких використовувалися у статті, належать: Мельник С.Г., який розглянув аспекти організаційного розвитку вітчизняних підприємств, Некрасов С.І., аналізував фактори організаційного розвитку підприємств.

**Мета статті.** Полягає у забезпеченні ефективного виконання процесу організаційних змін в проектах управління організаційним розвитком дорожньої галузі України за допомогою застосування основних моделей організаційного розвитку та взаємопов'язаних зі стратегією розвитку ієрархічних форм реалізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Зміна зовнішніх умов функціонування підприємств дорожньої галузі обумовлює необхідність перегляду форм і методів управління організаційним розвитком. Важливою ланкою внутрішнього середовища підприємства є його організаційна складова. У вітчизняній практиці реалізація моделей організаційного розвитку спрямована більше на всебічне інформаційне забезпечення діяльності суб'єкта господарювання з метою зменшення невизначеності його функціонування в умовах мінливого навколишнього середовища. Це обумовлює необхідність підвищення гнучкості організаційних схем управління підприємствами і швидкості організаційних змін на основі ефективного використання економічних можливостей управління [6, с.46].

Організаційний розвиток визначається як довгострокова робота з удосконалення процесів вирішення проблем і відновлення роботи організації шляхом більш ефективного спільного регулювання.

Організаційний розвиток (ОР) – сучасний метод розвитку організації за допомогою роботи з людськими ресурсами, що виник на перетині психології управління, організаційної і соціальної психології, менеджменту. ОР являє собою комплекс заходів щодо удосконалювання можливостей організації в вирішенні її внутрішніх проблем і забезпеченні високого рівня адаптації до зміни зовнішніх умов.

Завданнями організаційного розвитку є: діагностика стану організації; розроблення бачення, цілей, стратегій; модифікація установок, ціннісних орієнтирів, стилів поведінки; модернізація системи управління персоналом; розвиток комунікативної мережі організації; оптимізація організаційної структури; розроблення системи мотивації і стимулювання персоналу; формування командного духу і розвиток корпоративної культури.

Система цілей ОР містить:

- поліпшення погодженості між організаційною структурою, процесами, стратегією, людьми і культурою;
- створення і розвиток нових організаційних рішень;
- розвиток здатності організаційного самовідновлення [7].

Основними складовими (компонентами) процесу ОР або елементами ОР-програми є діагностична, процесна і підтримуюча. Перша, діагностична складова, являє собою безперервний збір системних даних. Вона фіксує увагу на всій системі в цілому, на її підсистемах і на системних процесах. Друга – дія (або втручання) – цей компонент містить у собі всі види діяльності, що розробляються для удосконалення організаційного функціонування. І нарешті, компонента підтримки процесу містить в собі діяльність, орієнтовану на підтримку і управління самим ОР-процесом. Перші два елементи відносять до організації, третій елемент пов'язаний із самим ОР-процесом [8].

Варто підкреслити, що організаційний розвиток – це безперервний процес, що ґрунтується на даних, отриманих з моделі дослідження дією, спирається на досвід, орієнтується на мету, створює стратегію змін і є результатом прикладної науки про поведінку. Схематично алгоритм реалізації ОР-програми наведений на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм реалізації ОР-програми

Чітко розроблена ОР-програма розгортається відповідно до стратегії або плану, що називається загальною ОР-стратегією. Ця стратегія може плануватися заздалегідь, а може з'явитися через деякий час.

Сучасна концепція організаційного розвитку побудована на існуванні ієрархії форм реалізації ОР на підприємстві (табл. 1). Кожна з форм реалізації ОР існує у взаємозв'язку зі стратегією розвитку підприємства в цілому та не повинна суперечити інноваційному розвитку персоналу.

*Таблиця 1. Ієрархія форм реалізації організаційного розвитку на підприємствах*

| <b>Форми реалізації ОР</b>         | <b>Напрями реалізації</b>   |
|------------------------------------|---|
| Підприємство в цілому              | Злагоджена робота підрозділів підприємства  |
| Міжгрупові організаційні відносини | Побудова оптимальної структури між групових відносин шляхом створення сприятливого соціально-психологічного клімату в організації                               |
| Групові відносини                  | Сприяння командо утворенню, прояву лідерства в групі, попередження конфліктів (управління конфліктами)  |
| Міжособистісні відносини           | Управління конфліктами, оптимізація міжособистісних відносин, розвиток навиків групового спілкування, розвиток самоусвідомлення, переконання та розуміння інших |
| Індивідуальний рівень              | Управління виконання індивідом окремих завдань, розвиток змістової діяльності   |

Як видно з табл.1, всі форми реалізації організаційного розвитку спрямовані на забезпечення злагодженої роботи структурних підрозділів підприємства шляхом створення гнучкої системи підготовки та перепідготовки фахівців, які в умовах мінливого навколишнього середовища здатні забезпечити високу адаптивність та внутрішнє організаційне зростання організації в цілому. Звідси об'єктом ОР підприємства виступають процеси інноваційного розвитку персоналу [3, с.48]. Залежно від національної специфіки системні конфігурації управління розвитком організацій можуть значно відрізнятися. У загальному вигляді схема управління розвитком повинна мати конфігурацію, зображену на рис. 2.



*Рис. 2. Основні складові системи управління розвитком організації і їх взаємозв'язок*

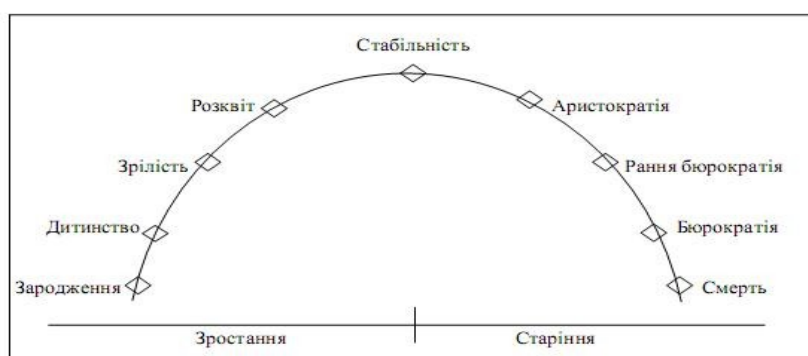
*Таблиця 2. Моделі організаційного розвитку підприємства*

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Політика розвитку підприємств дорожньої галузі при реформуванні повинна містити в собі визначення пріоритетів довгострокового соціального і техніко-економічного розвитку, збереження і розвиток інвестиційного і науково-виробничого потенціалу, здійснення цільових програм і проектів, включаючи програми реструктуризації організацій. Пріоритети розвитку повинні систематизуватися з урахуванням економічних, науково-технічних і соціальних аспектів. У зарубіжній практиці виділяють дві основні моделі для дослідження ОР підприємства: модель Айзедиса і модель Грейнера (табл. 2) [1, с.48-49].

Основу моделі природної орієнтації становить модель Айзедиса, у якій розглядається три укрупнені фази життєвого циклу – зростання, зрілість, старіння (наведено на рис. 3) [4].

| Моделі ОР              | Складові моделі |                  |                         |
|------------------------|-----------------|------------------|-------------------------|
|                        | Стадії          | Етапи            | Напрямок розвитку       |
| <i>Модель Айзедиса</i> | Зростання       | Зародження       | Творчість               |
|                        |                 | Дитинство        | Керівництво             |
|                        |                 | Давай-давай      |                         |
|                        |                 | Зрілість         | Делегування повноважень |
|                        |                 | Розквіт          |                         |
|                        |                 | Стабільність     |                         |
|                        | Старіння        | Аристократія     | Координація             |
|                        |                 | Рання бюрократія |                         |
|                        |                 | Бюрократія       |                         |
| Смерть                 |                 | Співробітництво  |                         |
| <i>Модель Грейнера</i> | Молодість       | Криза лідерства  | Творчість               |
|                        |                 | Криза автономії  | Керівництво             |
|                        |                 | Криза контролю   | Делегування повноважень |
|                        | Зрілість        | Криза меж        | Координація             |
|                        |                 | Криза довіри     | Співробітництво         |



*Рис. 3. Модель Айзедиса*

Найважливішими факторами, що впливають на середню тривалість життєвого циклу підприємства, є: розмір підприємства, галузева приналежність, тип товару, ступінь комбінування, диверсифікації, горизонтальної та вертикальної

інтегрованості, технічний рівень виробництва, загальний економічний стан, особливості управління тощо [2].

Л. Грейнер у моделі розвитку, створеній у 70-х роках минулого століття, розглядає організаційний розвиток як послідовність кризових точок, таким чином, автор представляє процес послідовно наступаючих стадій розвитку, що розмежовуються п'ятьма моментами організаційних криз (наведено на рис. 4) [3, 4]:

- стадія створення – криза лідерства;
- стадія формалізація та побудова структури – криза автономії;
- стадія делегування – криза контролю;
- стадія координації – криза меж;
- стадія співробітництва – криза довіри (синергії).



Рис. 4. Модель Грейнера

На думку науковців, серед яких відмітимо Клягіна С. В. та Коршунову О. Д. запропоновані моделі не знайшли застосування у практиці функціонування вітчизняних підприємств, оскільки не дозволяють отримати інформацію про ресурсні та грошові затрати, які підприємство повинно понести для подолання кризових явищ. Більш прийнятною, на їх думку, є модель ОР, запропонована Мироненком Ю. Д. і Терехановим А. К. (рис. 5).

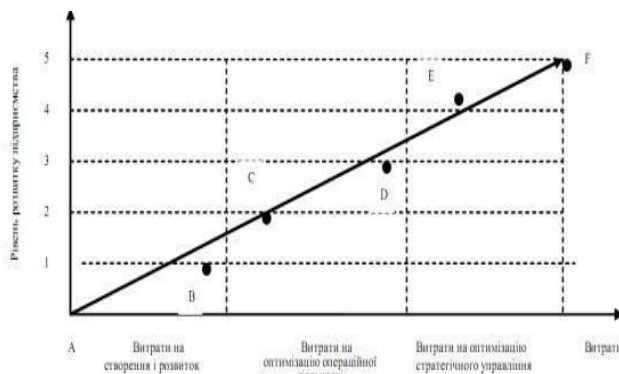


Рис. 5. Модель організаційного розвитку Мироненка Ю. Д. і Тереханова А. К. [4]

Точки на моделі позначають, як: А

– задум створення підприємства; В

– реалізація ідей;

С – структуризація, тобто раціональне управління функціями;

Д – раціональне управління процесами;

Е – національне управління потенціалом підприємства;

Ф – раціональне управління нематеріальними активами.

Запропонована модель відображає залежність рівня розвитку підприємства від величини понесених витрат на її організаційний розвиток.

Таким чином, організаційний розвиток – сучасний метод розвитку організацій та установ дорожньої галузі при реформуванні за допомогою роботи з людськими ресурсами, що виник на перетині психології управління, організаційної і соціальної психології, менеджменту. ОР являє собою комплекс заходів щодо удосконалювання можливостей організації в вирішенні її внутрішніх проблем і забезпеченні високого рівня адаптації до зміни зовнішніх умов.

Досягнення цілей організаційного розвитку потребує регулярного і цілісного стратегічного управління змінами, що дозволять об'єднати перетворення функціонально-організаційної структури, бізнес-процесів діяльності та ресурсів, та врахувати особистісні характеристики персоналу. Регулярне удосконалення системи стратегічного та оперативного управління організаційним розвитком дозволить підприємствам дорожнього господарства з мінімальними витратами здійснити перехід при реформуванні на новий рівень свого розвитку.

**Висновки та пропозиції.** Розвиток підприємств дорожньої галузі при реформуванні є незворотнім процесом, і необхідність змін рано чи пізно виникає незалежно від того, якої ідеології їх зростання. Однак, від того, як будуть здійснюватися зміни, залежить ефективність функціонування підприємств та їх існування в системі дорожнього господарства цілому. Оскільки стратегічні зміни підприємств адекватні змінам його зовнішнього конкурентного середовища, це – об'єктивна необхідність. Саме стратегічні зміни є головними носіями нової якості в ході сталого розвитку підприємства, і саме стратегічні зміни є ключовим об'єктом управління в процесі реалізації як кожної спеціалізованої стратегії, так і загально-організаційної стратегії в цілому.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Аглицкий И.* Многоконтурное управление в социально-экономических системах / И Аглицкий // Проблемы теории и практики управления. – 2006. – № 6. – С. 27-35.
2. *Грузинов В. П.* Экономика предприятия: учеб. пособие / В. П. Грузинов, В. Д. Грибов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 208 с
3. *Ефремов В. С.* Стратегическое планирование в бизнес-системах / В. С. Ефремов. – М.: Финпресс, 2001. – 238 с.
4. *Мироненко Ю. Д.* Организационное развитие компании [Электронный ресурс] // Корпоративный менеджмент. – 2008 / Мироненко Ю. Д., Тереханов А. К. – Режим доступа: [http://cfin.ru/managment/strategy/change/for\\_org\\_dev.shtml/](http://cfin.ru/managment/strategy/change/for_org_dev.shtml/)
5. *Мельник С. Г.* Теоретико – методологічні аспекти організаційного розвитку вітчизняних підприємств // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 6, Т. 2. – С. 46 – 51.
6. *Некрасов С. И.* Факторы организационного развития предприятий / С.И. Некрасов, Н.А. Некрасова, О.В. Бусыгин. – М.: Академия Естествознания, 2009. – 322 с.
7. *Хміль Ф. І.* Основи менеджменту: [підручник] / Ф. І. Хміль. – К.: Академвидав, 2003. – 608 с.
8. *Шевченко Л.С.* Управління організаційним розвитком: методологічний аспект проблеми // Науково-технічний збірник України. – 2006. – №71. – С. 131 – 138.

*Oksana V. Zhygailo*  
*(Graduate Student of Construction and maintenance of roads Chair,*  
*National Transport University)*

**MODELS OF ORGANIZATIONAL DEVELOPMENT PROJECT  
MANAGEMENT FOR THE DEVELOPMENT OF REFORMING ROAD  
FACILITIES UKRAINE**

*This article briefly describes the main reasons that led to the road sector reform in Ukraine. In turn, to improve the efficiency and operation of companies in the road sector reform is necessary to carry out a professional project management. Changing external conditions of functioning enterprises road sector necessitates revision of the basic methods and hierarchical form of management of organizational development.*

*Keywords: organizational development, reformation, project management, road sector, hierarchy.*

**REFERENCES**

1. Aglitskij I., *Mnogokonturnoe upravlenie v sotsialno-ekonomicheskikh sistemah* [Multiplanimetric management of socio-economic systems]. Problemy teorii i praktiki upravlenija [Problems of the theory and practice of management]. 2006, № 6, pp. 27-35.
2. Gruzinov V.P., Gribov V.D., *Ekonomika predpriyatija* [Enterprise economy ]. Finansy i statistika [Finance and Statistics]. Moscow, 2003, 2nd ed., rev. and add 208 p.
3. Efremov V.S., *Strategicheskoe planirovanie v biznes-sistemah* [Strategic planning in business systems]. Moscow, Finpress, 2001, 238 p.
4. Mironenko Ju.D., Terehanov A.K. *Organizatsionnoe razvitie kompanii* [Organizational Development Company]. Korporativnyj menedzhment [Corporate management]. 2008, Available at : [http://cfin.ru/management/strategy/change/for\\_org\\_dev.shtml/](http://cfin.ru/management/strategy/change/for_org_dev.shtml/).
5. Melnik S.G. *Teoretiko-metodologichni aspekti organizatsijnogo rozvitku vitchiznyanih pidpriemstv* [Methodological aspects of organizational development of domestic enterprises]. Visnik Hmelnytskogo natsionalnogo universitetu [Herald Khmelnytsky National University]. 2009, № 6, pp. 46 – 51.
6. Nekrasov S.I., Nekrasova N.A., Busygin O.V. *Faktory organizatsionnogo rozvitija predpriyatij* [Factors of organizational development of the enterprises]. Akademiya Estestvoznaniya [Academy of Natural Sciences]. 2009, 322 p.
7. Hmil F.I. *Osnovy menedzhmentu* [Fundamentals of Management]. Akademvidav [Academic Publishers]. Kyiv, 2003, 608 p.
8. Shevchenko L.S. *Upravlinnja organizatsijnim rozvitkom: metodologichnij aspekt problemy* [Management organizational development: methodological aspect of the problem]. Naukovo-tehnichnij zbirnik Ukraïni [Scientific and technical collection Ukraine]. 2006, №71. pp.131 – 138.

УДК 629.018.4

*Даніленко Е. І., д.т.н., професор (завідувач кафедри «Залізнична колія і колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*Косарчук В. В., д.т.н., професор (завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*Пилипенко А. П., к.т.н. (доцент кафедри «Механіка, опір матеріалів та будівництво» Національного університету біоресурсів і природокористування України)*  
*Йосифович Р. М. (доцент кафедри «Залізнична колія і колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*Рафальський О. Ю. (аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### **ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ**

*Рассмотрены основные элементы экспериментальной методики оценки долговечности и остаточного ресурса рельсов. Обоснован выбор нагрузок и режимов нагружения образцов.*

*Ключевые слова: рельсы, циклическая нагрузка, контактно-усталостные дефекты, остаточный ресурс.*

*Розглянуто основні елементи експериментальної методики оцінки довговічності рейок та залишкового ресурсу рейок. Обґрунтовано вибір величин і режимів навантажень.*

*Ключові слова: рейки, циклічне навантаження, контактно-втомні дефекти, залишковий ресурс.*

Рейки є одним з елементів залізничної колії, що найчастіше виходять з ладу і потребують своєчасної заміни. Довговічність залізничних рейок залежить від багатьох факторів, які умовно можна розділити на металургійні, експлуатаційні та конструктивні.

До основних металургійних факторів можна віднести хімічний склад рейкової сталі, спосіб її виплавки, ступінь структурної неоднорідності матеріалу рейки внаслідок прокатки, способи і режими термічної обробки рейок.

© Даніленко Е. І., Косарчук В. В., Пилипенко А. П., Йосифович Р. М., Рафальський О. Ю., 2015

Матеріал рейок є неоднорідним, має виразну деформаційну текстуру, яка спричиняє появу анізотропії всіх механічних властивостей, а також наявність неоднорідних полів залишкових напружень.

В процесі експлуатації матеріал рейки піддається впливу різноманітних факторів – силових, кліматичних, електромагнітних тощо. Основний вплив на пошкоджуваність рейок мають силові впливи на рейку, які залежать від типу рухомого складу, швидкості й інтенсивності його руху, плану залізничної колії, якості її утримання, тощо. Кліматичні фактори впливають на величину темпера-турних напружень, на швидкість накопичення корозійних пошкоджень, тощо. Електромагнітні поля високої густини призводять до певних змін у мікроструктурі матеріалу рейки, а відтак, до зміни його механічних властивостей.

Конструктивні особливості верхньої будови залізничної колії (вертикальна жорсткість колії, величина нахилу рейки, ширина колії тощо), геометричні параметри контактних поверхонь рейок і коліс рухомого складу також мають значний вплив на величину і характер розподілу напружень і деформацій в рейках. Указані фактори мають значний вплив на еволюцію напружено-деформованого стану рейки в процесі експлуатаційних навантажень під колесами рухомого складу, на кінетику накопичення пошкоджень, появу дефектів і, врешті решт, на загальну довговічність рейок.

Якість рейкової сталі зазвичай оцінюють за даними механічних випробувань в умовах статичного, циклічного і динамічного навантаження. При цьому зразки для випробувань вирізають з готових рейок. Діючі вітчизняні та міжнародні стандарти встановлюють граничні значення для деяких характеристик механічних властивостей рейкової сталі за вказаних випробувань, які стосуються лише нових рейок. Зміни характеристик механічних властивостей рейкової сталі, що відбуваються внаслідок згаданих вище впливів, у діючих стандартах не враховуються. Заводи-виробники рейок надають певні гарантійні терміни експлуатації рейок, проте за якою методикою визначається ці терміни, невідомо.

Слід зауважити, що ще до закінчення нормативного терміну експлуатації рейки матимуть певну величину зносу та дефекти, в основному, контактнотомного походження. Проте нормативні методики визначення залишкового ресурсу рейок наразі відсутні.

В роботі [1] розглянуто можливі підходи до оцінки залишкового ресурсу рейок залізничної колії. У даній роботі розглянуто методику проведення експериментальних досліджень щодо оцінки залишкового ресурсу рейок залізничної колії метрополітену, для яких скінчився нормативний термін експлуатації (надалі такі рейки будемо називати пошкодженими або дефектними). Основну увагу в роботі приділено вибору схем та режимів силового навантаження, роз-мірів зразків, засобів вимірювання деформацій і дефектоскопії.

Для експериментального дослідження довговічності дефектних рейок вибрані механічні випробування на циклічну витривалість дослідних зразків рейок за умов трьох точкового згину [2]. Вибір даної методики зумовлений кількома чинниками. Порівняно з іншими, вона є більш простою з точки зору апаратної реалізації та не потребує виготовлення дослідних зразків складної форми. Крім того, відповідно до американського стандарту ANSI/AWS D15.2-94, вказана методика використовується для оцінки якості зварних швів рейок [3].

Звісно, методика оцінки залишкового ресурсу пошкоджених рейок має враховувати як умови роботи рейки у колії метрополітену, так і характер наявних дефектів та їх можливий розвиток при подальшій експлуатації рейки.

Як свідчать результати статистичного аналізу [4], найбільш поширеними дефектами рейок, що експлуатуються в коліях Київського метрополітену, є викривлення на поверхні кочення або робочій викружці головки рейки. Такі викривлення є типовими дефектами контактної-втомного походження. Розвиток таких дефектів на деяких ділянках колії починається уже після 3 – 4 місяців експлуатації.

За діючими в Україні нормами проектування колії [5] величина нормальних напружень від згину балки не повинна перевищувати допустимого напруження,

за яке приймається умовна (на базі випробувань  $2 \cdot 10^6$  циклів) границя втоми матеріалу рейки при знакозмінному навантаженні з коефіцієнтом асиметрії

$r = -0,1$ , тобто  $\sigma_{-0,1}$ . Границя втоми матеріалу залежить, звісно, від марки рейкової сталі та технології виготовлення рейки.

ВНДІЗТ рекомендує [2] проводити експерименти по визначенню втомної довговічності нових рейок на базі випробувань  $2 \cdot 10^6$  циклів навантаження з коефіцієнтом асиметрії циклу  $r = 0,1$  і частотою  $5 \text{ Гц}$  за умов трьох точкового згину. За цією методикою визначають максимальне навантаження, за яким рейка у кожній із серій дослідних зразків (по 6 – 8 штук у серії) витримує базове число циклів навантаження без руйнування. Для умов магістральних залізниць ВНДІЗТом прийнято, що довжина кожного зразка повинна становити 1200 мм, а відстань між опорами – 1000 мм. Величина вертикальної сили може змінюватись у межах від середньої динамічної до максимальної динамічної сили, тобто

$$P_{розр} = P_{дин}^{сер} \div P_{дин}^{max}$$

Проте слід мати на увазі, що втомна довговічність рейок, яка визначена за такою методикою, зменшується в процесі експлуатації. Причиною цього є постійне накопичення мікропошкоджень (а з часом і макротріщин) у матеріалі рейки внаслідок експлуатаційних навантажень. Так, за даними ВНДІЗТ, втомна довговічність нетермоміцнених рейок Р50 зменшується з  $290 \div 320 \text{ кН}$  до  $280, 250, 240 \text{ кН}$  після пропуску вантажу, що складає 350, 400, 700 млн. т. бруто, відповідно.

Вибір і обґрунтування схеми завантаження рейки в експериментах на циклічну витривалість має базуватись на принципах якомога більшої відповідності умов проведення експериментів до умов роботи рейки в колії. При цьому за основу потрібно брати напружений стан рейки, тобто характер і величину напружень, що виникають в головці та підшві рейки під дією колісного складу.

Відповідно до схеми сил, що діють на рейку (рис. 1), максимальні нормальні напруження при згині рейки у вертикальній та горизонтальній площинах виникають у найбільш віддалених від головних центральних осей точках поперечного перерізу рейки. Саме тому в практичних інженерних розрахунках колії на

міцність [5] визначаються нормальні напруження в кромках головки  $\sigma_{2-k}$  і

підшви рейки  $\sigma_{n-k}$  (рис. 2).

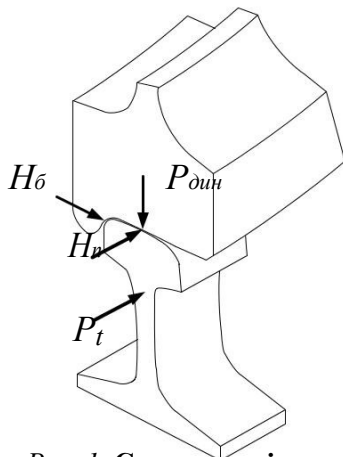


Рис. 1. Схематизація сил, що діють на рейку

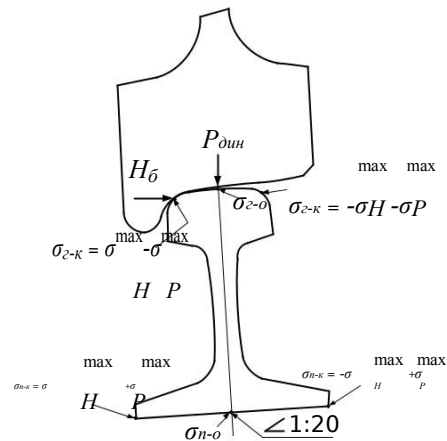


Рис. 2. Схема розподілу напружень у рейці від дії сил  $P_{дин}$  та  $H_{б}$ .

Величина вказаних напружень в основному залежить від динамічного згинаючого моменту у вертикальній площині  $M_{дин}$ . Вплив горизонтальної бічної сили  $H_{б}$ , яка викликає появу крутного моменту, а також вплив позacentрового прикладання вертикального навантаження  $P_{дин}$  враховується введенням спеціальних коефіцієнтів, величини яких наведені в [5]. При цьому рейка розглядається як балка, що опирається на суцільну пружну основу.

В правилах розрахунку колії [5] нормальні напруження в кромках головки

□  $\sigma_{z-k}$  і підшви рейки  $\sigma_{n-k}$  визначаються за формулами:

$$\sigma_{z-k} = m_{z-k} \cdot \sigma_{n-o} ; \sigma_{n-k} = f \cdot \sigma_{n-o} , \quad (1)$$

де  $\sigma_{n-o} = \frac{M_{дин}}{W_n}$  – нормальне напруження по осі підшви рейки від дії згинаючого моменту (див. рис. 2);  $f$  – коефіцієнт, що враховує дію горизонтальної бічної сили і позacentрове прикладання вертикального навантаження (величини коефіцієнтів  $f$  в залежності від типу рухомого складу та плану лінії розраховані за експериментальними даними й знаходяться в довідкових таблицях правил розрахунку [5]);  $W_n$  – величина осьового моменту опору підшви рейки у вертикальній площині;  $m_{z-k}$  – коефіцієнт, що враховує перехід від осьових напружень у підшві до напружень у кромках головки рейки. Він залежить від типу рейки і знаходиться за формулою:

$$m_{z-k} = \frac{Z_z + (f-1)b_z}{Z_n b_n} , \quad (2)$$

де  $b_z, b_n$  – відповідно ширина головки і підшви рейки;  $Z_z, Z_n$  – відстань від горизонтальної центральної осі до верху головки і низу підшви, відповідно.

Величина динамічного згинаючого моменту  $M_{дин}$  визначається за формулою:

$$M_{дин} = \frac{1}{4k} \left( | P_{розр} + \sum_i P_i \cdot \mu_i | \right) \quad (3)$$

де  $k = 4 \sqrt{\frac{U \cdot Z}{4EI}}$  – коефіцієнт відносної жорсткості пружної основи та рейки;  $U$  –

– модуль пружності підрейкової основи;  $EI$  – жорсткість рейки при згині у вертикальній площині.

Згідно з нормативною методикою розрахунку колії на міцність приймають [5], що у розрахунковому перерізі рейки (тобто в перерізі, де визначається на-

пружений стан) діє статична сила  $P_{розр}$ , яка дорівнює максимальному ймовірному динамічному колісному навантаженню, тобто  $P_{розр} = P_{дин}^{max}$ . У практич-

них розрахунках враховують також навантаження від 2-х сусідніх коліс, які розташовані по обидва боки від розрахункового (впливом інших коліс нехтують), при цьому за величину цього навантаження  $\bar{P}$  приймають середнє динамічне навантаження  $P_{сер.дин}$ . Вагові функції  $\mu^i$  визначаються так:

$\mu_i = e^{-kx} (\cos kx_i - \sin kx_i)$ , де  $x_i$  відповідає відстаням від розрахункового перерізу до кожного колеса.

З урахуванням того, що найбільш небезпечні дефекти рейок при експлуатації в колії накопичуються на поверхні кочення головки рейки, у якості критеріальних слід розглядати напруження, що виникають в головці рейки.

Таким чином, при виборі величини необхідного навантаження для дослідного зразка рейки, що випробовується на витривалість, слід орієнтуватись на рівень експлуатаційних напружень у рейках, які визначаються за формулами (1) та на величину згинаючого моменту, що визначається за формулою (3).

Потрібно також приймати до уваги зміну знаку нормальних напружень у розрахунковому перерізі головки рейки при проходженні коліс поїзду по колії. Відповідно до [5] найбільші за величиною стискаючі нормальні напруження будуть відповідати максимальному згинаючому моменту, тобто діяти у перерізі

рейки під колесом (при  $x_i = 0$ ), а максимальні напруження розтягу на поверхні

$$\frac{\pi}{2}$$

головки рейки будуть діяти на відстані  $x_i = \frac{\pi}{2k}$  від точки контакту колеса з рейкою (рис. 3), де  $k$  – коефіцієнт відносної жорсткості основи та рейки.

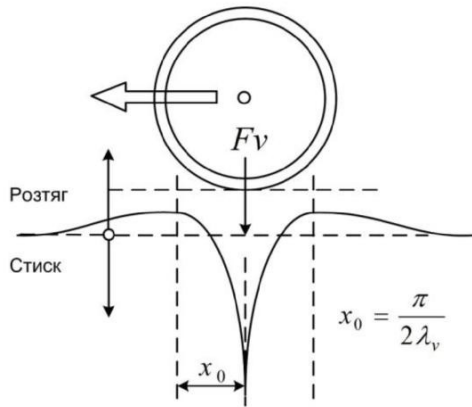


Рис. 3. Схема розподілу поздовжніх напружень в головці від згину рейки під дією одного колеса

Схема механічних випробувань на циклічну витривалість за умов трьох точкового згину балки наведена на рис. 4. За схемою на рис. 4, а у головці рейки діятимуть нормальні напруження стиску (надалі називатимемо її схемою № 1), а за схемою на рис. 4, б – нормальні напруження розтягу (надалі схема № 2).

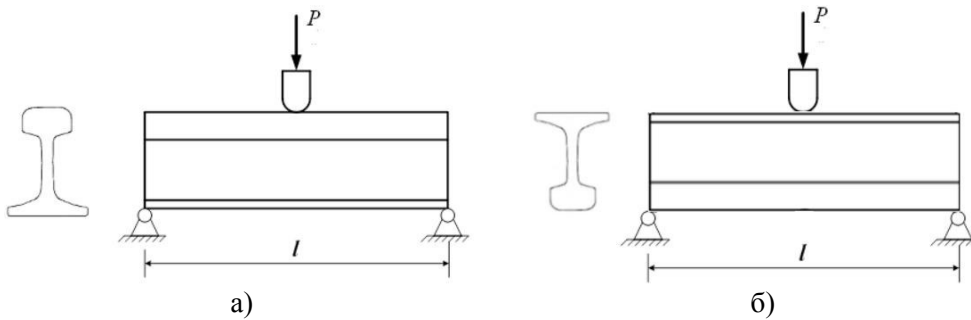


Рис. 4. Схема трьох точкового згину зразка рейки при випробуванні на циклічну витривалість: а) за схемою № 1 (головкою вверх); б) за схемою № 2 (головкою вниз).

Схема № 1 є загальноприйнятою при експериментальному дослідженні циклічної витривалості рейок. Така схема навантаження зразка рейки лише певною мірою моделює роботу рейки у колії метрополітену, адже в даних експериментах поверхневі шари головки рейки постійно знаходяться під дією лише стискаючих напружень, що циклічно змінюються відповідно коефіцієнту асиметрії циклу, рекомендоване значення якого  $r = 0,1$ . При дослідженні нових рейок така схема експерименту є цілком прийнятною.

Проте для оцінки залишкового ресурсу дефектних рейок проведення експериментів лише за схемою № 1, на наш погляд, є недостатнім. Це витікає з наступних міркувань. Найбільш поширеними дефектами рейок, що експлуатуються в коліях Київського метрополітену, є викришування на поверхні кочення або робочій викружці головки рейки. Такі викришування є результатом

взаємодії численних втомних мікро- і макротріщин, що виникають на поверхні головки рейки внаслідок навантаження колесами рухомого складу. Вершини тріщин є дуже сильними концентраторами напружень. Величина розтягуючих напружень (див. рис. 3) в головці рейки може досягати  $20 \div 25\%$  від величини стискаючих напружень за умов рівнопружної основи [5]. В реальних умовах основа не є рівнопружною, до того ж і колеса і рейки можуть мати нерівності, тому рівень розтягуючих напружень може бути значно вищим. З урахуванням зростання рівня нормальних напружень за рахунок концентрації це може призвести до подальшого розвитку втомних тріщин і росту наявних дефектів (викришувань) на головці рейки, а також до появи дефектів іншого типу – поперечних тріщин, які є найбільш небезпечними з точки зору безпеки руху.

З наведеного аналізу витікає, що вибір схеми навантаження зразка за умов трьох точкового згину має принципове значення. Тому для більш точної оцінки залишкового ресурсу рейок слід обов'язково проводити експериментальні дослідження циклічного згину рейок з реалізацією розтягуючих напружень у головці рейки за схемою № 2 (див. рис. 4, б).

При розрахунках колії на вплив вертикальних динамічних навантажень використовують наступні розрахункові параметри колії [5]:

– розрахункову сумарну вертикальну жорсткість рейкової нитки  $K_Z (p-n)$ , що враховує сумісну роботу рейок і підрейкової основи;

– вертикальну сумарну жорсткість точкової опори  $K_{Z0}$ ;

– вертикальний модуль пружності підрейкової основи  $U_Z$ ;

– вертикальний модуль пружності підшпальної основи  $U_{Znu}$ ;

– коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою (коефіцієнт постелі шпали)  $C_b$ ;

– геометричні характеристики елементів конструкції верхньої будови колії (моменти інерції і моменти опору) рейок і шпал (або інших спеціальних конструкцій при розрахунках оригінальної конструкції колії);

– механічні характеристики матеріалів основних елементів верхньої будови колії, тобто модуль пружності рейкової сталі, модулі пружності при роботі на згин, стиск і зминання дерева або залізобетону (залежно від застосовуваних конструкцій підрейкових опор).

Коефіцієнт пружного стискання баласту під шпалою (коефіцієнт постелі)  $C_b$  є одним із найважливіших розрахункових параметрів верхньої будови колії. Від нього залежать жорсткість рейкової нитки, модуль пружності колії і сумарна жорсткість точкових опор.

Коефіцієнт постелі залежить від роду баласту, опорної площини шпали або бруса, характеристик згину шпали або бруса під навантаженням. За результатами експериментальних досліджень установлені наступні значення коефіцієнтів постелі  $C_b$ , що наведені в табл. 1.

Наступною найважливішою характеристикою колії, без якої не можна обійтися при розрахунках колії на міцність, є вертикальний модуль пружності підрейкової основи  $U_Z$ . Модуль пружності підрейкової основи визначається в

[5] як відношення сумарної точкової жорсткості підрейкових опор  $K_{Z0}$  до

відстані між опорами (міжшпальної відстані  $l_{ш}$ ):

$$U_Z = \frac{K_{Z0}}{l_{ш}} \quad (4)$$

**Таблиця 1. Коефіцієнт пружного стискання баласту**

**під шпалою  $C_B^*$ , МПа/м**

|           | Дерев'яні шпали й бруси               |                  | Залізобетонні шпали, бруси, плити<br>Щебеневий баласт |
|-----------|---------------------------------------|------------------|---|
|           | Гравійний або піщано-гравійний баласт | Щебеневий баласт |   |
| Шпали     | 60-80                                 | 80-100           | 160-200   |
| Бруси**)  | 100-120                               | 100-160          | 210-250   |
| З/б плити | -                                     | -                | 400-1000  |

\*) У таблиці наведені значення  $C_B$  для умов літнього (не замерзлого) баласту. Для умов зими при замерзлому щебеновому баласті значення  $C_B$  зростають для колії на залізобетонних шпалах приблизно в 1,5 рази, для колії на дерев'яних шпалах приблизно в 1,75 рази. Для колії на піщано-гравійному баласті значення  $C_B$  зростають в 2-2,5 рази.

\*\*) Для брусів стрілочних переводів вказані менші значення  $C_B$  слід приймати для зовнішніх рейкових ниток, що є крайніми до торців шпал, а більші значення – для внутрішніх ниток. В інших випадках більші значення відповідають добре ущільненому баласту, менші – середньо ущільненому.

Розрахункові значення модуля пружності підрейкової основи  $U_Z$  для звичайних конструкцій колії на дерев'яних та залізобетонних шпалах наведені у табл. 2.

При розрахунках також треба знати таку важливу характеристику, як розрахункову сумарну вертикальну жорсткість рейкової нитки  $K_{Z(p-n)}$ , що враховує сумісну роботу рейок і підрейкової основи. Вона визначається наступним чином:

$$K_{Z(p-n)} = 64EI \left( \frac{1}{l_{ш}^3} + \frac{1}{U_Z} \right) \quad (5)$$

де  $EI$  – жорсткість рейки при згині у вертикальній площині;  $E=2,1 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності рейкової сталі.

У довідковій літературі не наведено даних щодо модуля пружності рейкової основи, жорсткості підрейкових опор і коефіцієнта пружного стискання баласту під шпалами для конструкцій колій метрополітену. Тому в подальших розрахунках будемо користуватись довідковими даними для залізничних колій звичайної конструкції з урахуванням корегування по епюрі шпал, типу скріплень і умовам експлуатації.

При розрахунку максимального згинаючого моменту за формулою (3) для практичних цілей можна не враховувати дію сусідніх коліс і прийняти макси-

мальне еквівалентне навантаження рівним максимальному динамічному навантаженню від одного колеса на рейку.

Таким чином, базуючись на принципах еквівалентності роботи рейки в експлуатаційних умовах метрополітену, при проведенні експериментальних досліджень на циклічну витривалість дефектних рейок за схемою № 1 за величину діючої на зразок рейки сили можна прийняти величину розрахункової динамічної сили. За наведеною в [5] методикою розрахуємо параметри експериментів, а саме величину максимального згинаючого моменту та необхідну відстань між шарнірними опорами для двох схем навантаження зразка рейки (див. рис. 4).

**Таблиця 2. Розрахункові значення сумарної точкової жорсткості  $K_{z0}$  (кН/м) і модуля пружності підрейкової основи  $U_z$  (МПа) для звичайної колії**

| Вид підрейкової основи    |           | Залізобетонні шпали |       |          |       |          |       | Дерев'яні шпали Д2, Д0 |       |      |
|---------------------------|-----------|---------------------|-------|----------|-------|----------|-------|------------------------|-------|------|
| Тип проміжного скріплення |           | КБ-65               |       | КПП-1    |       | КПП-5    |       |                        |       |      |
| Пружні характеристики     |           | $K_{z0}$            | $U_z$ | $K_{z0}$ | $U_z$ | $K_{z0}$ | $U_z$ | $K_{z0}$               | $U_z$ |      |
| Дерев'яні шпали           | Піта      | 1680                | 36750 | 61,2     | 44150 | 73,6     | 37590 | 62,7                   | 14160 | 23,6 |
|                           |           | 1840                |       | 67,7     |       | 81,3     |       | 69,2                   |       | 26,1 |
|                           |           | 2000                |       | 73,5     |       | 88,3     |       | 75,2                   |       | 28,3 |
| Дерев'яні шпали           | Пресовані | 1680                | 44140 | 73,6     | 55270 | 92,1     | 45360 | 75,6                   | 18180 | 30,3 |
|                           |           | 1840                |       | 81,3     |       | 101,8    |       | 83,5                   |       | 33,5 |
|                           |           | 2000                |       | 88,3     |       | 110,6    |       | 90,7                   |       | 36,4 |

Вихідними даними для таких розрахунків є наступні величини, що характеризують особливості рухомого складу Київського метрополітену:

- статичне навантаження на вісь візка вагону  $P_{cm} = 75$  кН;
- середня швидкість руху  $V = 70$  км/год;
- маса не підресорених частин екіпажу, що приведена до одного колеса  $q_k = 6,47$  кН;
- жорсткість ресорного підвішування візка, що приведена до одного колеса  $J_p = 650$  кН/м;
- статичний прогин ресорного підвішування візка  $f_{cm} = 89$  мм;
- діаметр коліс рухомого складу  $d = 720$  мм.

Щодо розрахункових характеристик колії, то розглядали два варіанти колії – на дерев'яних та на залізобетонних шпалах. Для обох типів колії приймали наступні вихідні дані:

- радіус кривини колії  $R = 400$  м;
- тип рейок – Р50, не термозміцнені, середня величина зносу головки 6 мм;
- епюра шпал – 1840 шп/км;
- осьовий момент інерції рейки Р50 (зі зносом 6 мм)  $I = 1813$  см<sup>4</sup>;
- осьовий момент опору рейки по підшві  $W_n = 273$  см<sup>3</sup>;
- осьовий момент опору рейки по головці  $W_z = 227$  см<sup>3</sup>;
- площа підкладки під рейкою  $\omega_n = 646$  см<sup>2</sup>.

За цими даними були розраховані величини максимальних динамічних навантажень  $P_{дин}^{max}$  від колеса на рейку, що склали 88,27 кН та 91,19 кН для колії на дерев'яних та на залізобетонних шпалах, відповідно. Таким чином, за розрахункове значення навантаження дослідного зразка рейки можна прийняти середнє значення  $P_{дин}^{max}$  для згаданих типів колії, тобто  $P_{розр} = 90$  кН.

Довжину дослідного зразка рейки визначимо з умови еквівалентності згинаючих моментів для зразка і для рейки у колії. Для цього визначимо величину максимальних згинаючих моментів для двох типів колії – на дерев'яних та на залізобетонних шпалах.

Для колії на дерев'яних шпалах модуль вертикальної пружності підрейкової основи дорівнює  $U_z = 33,5$  МПа (див. табл. 2), коефіцієнт відносної жорсткості основи і рейки  $k = 4 \sqrt{\frac{U_z}{4EI}} = 0,0122$  см<sup>-1</sup>; максимальний згинаючий момент в пере-

різі рейки під колісним навантаженням  $M_{дин}^{max} = \frac{1}{4k} P_{розр} = 18,5$  кН·м. Для колії

на бетонних шпалах маємо, відповідно,  $U_z = 81,3$  МПа;  $k = 0,0152$  см<sup>-1</sup>;  $M_{дин}^{max} = 14,8$  кН·м. За розрахунковий згинаючий момент приймемо більше значення, тобто  $M_{розр} = 18,5$  кН·м.

Знайдемо величину поздовжніх нормальних напружень, що викликані згином рейки під дією коліс рухомого складу (зазначимо, що напруження у головці рейки є стискаючими, а у підшві рейки – розтягуючими):

$$- \text{ по осі головки рейки } \sigma^{z-o} = \frac{M_{дин}}{W} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{227 \cdot 10^{-6}} = -81,4 \text{ МПа};$$

$$- \text{ по осі підшви рейки } \sigma^{n-o} = \frac{M_{дин}^e}{W_n} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{273 \cdot 10^{-6}} = 67,7 \text{ МПа}.$$

Максимальні поздовжні напруження в кромках головки  $\sigma_{z-k}$  і підшви

$\sigma_{n-k}$  рейки визначаються з урахуванням дії горизонтальних бічних сил в кривих ділянках колії за формулами (1). Для рейки Р50 і радіуса кривини колії  $R$

=400 м поправочні коефіцієнти дорівнюють  $f=1,63$  та  $m_{2-k}=1,499$  (див. [5]).

Таким чином, величини експлуатаційних напружень (для умов метрополітену) дорівнюватимуть:

$$-\sigma_{2-k} = m_{2-k} \cdot \sigma_{n-o} = -1,499 \cdot 67,7 = -101,45 \text{ МПа};$$

$$-\sigma_{n-k} = f \cdot \sigma_{n-o} = 1,63 \cdot 67,7 = 110,32 \text{ МПа}.$$

З урахуванням дії бічних горизонтальних сил та позацентрового прикладання вертикального навантаження зростання поздовжніх напружень в головці рейки

складає  $\frac{1014}{813,9} \cdot 5 = 1,246$  рази. Тому, вибираючи схему експерименту на витривалість, потрібно виходити з того, щоб нормальні поздовжні напруження в головці рейки дорівнювали напруженням, що з'являються при експлуатації в колії (при цьому саме головка рейки розглядається як найбільш навантажена зона, де насамперед з'являються дефекти).

Таким чином, виходячи з умови еквівалентності вказаних напружень, необхідно, щоб максимальний згинаючий момент зразка рейки Р50 при випробуваннях на витривалість був у 1,246 рази більший за момент, який був визначений для експлуатаційних умов ( $M_{розр}=18,5$  кН·м). Тобто випробування на витривалість треба проводити при значенні згинаючого моменту

$$M_{\max} = 1,246 \cdot 18,5 = 23,02 \text{ кН·м}.$$

Відомо, що величина максимального згинаючого моменту за умов трьох точкового згину балки дорівнює  $M_{\max} = \frac{Pl}{4}$ . Тобі робоча довжина зразка рейки

(відстань між шарнірними опорами) буде дорівнювати  $l = \frac{4M_{\max}}{P_{розр}} = 102,3$  см.

Таким чином, визначені необхідні параметри при випробуваннях на циклічну витривалість за схемою №1 (див. рис. 4, а):

- максимальна величина вертикального навантаження – 90 кН;
- мінімальна величина вертикального навантаження (з урахуванням величини коефіцієнта асиметрії циклу  $r = 0,1$ ) – 9 кН;
- форма циклу – синусоїдальна;
- частота навантаження – 5 Гц;
- довжина робочої частини зразка – 102,3 см;
- рівень максимальних напружень стиску на поверхні головки рейки – 101,45 МПа.

Тепер визначимо необхідні параметри для реалізації експериментів на циклічну витривалість зразків рейок за схемою № 2. Друга схема випробувань, як зазначалось вище, прийнята для перевірки впливу розтягуючих напружень у верхніх шарах головки рейки на процес накопичення втомних пошкоджень. Зразок рейки при цій схемі випробувань встановлюється головкою вниз (див. рис. 4, б).

Максимальні напруження розтягу виникають у головці рейки у перерізі, що знаходиться на відстані  $\frac{l}{2k}$  від перерізу, в якому діє вертикальне навантаження від колеса візка екіпажу (див. рис. 3). Їхня величина, за даними [5], складає не менше 21% від величини максимальних напружень стиску, тобто  $\sigma_{\sigma}^{(+)} = 0,21 \cdot \sigma_{\sigma-o} = 0,21 \cdot 81,4 = 17,1$  МПа. Якщо прийняти, що робоча довжина зразка рейки має бути рівною міжшпальній відстані (60 см), то для реалізації вказаних напружень потрібно зразок навантажувати силою у 18,9 кН.

В реальних умовах експлуатації ці напруження можуть бути вищими за рахунок нерівно пружності колії, тому рекомендується дещо збільшити зусилля навантаження зразка.

Тому остаточно можна прийняти такі параметри експерименту на циклічну витривалість за схемою №2 (див. рис. 4, б):

- максимальна величина вертикального навантаження – 31 кН;
- мінімальна величина вертикального навантаження (з урахуванням величини коефіцієнта асиметрії циклу  $r = 0,1$ ) – 3,1 кН;
- форма циклу – синусоїдальна;
- частота навантаження – 5 Гц;
- довжина робочої частини зразка – 60 см;
- рівень максимальних напружень розтягу на поверхні головки рейки – 20,4 МПа.

Щодо бази випробувань (тобто кількості циклів навантаження), то вона має бути не меншою, ніж  $2 \cdot 10^6$  циклів.

Для контролю збільшення розмірів наявних дефектів або можливої появи нових рекомендується проводити періодичну дефектоскопію дослідних зразків після реалізації певної кількості циклів навантаження. Для цього слід застосовувати ультразвукові дефектоскопи.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Косарчук В., Рафальський О. Методи оцінки довговічності та залишкового ресурсу рейок залізничної колії // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2014. – 18. – С. 61 –
2. Колотушкин С. А., Рейхарт В. А. Дефектоскопія рельсов Експериментального кольца на службе транспортной науки // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 6. – С. 33 – 36.
3. Saarna M., Laansoo A. Rail and rail weld testing // Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. «Industrial Engineering – Innovation Edge for SME», 29 – 30<sup>th</sup> April 2004, Tallinn, Estonia. – P. 217 – 219.
4. Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях київського метрополітену: звіт про НДР (договір №55-П-13 від 01.10.2013) / Державний економіко технологічний університет транспорту; керівн. Е. І. Даніленко; викон.: В. В. Косарчук [та ін.]. – К., 2014. – 131 с. – Інв. № 0205U006924.
5. Даніленко Е.І., Рибкін В.В. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.

***E. I. Danilenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor***

*(Head of the Department of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

*V. V. Kosarchuk, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Head of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, State University for Transport Economy and Technologies)*

*A. P. Pilipenko, Candidate of Engineering Sciences  
(Associate Professor at the Department of Mechanics, Strength of Materials and Construction, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine)*

*R. M. Yosufovuch  
(Associate Professor at the Department of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

*O. Y. Rafalskyi  
(Postgraduate at the Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

### JUSTIFICATION EXPERIMENTAL METHODS OF REMAINING RESOURCE ESTIMATION OF UNDERGROUND RAILWAY TRACK RAILS

*Considered and analyzed the main factors affecting the lifetime of rails railway track. Based on what has been chosen methodology of conducting experimental study to assess the residual life of the rails of rail track underground, which ended normative life. The study mechanical tests were chosen to cyclic fatigue three-point bending. The choice of modes and regimes of specimen loadings are explained.*

*Keywords: rails, cyclic loading, contact fatigue defects, service life.*

### REFERENCES

1. Kosarchuk V., Rafalskyi O. Metodi otsinki dovgovichnosti ta zalishkovogo resursu reyok zaliznichnoї kolії // Zbirnik. naukuvoh. prats' DETUT. Seriya «Transportni sistemi i tekhnologii». – 2014. – P. 63 – 69
2. Kolotushkin S. A., Reykhart V. A. Defektoskopiya rel'sov Eksperimental'nogo kol'tsa na sluzhbe transportnoy nauki // Vestnik VNIIZhT. – 2002. – № 6. – P. 33 – 36.
3. Saarna M., Laansoo A. Rail and rail weld testing // Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. «Industrial Engineering – Innovation Edge for SME», 29 – 30<sup>th</sup> April 2004, Tallinn, Estonia. – P. 217 – 219.
4. Vstanovlennya umov ekspluatatsii reyok i strilochnikh perevodiv na kolyah kiivs'kogo metropolitenu: zvit pro NDR (dogovir №55-P-13 vid 01.10.2013) / Derzhavniy ekonomiko tekhnologichniy universitet transportu; kerivnuk. E. I. Danilenko ; vikon.: V. V. Kosarchuk [ta in.]. – K., 2014. – 131 p. – Inv. № 0205U006924.
5. Danilenko E.I., Ribkin V.V. Pravila rozrakhunkiv zaliznichnoї kolії na mitsnist' i stiykist'. – K.: Transport Ukraїni, 2006. – 168 p.

УДК 333.3

*В. І. Данилевський, к.т.н., доцент*

*(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

*В. М. Тарасюк*

*(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, заступник головного технолога, ПрАТ «Київський ЕВРЗ»)*

*В. В. Данилевський (аспірант кафедри «Аеропорти» Національного транспортного університету)*

### **ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КЛАСУ НАГРІВОСТІЙКОСТІ F, H І С**

*У статті проведений аналіз технічного стану тягових електричних машин електрорухомого складу, визначені основні напрями їх модернізації, а також ризики, які виникають у процесі модернізації, на прикладі тягового двигуна ТЛ-2К електровозів постійного струму.*

*Ключові слова: тягові електричні двигуни, системи електроізоляційних матеріалів, капітальний ремонт тягових двигунів.*

*В статье проведен анализ технического состояния тяговых электрических машин электроподвижного состава, определены основные направления их модернизации, а также риски, которые могут возникать в процессе модернизации, на примере тягового двигателя ТЛ-2К электровозов постоянного тока.*

*Ключевые слова: тяговые электродвигатели, системы электроизоляционных материалов, капитальный ремонт тяговых двигателей.*

На магістральних коліях залізничного транспорту України експлуатується тяговий і моторвагонний рухомий склад: електровози, тепловози, електропотяги, дизельпотяги з електричним приводом.

Тягову силу створюють тягові агрегати, які складаються із тягових двигунів, колісних пар і передавального пристрою. Основою тягового агрегату, безумовно, є тяговий двигун, від надійної роботи якого залежить робота всього рухомого складу.

**Вимоги до систем електроізоляційних матеріалів.** Актуальність питання оптимізації застосування електроізоляційних матеріалів зумовлена особливою важливістю та гостротою проблеми якості ремонту тягових електричних машин,

© Данилевський В. І., Тарасюк В. М., Данилевський В. В., 2015

від надійності яких у великій мірі залежить кількість несправностей і, нарешті, безпека руху потягів.

Тягові електричні двигуни (ТЕД) відносяться до найбільш навантаженого обладнання рухомого складу з точки зору комплексної дії теплових, електричних, механічних та кліматичних факторів та повинні відповідати вимогам ГОСТ2582-81 та ГОСТ 15150-69.

Основні вимоги до сучасних систем електричної ізоляції можна класифікувати за наступними критеріями:

- 1) термічні – високий температурний індекс, стійкість до змін температури, висока теплопровідність;
- 2) фізико-механічні – абразивна стійкість (до пилю), висока міцність при розтягуванні, стискуванні, зрушенні та стійкість до вібрації;
- 3) електричні і діелектричні – висока електрична міцність, стійкість до тривалої дії електричної напруги, низький тангенс кута діелектричних втрат;
- 4) інші – вологостійкість, стійкість до хімічного впливу, стійкість до радіації.

Впливи на ізоляцію починаються вже в процесі її виготовлення. Ці впливи є короткочасними, проте їх рівень може значно перевищувати експлуатаційний.

Основні види впливів на ізоляцію в процесі виготовлення:

- 1) тепловий – багаторазове підвищення температури;
- 2) механічний – деформації в процесі виготовлення і укладання обмоток електричних машин, що складно контролювати;
- 3) електричний – дія випробувальною напругою.

В процесі експлуатації продовжуються дії на ізоляцію, ці дії носять довготривалий характер, при цьому відбувається так зване накопичення «втоми» ізоляції.

Серед основних впливів на ізоляцію в процесі експлуатації:

- 1) теплові – циклічні зміни об'єму, що призводять до появи тріщин і зсуву стрічок; перегріву, що призводять до теплового пробою і руйнування ізоляції;
- 2) механічні – електромеханічні і магнітні сили (пуск, холостий хід, скидання навантаження, ін.); електромагнітні обертання; температурні деформації; динамічний вигин, розтягування стискування, зім'яття внаслідок ударної вібрації. Всі ці чинники призводять до руйнування монолітності ізоляції;
- 3) електричні – часткові розряди в порожнечах (бомбардування твердої ізоляції, локальне розігрівання до 1000° С на ділянці, хімічна дія (озон, азотна кислота); поверхневі розряди (ковзаючі розряди, ковзаючі іскри, дуга по лобовій частині);
- 4) хімічні – вплив води (набухання ізоляції); активні речовини (зростання твердості, крихкості);
- 5) інші – сторонні включення (феромагнітні частки).

З огляду на вищезгадані фактори основною вимогою, що пред'являється до ізоляційних матеріалів, технології виготовлення і конструювання, є здатність ізоляції в межах необхідного ресурсу протистояти вказаному вище комплексу дій та впливів.

Крім того, при розробці нових систем ізоляції пред'являються вимоги максимального використання властивостей ізоляційних матеріалів шляхом збільшення потужності в одиниці об'єму, а також допустимої температури нагріву обмоток.

Сучасна технологія виготовлення обмоток тягових електродвигунів включає такі основні стадії:

– виготовлення моноблоків основного і додаткового полюсів: ізолювання обмоток непросоченими слюдинітовими стрічками з подальшим просоченням епоксидним компаундом у вакуумі і під тиском. Іноді використовується окреме просочення котушок компаундом (лаком) з подальшим укріпленням їх на осердях полюсів;

– виготовлення ізоляції компенсаційних котушок: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі поліефірно-епоксидної зв'язуючої речовини з подальшим укладанням в пази полюсів, де відбувається твердіння за допомогою струму в остові двигуна;

– виготовлення ізоляції якоря: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі епоксидно-поліефірної зв'язуючої речовини з подальшим просоченням в компаунді або лаку у вакуумі і під тиском.

На сьогодні основними напрямками технології виготовлення ізоляції електричних машин є:

- 1) вакуум-нагнітальне просочення (VPI);
- 2) ізоляція на основі просочених стрічок (Resin Rich);
- 3) змішана технологія.

При застосуванні технології вакуум-нагнітального просочення (VPI) в якості основної ізоляції використовуються склослюдинітові стрічки з низьким вмістом зв'язуючої речовини (до 3 – 5 %, так звані сухі стрічки) або склослюдинітові стрічки з підвищеною кількістю зв'язуючої речовини (до 10 %, так звані напівпросочені стрічки). В якості просочувального складу матеріали застосовуються різні лаки або компаунди. Технологічний процес складається з просочення під вакуумом і тиском і термообробки у вільному стані.

При виготовленні ізоляції з просочених стрічок (Resin Rich) застосовуються просочені склослюдинітові стрічки із кількістю зв'язуючої речовини в межах 25 – 30 %. Технологічний процес полягає в механічному опресовуванні котушок і термообробці при підвищеній температурі або гідростатичному опресовуванні в бітумі і термообробці при підвищеній температурі.

При застосуванні змішаної технології в якості основної ізоляції застосовується комбінована ізоляція (сухі або просочені склослюдинітові стрічки), лаки або компаунди в якості просочувальних матеріали. Технологічний процес полягає в просоченні під вакуумом і тиском, термообробці у вільному стані.

Найбільш поширеним способом просочення в компаундах ізоляції обмоток електричних машин, ефективність якого не викликає сумнівів і підтверджена десятиліттями виробничої і експлуатаційної практики, є вакуум-нагнітальний. В основі цього технологічного процесу лежать методи видалення повітря з капілярно-пористої структури ізоляційної конструкції в результаті глибокого вакуумування і подальшого її заповнення просочувальним складом під дією надлишкового тиску.

Численні експериментальні дослідження показують, що за умови оптимальних технологічних параметрів вакуум-нагнітальне просочення забезпечує вміст компаунда в системах ізоляції на основі не просочених стрічок ~ 38 – 42 %, а також додаткове насичення (в середньому до 4-6 %) систем ізоляції із просоченими стрічками. Це зумовлює формування монолітних ізоляційних структур, з високими функціональними властивостями.

В якості альтернативи вакуум-нагнітального просочення пропонується ультразвукове просочення (УЗП), що використовує здатність ультразвукових коли-

вань витіснити повітря з капілярів і одночасно забезпечувати прискорене просування ним просочувального складу.

Проте, за даними досліджень, проведених ВЕЛНДІ (м. Новочеркаськ, РФ), при препаруванні ізоляції демонтованої обмотки якоря, виготовленої із застосуванням УЗП, встановлено, що у більш ніж 50 % котушок ізоляція напівпакетів і виткові ізоляції просочені не повністю, а розбіг значень кількості зв'язуючої речовини в їх корпусній ізоляції складає від 8 % (верхній шар) до 12 % (нижній шар).

У випадку вакуум-нагнітального просочення отримано повне просочення ізоляції (включаючи виткові) всіх обстежених котушок, при невідповідності значень процентного вмісту, проти нормативних, зв'язуючої речовини в корпусній ізоляції не більше 4 %, що є наслідком рівномірного розподілу рушійної сили вакуум-нагнітального просочення (гідростатичний тиск) по поверхні якоря.

Таким чином, проведені дослідження показали, що технологічний процес УЗП в компаунді не забезпечує повного і рівномірного заповнення просочуючим складом ізоляції котушок, а її показники електричної міцності поступаються аналогічній системі ізоляції, просоченої вакуум-нагнітаючим способом.

На сьогодні в практиці провідних світових виробників електроізоляційних матеріалів – проведення всебічних досліджень властивостей нових матеріалів, по яких ще не накопичився належний досвід експлуатації та надання пропозицій комплексу електроізоляційних матеріалів для основних груп електричних машин і апаратів, що мають необхідні властивості.

Стандартний комплекс експериментальних досліджень, що проводяться при розробці нових систем ізоляції, включає:

- оцінку електрофізичних і технологічних параметрів всіх електроізоляційних матеріалів, що входять в дану систему ізоляції;
- багатофакторні випробування вибраних систем ізоляції і конструкцій обмоток тягових електродвигунів;
- рівень зміни основних характеристик ізоляційної системи двигуна під впливом експлуатаційних навантажень (електричне поле, температура, механічні і кліматичні навантаження). Цей параметр визначається або в процесі експлуатації тягових електродвигунів за певний період, або за допомогою імітації цих навантажень шляхом ресурсних випробувань двигуна.

Крім того, одним із найважливіших параметрів, що характеризують надійність системи ізоляції ТЕД є теплопровідність: чим більше коефіцієнт теплопровідності конструкції системи ізоляції електричної машини, тим більше надійна ця конструкція в експлуатації.

Випробування, проведені ВЕЛНДІ (м. Новочеркаськ, РФ) з досліджень теплопровідності різних систем ізоляції свідчать про те, що найменший коефіцієнт теплопровідності мають конструкції на основі мікастрічок (0,06-0,9 Вт/м\*град), дещо вище цей показник (0,06-0,12 Вт/м\*град) у систем ізоляції на основі просочених слюдинітових стрічок (типу ЛСК-110), найкращою із випробуваних систем була система на основі непросочених стрічок (типу ЛСКН-160 ТТ) (0,11-0,25 Вт/м\*град).

Основною причиною низької теплопровідності ізоляційної конструкції є наявність локальних повітряних включень між провідником та ізоляцією та між шарами ізоляції.

Таким чином, при розробці нових систем ізоляції ТЕД основну увагу необхідно приділяти розробці просочувальних складів. Крім того, технічні вимоги до електроізоляційних матеріалів відрізняються за класом нагрівостійкості, в залежності від вимог конструкторської документації.

Усім викладеним вимогам повинні відповідати системи ізоляції, що застосовуються при ремонті ТЕД.

### **Аналіз використання систем електричної ізоляції і наявності необхідного технологічного обладнання на підприємствах по ремонту тягових електричних машин в Україні.**

Існуюча конструкторська документація, Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів передбачають використання ізоляції на основі стрічок слюдинітових просочених (ЛСК-110, ЛСЕК-5, ЛСЕП-934) та просочувальних лаків (ФЛ-98, ПЕ-9180 (ПЕ-933), КО-916), епоксидно-ангідридного компаунду ПК-11 (в залежності від класу нагрівостійкості).

Основні недоліки систем ізоляції, закладених у нормативно-технічній документації полягають в:

- невідповідності основних матеріалів класу необхідному нагрівостійкості ТЕД (стрічка ЛСК-110 – клас В, лак ФЛ-98 – клас В);
- необхідності проведення 2-, 3-разового циклу просочення – сушіння, що призводить до значних витрат праці та енергії (діаграми 9,10);
- низькій якості отриманої ізоляції (внаслідок використання таких стрічок, як ЛСЕП-934, зв'язуюча речовина яких має низьку ступінь полімеризації, що в подальшому призводить до перегріву ізоляції та зниженням термінів служби ТЕД або таких просочувальних лаків, як ФЛ-98, який має значний термін сушіння, а також нездатен висушуватись у товстих шарах).

Вчені та виробники електроізоляційних матеріалів за останні почали виготовляти нові системи електроізоляційних матеріалів Термоліт F та Термоліт H на основі компаундів Елпласт-155ІД, Елпласт-180 ІД та стрічок слюдинітових Елізтерм-155 Тпл, Елізтерм-180 ТПм.

Основними перевагами, цих систем ізоляції у порівнянні з традиційним на основі лаків (ФЛ-98, ПЕ-9180, КО-916) та стрічок ЛСК-110, ЛСЕК-5, ЛСЕП-934 є наступні:

- можливість уніфікації використання матеріалів (компаунд Елпласт-155 або Елпласт-180 в залежності від класу нагрівостійкості взамін лаків ФЛ-98, ПЕ-9180, КО-916; стрічки Елізтерм-155 або Елізтерм-180 взамін ЛСК-110, ЛСЕК-5, ЛСЕП-934);
- матеріали систем ізоляції Термоліт F та Термоліт H повністю відповідають класам нагрівостійкості F і H;
- підвищення надійності та довговічності роботи електричної ізоляції, а відповідно і електричних машин завдяки високим її електрофізичним показникам;
- економічний ефект внаслідок скорочення часу сушіння, технологічного циклу (кількість просочень, діаграми 9, 10);
- зниження шкідливого впливу на зовнішнє природне середовище за рахунок виключення використання лаків та розчинників для лаків.

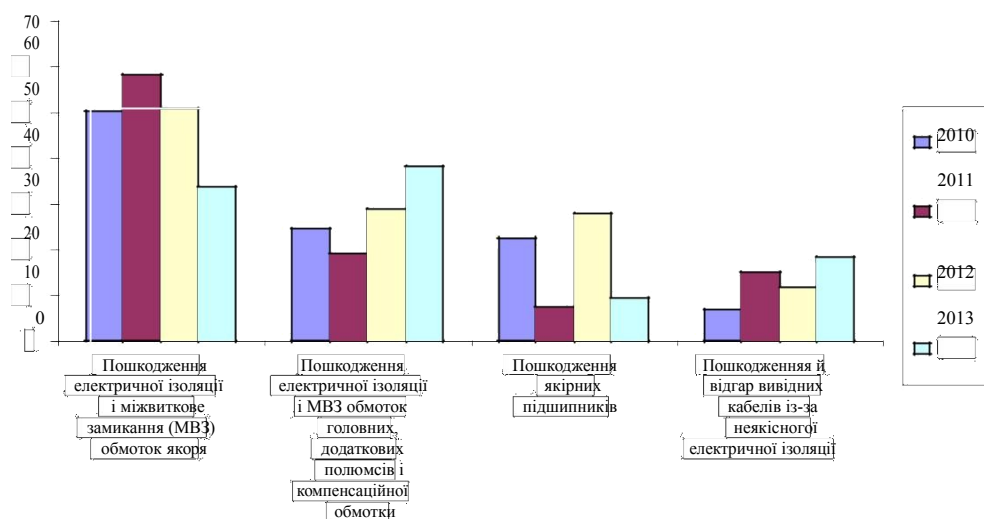
1. На основі отриманих результатів дослідного використання з метою забезпечення можливості серійного впровадження систем ізоляції Термоліт F та Термоліт H при ремонті тягових електричних двигунів НВП «Укрпромвпровадження» розроблені, узгоджені з ПКТБрл та затверджені Головним управлінням ло-

комотивного господарства Укрзалізниці Технологічні інструкції на ізолювання, просочення, фарбування й сушіння електричних машин системою ізоляції класу нагрівостійкості F і H

2. З 2008 року серійне використання компаунду Елпласт-180 та стрічок Еліз-терм-155 впроваджено на Запорізькому ЕРЗ, з 2009 року – на Львівському ЛРЗ, з 2010 компаунду Елпласт-155 ІД – на «Київському ЕРЗ». Проводиться постійний моніторинг кількості відмов ТЕД з вини ізоляції на основі прийняття відповідних рекламаций.

По інформації спеціалістів залізниць тягові двигуни відремонтовані з застосуванням систем електричної ізоляції класу нагрівостійкості F, H і С працюють надійніше і кількість передчасних виходів із ладу по причині пошкодження електричної ізоляції не спостерігається. Динаміка причин по запланованих ремонтів залишається незадовільною по причині малої кількості їх ремонтів із застосуванням нових систем електроізоляційних матеріалів (рис. 1).

Аналіз роботи тягових двигунів після ремонту на Південно-Західній залізниці з застосуванням електричної ізоляції класів нагрівостійкості F і H показав перспективність її застосування при капітальному ремонті тягових електричних машин.



**Рис. 1. Динаміка причин по запланованим ремонтам**

Так, за даними Південно-Західної залізниці в 2008 році було відремонтовано 8 електровозів серії ЧС4 і 4 серії ЧС8, в яких проводився капітальний ремонт тягових двигунів з використанням електроізоляційних матеріалів класу нагрівостійкості F, H і С.

У 2009 році: 5 електровозів серії ЧС4, 4 – серії ЧС8. За 9 місяців 2010 року: 2 електровози серії ЧС4, 5 – серії ЧС8, зауважень немає. Відремонтовано і поставлено на лінію тягові двигуни, що також працюють без зауважень.

За даними «Київського ЕВРЗ» за весь період експлуатації 16 якорів тягових двигунів РТ-51, виготовлених в період з 15.11.2006 р. по 29.01.2009 р. (за даними на 2013 рік) претензій по відмовам якорів не надходило.

Всього на залізницях України в експлуатації та знаходиться в резерві близько 30,4 тисяч тягових електродвигунів електровозів, а відремонтовано всього 1278 одиниць, що складає 4 % від загальної кількості. Малий відсоток відремонтованих двигунів не може суттєво вплинути на загальну кількість позапланових ремонтів через вихід їх із ладу по причинах пошкодження електричної ізоляції.

**Висновки.** Запропоновані системи електроізоляційних і просочувальних матеріалів відповідають підвищеним вимогам до умов експлуатації тягових двигунів. Найпоширеніший і ефективніший спосіб просочення електричної ізоляції ТЕД в світовій практиці – вакуум-нагнітальне просочення.

Основні світові виробники електроізоляційних матеріалів пропонують системи ізоляції на основі однієї хімічної природи.

З проведеного аналізу систем ізоляції переваги для застосування в процесі виготовлення і ремонту ТЕД з огляду відповідності всім технічним (термічним, фізико-механічним, діелектричним), технологічним (терміни зберігання, час сушіння, ремонтпридатність, наявність розроблених та затверджених технологічних інструкцій) економічним вимогам, а також досвіду впровадження в СНД мають системи ізоляції «Термоліт» F і H з використанням просочувальних компаундів «Елпласт».

Значний позитивний практичний досвід використання системи ізоляції на підприємствах РФ і України є підтвердженням перспективності її використання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин [Текст] : в 2-х кн. / ред.: В. Г. Огоньков, С. В. Серебрянникова. – М. : Издательский дом МЭИ, – Кн. 1. – 2012. – 272 с.
2. *Иванов В. В., Мельник Т. М., Огоньков В. Г.* Новое поколение электроизоляционных материалов – гарантия надежности и безопасности. – «Электро-Контакт», 2005. – № 4. – С. 14.
3. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навч. посібник для вузів / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тран-сп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
4. *Головач Ю. Н., Кубич В. О., Щербаков В. Г.* Исследование теплопроводности изоляции катушек тяговых двигателей электровозов // Сборник научных трудов «Электровозостроение». – Новочеркасск, 2002. – т. 44.
5. Перспективы развития производства новых материалов для изоляции тяговых электродвигателей / Комарова В. К., Биржин А. П., Доброва Э. К., Виноградова Л. М. // *Электротехника*, 2002. – № 4.
6. Новые электроизоляционные материалы для тяговых электродвигателей / Биржин А. П., Комарова В. К., Костельков А. Н., Сидоренко К. С. // *Локомотив* – № 5 – 2000.
7. *Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия (ГОСТ 2582-81).* – М.: ИПК Из-во стандартов, 1981. – 35 с.
8. *Данилевський В. И.* Повышение надежности работы тяговых двигателей электроподвижного состава железных дорог Украины / *Локомотив-информ.* – № 7. – 2007. – С. 18-21.
9. *Данилевський В. І.* Конструкція електричних машин електропоїздів залізниць України.: Монографія / Данилевський В. І., Тарасюк В. М. – К.: Видавництво ДЕТУТ, 2014. – 92 с.

*Volodymyr I. Danylevskiy, PhD (Technical Sciences)*  
*(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Vasyl M. Tarasiuk*  
*(Graduate Student of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Volodymyr V. Danylevskiy*  
*(Graduate Student of Airport Chair of National Transport University)*

*In article the carried out analysis of a technical condition of traction electric cars structure, the basic directions of the modernization, and also risks which are defined to arise in the course of modernization on an example of traction engine TL-2K of DC electric locomotives.*

*The main types of impacts on the insulation during the manufacturing process: 1) heat multiple increase of temperature; 2) mechanical strain in the production and laying of electrical machines windings, it is difficult to control; 3) electric influence test voltage.*

*In operation isolation, these actions are of a continuous nature, thus there is a so-called accumulation of «fatigue» of insulation. Influences on an isolation begin already in the process of making. These influences are brief character, however, their level can considerably exceed operating.*

*Keywords: traction motors, electrical insulating materials system, overhaul of traction motors.*

## REFERENCES

1. Elektroizolyatsionnyie materialyi i sistemy izolyatsii dlya elektricheskikh mashin [Insulating materials and insulation systems for electrical machines] : red.: V. G. Ogonkov, S. V. Serebryannikova. – Moscow. : Izdatelskiy dom MEI, – Kn. 1. – 2012. – 272 p.
2. Ivanov V. V., Melnik T. M., Ogonkov V. G. Novoe pokolenie elektroizolyatsionnykh materialov – garantiya nadezhnosti i bezopasnosti [The new generation of electrical insulating materials – a guarantee of reliability and safety] «Elektro-Kontakt», 2005. – vol. 4. – P. 14.
3. Tiahovi elektrychni mashyny elektrorukhomoho skladu [Traction electric machines of electric trains]: Navch. posibnyk dlia vuziv / V. M. Bezruchenko, V. K. Varchenko, V. V. Chumak. – D. : Dnipropetr. nats. un-tu zalozn. transp. im. akad. V. Lazariana Publ., 2003. – 252 p.
4. Golovach Yu. N., Kubich V. O., Scherbakov V. G. Issledovanie teploprovodnosti izolyatsii katushek tyagovykh dvigateley elektrovozov [Investigation of thermal conductivity of electric traction motors coils insulation] // Sbornik nauchnykh trudov «Elektrovozostroenie». – Novocherkassk, 2002. – p. 44.
5. Perspektivnyi razvitiya proizvodstva novykh materialov dlya izolyatsii tyagovykh elektrodvigateley [Prospects for the development of new materials for insulation of traction motors] / Komarova V. K., Birzhin A. P., Dobrova E. K., Vinogradova L. M. // Elektrotehnika, 2002. – Vol. 4.
6. Novyie elektroizolyatsionnyie materialyi dlya tyagovykh elektrodvigateley [New insulating materials for traction motors] / Birzhin A. P., Komarova V. K., Kostelkov A. N., Sidorenko K. S. // Lokomotiv – Vol. 5 – 2000.
7. Mashiny elektricheskoye vraschayushiesya tyagovyye. Obschie tehnicheckie usloviya (GOST 2582-81) [Rotating electrical machines for rail and road vehicles. General specifications]. – M.: IPK Iz-vo standartov, 1981. – 35 p.
8. Danilevskiy V. I. Povyshenie nadezhnosti raboty tyagovykh dvigateley elektropodvizhnogo sostoava zheleznykh dorog Ukrainy [Improving the reliability of the traction motors of electric rolling stock of railways in Ukraine] / Lokomotiv-inform. – Vol. 7. – 2007. – PP. 18-21.
9. Danylevskiy V. I. Konstruktsiia elektrychnykh mashyn elektropoizdiv zaliznyts Ukrainy [The design of Ukrainian railways electric trains]: Monohrafiia. Danylevskiy V. I., Tarasiuk V. M. Kyiv: DETUT Publ., 2014. 92 p.

УДК 625.142.001.3

*І. О. Мікульонок, д.т.н., професор (професор кафедри «Хімічне, полімерне та силікатне машинобудування» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»)*

## КЛАСИФІКАЦІЯ ШПАЛ ТА ОГЛЯД ЇХНІХ КОНСТРУКЦІЙ

*Метою статті є класифікація шпал та аналіз їхнього конструктивного оформлення. Запропонована класифікація ґрунтується як на класичному підході до питання верхньої будови рейкового шляху, так і на аналізі відповідної патентної документації різних країн світу. Наведено класифікацію шпал, а також виконано аналіз нових конструкцій шпал, що різняться за призначенням, формою в плані, походженням (природою) матеріалу, ступенем однорідності матеріалу, типом матеріалу, ступенем складання, можливістю регулювання ширини колії, наявністю захисного покриття, засобів зчеплення з баластовим покриттям залізної дороги, додаткових функцій тощо. Розглянуто перспективи використання запропонованих конструкцій шпал, а також можливість їх утилізації після втрати ними споживчих властивостей. Матеріали статті можуть бути корисними науково-педагогічним і педагогічним працівникам, конструкторам, винахідникам, аспірантам і студентам.*

*Ключові слова:* рейковий шлях, верхня будова шляху, шпала, класифікація, конструкція.

*Целью статьи является классификация шпал и анализ их конструктивного оформления. Предложенная классификация основывается как на классическом подходе к вопросу верхнего строения рельсового пути, так и на анализе соответствующей патентной документации различных стран мира. Приведена классификация шпал, а также выполнен анализ новых конструкций шпал, различающихся по назначению, форме в плане, происхождению (природе) материала, степени однородности материала, типу материала, степени сборки, возможности регулировки ширины колеи, наличию защитного покрытия, средств сцепления с балластным покрытием железной дороги, дополнительных функций и др. Рассмотрены перспективы использования предложенных конструкций шпал, а также возможность их утилизации после потери ими потребительских свойств. Материалы статьи могут быть полезны научно-педагогическим и педагогическим работникам, конструкторам, изобретателям, аспирантам и студентам.*

*Ключевые слова:* рельсовый путь, верхнее строение пути, шпала, классификация, конструкция.

© Мікульонок І. О., 2015

**Постановка проблеми.** Одним з елементів верхньої будови рейкового шляху є шпали.

Шпали (від гол. *spalk* – підпірка) – це опори для рейок і стрілкових переводів зазвичай у вигляді брусів, що укладаються на баластовий шар верхньої будови шляху. Вони забезпечують незмінність взаємного розташування рейкових ниток, а також сприймають зусилля від рейок і стрілкових переводів (вертикальні, бічні й поздовжні) і передають їх на баластовий шар [1].

Шпали застосовуються для улаштування залізниць, трамвайних шляхів, метрополітену, підкранових шляхів, підземних рейкових шляхів (передусім у шахтах).

Натепер зазвичай використовують дерев'яні, залізобетонні й металеві шпали [2, 3], які протягом багатьох десятиліть довели свою достатньо високу ефективність. У той же час останніми роками дослідниками, конструкторами й виробниками запропоновані нові типи цих елементів верхньої будови рейкового шляху, деякі з яких вже впроваджено в практику експлуатації залізниць, але відомості про які вельми розрізнені, що істотно ускладнює аналіз сучасного стану й перспектив розвитку стану рейкових шляхів і шляхового господарства.

**Метою** статті є класифікація шпал та аналіз їхнього конструктивного оформлення.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз літературних і патентних джерел інформації надав можливість запропонувати класифікацію шпал, яку наведено на рис. 1.

Прообразом шпал є кам'яні плити, які були основою для укладання рейок. Потім стали застосовувати дерев'яні шпали, а згодом і інші шпали: залізобетонні, металеві (сталеві), а також шпали із застосуванням синтетичних полімерів (саме синтетичних, адже основа дерев'яних шпал – целюлоза – також є полімером, але природним).

Донедавна одними з найпоширеніших шпал були дерев'яні, для виготовлення яких використовують сосну, ялину, піхту, модрина й березу (у деяких країнах також використовуються кедр, дуб, червоний клен, евкаліпт).

Перевагами дерев'яних шпал є їхня відносна легкість (приблизно втричі легші за залізобетонні), пружність, мала чутливість до температурних перепадів, простота виготовлення, зручність кріплення рейок, високі діелектричні властивості, а недоліками – порівняно невеликий термін служби (зазвичай не більше 20 років) і значна витрата ділової деревини. Для збільшення терміну служби дерев'яні шпали просочують масляними антисептиками, передусім, креозотом.

Дерев'яні шпали для залізниць широкої колії виготовляють відповідно до ДСТУ ГОСТ 78:2009 [4]. При цьому за формою поперечного перерізу їх поділяють на чотириконтні обрізні (також їх також називають обрізними; вони мають чотири поздовжні оброблені поверхні), триконтні (напівобрізні; мають три поздовжні оброблені поверхні – верхню, нижню та одну бокову) і двоконтні (необрізні; мають дві протилежно оброблені поверхні – верхню й нижню), а за розмірами поперечного перерізу – на три типи – I, II, і III (залежно від класу шляхів та інтенсивності роботи).

# ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

## Класифікація шпал рейкових шляхів

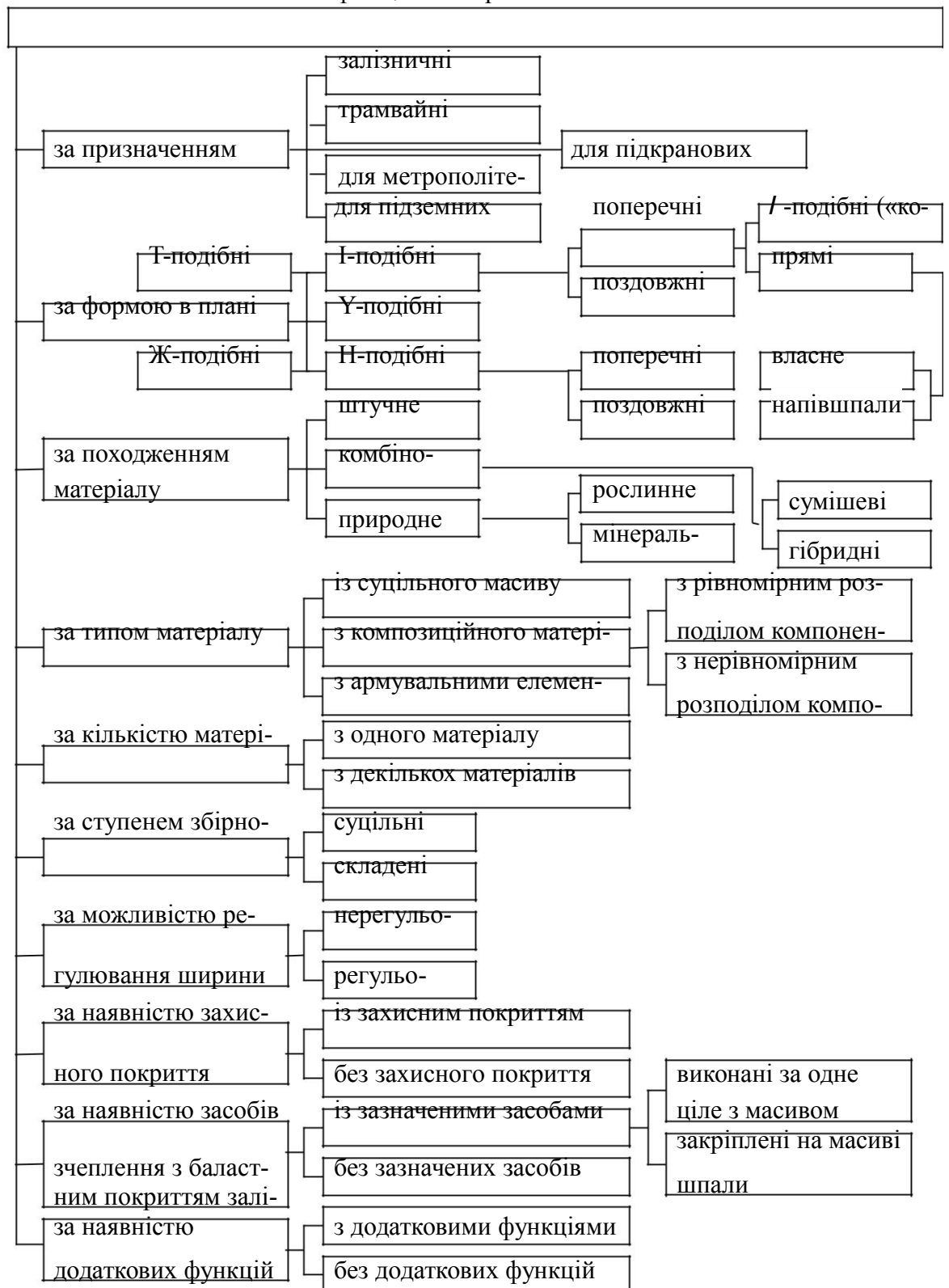


Рис. 1. Класифікація шпал рейкових шляхів

Дерев'яні шпали для залізниць вузької колії виготовляють відповідно до ГОСТ 8993–75 [5]. При цьому за формою поперечного перерізу їх поділяють на обрізні й необрізні, а за розмірами поперечного перерізу – на три типи – I, II, і III (залежно від класу шляхів та інтенсивності роботи).

Також з деревини виготовляють і шпали для метрополітену: відповідно до ГОСТ 22830–77 вони бувають лише одного типу – обрізні [6]. Крім того, на станціях метрополітену, а також при обладнанні оглядових каналів у депо замість суцільних шпал використовуються напівшпали, заглиблені в бетон.

Також з деревини, але не з суцільного масиву, а клеєними виготовляють шпали для трамвайних шляхів відповідно до ГОСТ 28469–90 [7] (залежно від призначення вони бувають двох типів).

Відпрацьовані дерев'яні шпали утилізують, використовуючи їх здебільшого як паливо.

На залізницях України та більшості держав – пострадянських республік з другої половини минулого століття на заміну дерев'яним шпалам приходять залізобетонні шпали із попередньо напруженою арматурою.

Перевагами залізобетонних шпал є довговічність (зазвичай не менше 50 років), забезпечення високої стійкості рейкового шляху й плавності ходу рухомого складу, що обумовлене однаковими розмірами та пружністю шпал. Крім того, застосування залізобетонних шпал дає змогу зберегти ділову деревину інших потреб. Завдяки високим експлуатаційним властивостям їх використовують на шляхах всіх класів та будь-якої інтенсивності.

До недоліків залізобетонних шпал належать значна маса, невисокі діелектричні властивості, складність кріплення рейок до них і висока жорсткість (для підвищення пружності шляхів із залізобетонними шпалами під рейки укладають амортизувальні прокладки, а для уникнення витоку електричного струму застосовують рейкові скріплення спеціальної конструкції з електроізоляційними деталями), а також значні труднощі під час утилізації відпрацьованих і бракованих шпал.

Висока жорсткість залізобетонних шпал призводить до ущільнення й поступового видавлювання баласту під їхніми кінцями (особливо інтенсивно це відбувається навесні за надлишкового зволоження баласту). Це спричинює збільшення згинальних моментів у шпалі та їх поступове руйнування [8].

Залізобетонні шпали попередньо напружені для залізниць колії 1520 мм виготовляють відповідно до ДСТУ Б В.2.6-57:2008 [9] (залежно від типу рейкового скріплення розрізняють два типи шпал), а шпали залізобетонні попередньо напружені для трамвайних колій широкої колії – відповідно до ДСТУ Б В.2.6-61:2008 [10].

Металеві (сталеві) шпали внаслідок особливостей своєї конструкції (на відміну від масивних дерев'яних і залізобетонних шпал металеві шпали виготовляють гнуттям листового прокату завтовшки 6, 8 і 10 мм здебільшого у вигляді літер «U» або «Ω» з короткими плічками в поперечному перерізі) є відносно легкими (маса металевої шпали становить близько 120 кг). Виготовляють їх здебільшого відповідно до технічних умов.

Такі шпали часто використовуються для тимчасових під'їзних колій, а також на залізничних шляхах промислових підприємств. Вони не піддаються гниттю, добре зберігають ширину колії, мають високу вантажопідйомність (до 60 т на вісь рухомого складу на відміну від 20–25 т для дерев'яних і залізобетонних

шпал), високу ремонтпридатність і великий термін служби (у чотири-п'ять разів вищий, ніж залізобетонні), легко піддаються утилізації (як металобрухт), проте в умовах вологого клімату вони схильні до корозії й мають високу електропровідність, що ускладнює роботу залізничної автоматики [11].

Також металеві шпали застосовують на металургійних підприємствах на тих ділянках, де через високу температуру дерев'яні шпали горять, а залізобетонні шпали розшаровуються й руйнуються.

За кордоном металеві шпали набули поширення в умовах стабільно теплого й сухого клімату, зокрема на залізницях Марокко та Алжиру, а в Саудівській Аравії, крім того, і внаслідок запобігання розкраданню дерев'яних шпал залізниць бедуїнами для розпалювання в пустелі багать.

Серед різноманітних конструкцій металевих шпал вирізняється шпала з високою демпфувальною здатністю, що утворюється вільно накладеними одна на одну й зафіксованими між собою за допомогою пружних сил  $\Omega$ -подібних пластин з проміжками між сусідніми пластинами, сукупність яких утворюють своєрідну тарілчасту пружину (патент США № 5836512).

З кінця минулого століття в деяких країнах (Японія, Китай, США, Індія, Таїланд, Філіппіни та ін.) почали проводити випробування пластмасових шпал (недопустимий термін – «пластикові шпали» [12]). США є світовим лідером з виробництва таких шпал, проте навіть у цій країні частка пластмасових шпал не перевищує 0,3 % [13].

Пластмасові шпали, як і дерев'яні й залізобетонні, виготовляють у вигляді суцільного масиву. До їхнього складу входять термопластична або термореактивна матриця (зазвичай поліолефіни або епоксидні смоли) з різноманітними наповнювачами або армувальними елементами.

Однією з основних переваг технології виготовлення таких шпал є можливість безперервного екструдуювання термопластичного матеріалу з наступним поперечним розрізанням екструдату на відрізки потрібної довжини (заявка США № 2005236494A1).

Одним з видів матеріалу таких шпал є полімербетон – композит, до складу якого входять термореактивне зв'язуюче (зазвичай епоксидна смола) і дисперсний наповнювач (галька, кварц, гранітна кришка та ін.). Полімербетон ще називають «штучним каменем» через його міцність і зовнішню схожість з природним каменем. Порівняно з цементними бетонами полімербетони мають більшу міцність під час розтягання, меншу крихкість, кращу деформованість, зносостійкість, водонепроникність, морозостійкість, а також стійкість до дії агресивних середовищ.

У разі застосування для виготовлення пластмасових шпал термопластичних полімерів (передусім поліетилену високої густини) з'являється можливість ефектної утилізації полімерних і полімервмісних відходів. Крім того, монтаж і демонтаж пластмасових шпал можна здійснювати за допомогою того самого обладнання, що й дерев'яних. При цьому маса пластмасової шпали залежно від компонентів і технології виготовлення становить приблизно від 90 до 120 кг [13].

Проте внаслідок багатьох чинників сподіватися на те, що пластмасові шпали почнуть масово впроваджуватися, сьогодні очікувати не варто (і передусім через певні труднощі, пов'язані з утилізацією відпрацьованих пластмасових шпал, забруднених паливно-мастильними матеріалами).

Зробимо аналіз класифікації шпал, наведений на рис. 1.

Як уже було зазначено, за призначенням шпали поділяють на залізничні, для трамвайних шляхів, метрополітену, підкранових шляхів і підземних шляхів.

За формою в плані найбільшого поширення набули І-подібні шпали, виготовлені зазвичай у вигляді брусів. При цьому за орієнтацією відносно рейкового шляху розрізняють поперечні (укладені поперек рейок) і поздовжні (укладені вздовж рейок) шпали. У свою чергу поперечні шпали поділяються на прямі (укладені під прямим кутом до рейок) та І-подібні, або «косі» (укладені під гострим кутом відносно рейок – див., наприклад, пат. Росії № 2040620 С1). Прямі поперечні шпали надійно фіксують міжрейкову відстань рейкової колії, а також забезпечують рівномірність навантаження на протилежно розташовані ділянки обох рейок. Поздовжні забезпечують підвищену несучу спроможність шпал, проте зазвичай потребують додаткових засобів фіксації міжрейкової відстані. При цьому «косі» поперечні шпали, які розташовані по черзі під протилежним кутом та утворюють безперервну зигзагоподібну шпальну структуру рейкового шляху, залежно від значення кута розташування їх відносно рейок можуть спричинити поперечне розгойдування рухомого складу, а також істотно знизити вантажопідйомність рейкового шляху (у разі потрапляння рейкового стику між далеко рознесеними вздовж рейки кінцями сусідніх шпал).

У- і Т-подібні шпали (пат. СРСР № 727156 і заявка Японії № Н02197602А, відповідно) мають підвищену міцність як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках, проте вони вирізняються значною матеріалоемністю та складністю виготовлення.

Поздовжні (заявка Японії № Н02197602А) і поперечні (заявка Кореї № 10-2010-0110906А) Н-подібні шпали також мають підвищену міцність, а також забезпечують високу стійкість рейкового шляху (внаслідок запобігання їхньому зсуву на баластовому покритті), проте, як і попередні конструкції шпал, вони мають значну матеріалоемність. Цікавою є конструкція поперечних Н-подібних шпал, перемичку яких виконано у вигляді знімної балки, що закріплюється зі стояками за допомогою розніжного з'єднання типу «ластівчин хвіст» (заявка Кореї № 10-2010-0034368А).

Подальшим розвитком поперечних Н-подібних шпал є Ж-подібні шпали (заявка Кореї № 10-2010-0110906А), які забезпечують ще більшу жорсткість безперервної шпальної структури рейкової колії, проте й мають ще більшу матеріалоемність.

За походженням матеріалу розрізняють шпали з природного матеріалу рослинного (зокрема дерев'яні) та мінерального (наприклад, кам'яні) походження, зі штучного матеріалу (наприклад, пінобетону), а також комбіновані.

До комбінованих з точки зору походження матеріалу належать такі види шпал:

– сумішеві, наприклад, виготовлені з полімерпіщаної суміші, які дають змогу утилізувати полімерні відходи, а змінюванням вмісту піску можна регулювати жорсткість шпал (пат. Росії № 112204 U1), органополімерного композиту (пат. Росії № 127080 U1) або фібробетону, тобто бетону, армованого відрізками мінеральних або органічних волокон (пат. Росії № 126710 U1);

дуже цікавим видається матеріал шпали, яку виготовляють безперервним формуванням (екструзією) з гумової суміші, що містить вулканізовану регеновану гуму, зокрема одержану подрібненням відпрацьованих автомобільних шин (пат. Росії № 2245410 С2); таке технічне рішення дає змогу утилізувати значні

обсяги пневматичних шин, що накопичилися на численних звалищах;

– гібридні; тіла таких шпал складаються з окремо виготовлених елементів різної природи; до таких шпал належать, наприклад, шпали із залізобетонною основою для сприйняття й розподілу навантаження та дерев'яними вкладишами під рейки для поліпшення демпфувальної здатності (пат. США № 6070806А, пат. Росії №№ 2306376 С2, 2042758 С2, 102621 U1) або шпали із армованою полімербетонною основою та дерев'яними вкладишами під рейки (пат. Росії № 2 2095509 С1).

За *типом матеріалу* шпали можна поділити на:

– виготовлені із суцільного масиву певного матеріалу, наприклад, дерев'яні шпали;

– виготовлені з композиційного матеріалу, наприклад, полімербетонні;

– з армувальними елементами, наприклад, залізобетонні шпали.

При цьому шпали, виготовлені з композиційного матеріалу, у свою чергу за однорідністю матеріалу можна поділити на два типи: однорідні й неоднорідні (точніше макрооднорідні й макронеоднорідні). Однорідними при цьому можна вважати шпали, виготовлені з матеріалу, якісний й кількісний склад якого незмінний по об'єму тіла шпали (наприклад, виготовлені з полімерпіщаної суміші – пат. Росії № 112204 U1 або базальтопластику – пат. Росії № 97135 U1), а неоднорідними – виготовлені з матеріалу, якісний й кількісний склад якого різний на різних ділянках тіла шпали. До останнього типу шпал можна, наприклад, віднести шпалу, яка виготовлена з піщанополімерного композиційного матеріалу й має форму бруса, на ділянках якої в місцях закріплення рейок вміст піску в композиційному матеріалі знижено (заявка України № u201503102); така конструкція підвищує ефективність гасіння динамічних навантажень від дії колісних пар рухомого складу залізниці за умови забезпечення високої жорсткості шпали в цілому й збереження її форми й розмірів під час експлуатації.

За *кількістю матеріалів* шпали можна поділити на такі, що виготовлені з одного матеріалу, наприклад, дерев'яні або залізобетонні, та такі, що виготовлені з двох і більше матеріалів, наприклад, залізобетонні з дерев'яними вкладишами під рейки.

Також відома шпала (пат. України № 89508 С2), що по висоті складається з нерознімно з'єднаних між собою двох шарів бетону: верхнього, традиційного для виготовлення залізобетонних шпал, і нижнього зі спеціального зносостійкого бетону з великим опором розтягуванню.

Шпала (пат. Росії № 2487207 С2) містить жорсткий залізобетонний блок з пружною подошвою, захищеною знизу зносостійкою підкладкою, проте ця шпала дуже складна у виготовленні, до того ж внаслідок невисокої жорсткості захисної підкладки існує висока ймовірність передчасного виходу шпали з ладу в разі високої інтенсивності роботи рейкового шляху.

За *ступенем збірності* розділяють суцільні та складені шпали.

Суцільні шпали виготовляють без застосування складальних операцій, а для виготовлення складених шпал застосування складальних операцій обов'язкове. До останніх можна, наприклад, віднести шпалу, опорні частини якої під рейки виготовлені у вигляді дерев'яних кругляків, з'єднаних між собою металевим стрижнем, при цьому існує можливість для регулювання міжрейкової відстані (пат. Росії № 2262564 С1).

До складених конструкцій можна віднести залізобетонну шпалу з пакетами

гофрованих демпфувальних металевих підкладок під рейки (пат. Росії № 110379 U1), а також шпалу, що складається з двох дерев'яних брусків під рейки, з'єднаних між собою трьома дерев'яними стрижнями з різьбою протилежного напрямку по кінцях (пат. Росії № 2256020 C1), що дає змогу заощадити ділову деревину, проте істотно ускладнює виготовлення шпали. Також пропонується шпала, що містить два залізобетонні підрейкові блоки, з'єднані між собою сталевую трубою (па. Росії № 2450094 C2), проте ця конструкція вирізняється значною складністю як у виготовленні, так і під час експлуатації.

Достатньо цікавими видаються шпали у вигляді пакета елементів відпрацьованих пневматичних шин, що дає змогу утилізувати відпрацьовані автомобільні шини (пат. США № 7931210, заявка США № 2003071132A1).

За *можливістю регулювання ширини колії* шпали поділяють на шпали фіксованої (нерегульованої) та регульованої ширини колії.

До перших можна віднести традиційні залізобетонні шпали для колії певної ширини [9, 10], а до других передусім складені шпали (пат. Росії № 2262564 C1).

За *наявністю захисного покриття* розрізняють шпали із захисним покриттям і без нього (тут мається на увазі саме покриття, а не, наприклад, просочення тіла дерев'яної шпали креозотом).

До перших можна віднести традиційні дерев'яні [4–7] і залізобетонні шпали [9, 10] для колії певної ширини, а до других, наприклад, дерев'яні шпали, покриті сумішшю із застосуванням гумової крихти або порошку з відпрацьованих і бракованих пневматичних шин (патенти Росії №№ 96812 U1, 99489 U1, 112907 U1).

За *наявністю засобів зчеплення з баластним покриттям залізниці* розрізняють шпали з гладкою підшовою й підшовою, спорядженою додатковими засобами зчеплення.

До перших можна віднести дерев'яні [4–7] і залізобетонні шпали [9, 10], а до других, шпали п'яти видів:

– шпали з виступами й западинами на одній чи декількох їхніх поверхнях, які виконані за одне ціле з тілом шпали з того самого матеріалу, наприклад, шпала із дискретними зубцями на її підшві (пат. Росії № 2499860 C2), з одним подовженим виступом по центру її підшви (пат. Росії № 2433218 C2), з поперечними зубцями (міжнародна заявка № WO02077367A1) на її підшві, з дискретними та/або поперечними зубцями на її підшві (заявки Японії №№ 2000154502A, 2006045920A, H07150501A, H0742101A), із зубцями чи виступами й западинами як на підшві, так і на бокових поверхнях шпали (європатент № 1860237A1, міжнародна заявка № WO2006116405A2) або виступами й западинами на бокових поверхнях (патент США № 5104039A);

до такого виду шпал також можна віднести конструкції зі стільниковою опорною поверхнею, ребра якої (суцільні або з вікнами) міцно зчіпляються з баластним покриттям (пат. Росії №№ 2412298 C1, 2413047 C1, 2427679 C2, 2434982 C2, 132452 U1, пат. України № 90865 U);

– шпали з інтегрованими в її тіло елементами для підвищення зчеплення з баластним покриттям, наприклад, у вигляді залізобетонної шпали із закріпленими на її підшві загостреними стрижнями (пат. Китаю № 102486015A), залізобетонної шпали із закріпленими на її підшві за допомогою бетонування частинками щебеню (пат. Росії № 2224575 C1), бруса з полімерного композиційного матеріалу із закріпленими на його підшві під час формування шпали частинками ще-

беню або гравію (пат. України № 90864 U) або брусу із закріпленими на його підшві або на бокових поверхнях (або як на підшві, так і на бокових поверхнях) під час формування шпали частинками щебеню (заявка Японії

№ 2009264038A); також до цього типу можна віднести шпали, до нижньої та/або бокових поверхонь яких за допомогою нерознімних з'єднань приєднані різноманітні штирі, планки, пластини тощо (заявка Японії № 2005009117A);

– шпали із знімними елементами для підвищення зчеплення з баластним покриттям, наприклад, у вигляді прямолінійних, П-подібних та іншого виду планок (заявки Японії №№ 2004100149A, 2004156422A, H06272202A) або накладок із зубцями на всю поверхню підшви (заявка Японії № H10280301A);

– шпали з незнімним покриттям їхніх підшов еластичними або пластичними накладками, у які під час монтажу та експлуатації рейкової колії частково проникають елементи баластного покриття, що підвищує його зчеплення зі шпалами (міжнародна заявка № WO9928555A2, Нової Зеландії № 561705A, Тайваню № 200829752A);

– шпали каркасної будови, наприклад, у вигляді верхньої й нижньої пластини, скріплених між собою за допомогою стояків, при цьому утворений всіма зазначеними елементами шпали простір заповнюється матеріалом баластного покриття (заявка Кореї № 20060103012A).

За наявністю додаткових функцій розрізняють шпали з такими функціями і без них. Так, додатковою функцією можна вважати спорядження шпали засобами для генерування електричної енергії під час проходження рейковим шляхом рухомого складу (заявки Японії №№ 2011038245A і 2011074709A). Одержана електроенергія витрачається зокрема для живлення встановлених по краях шпал елементів світла на світлодіодах.

Як бачимо, незважаючи на уявну простоту такого звичного кожному з нас елемента рейкового шляху як шпала, винахідницька думка не стоїть на місці та продукує безліч різноманітних технічних рішень щодо конструктивного та матеріалознавчого оформлення шпал.

**Висновки.** У статті зроблена спроба розробки розширеної класифікації шпал рейкових шляхів з урахуванням новітніх досягнень техніки в цьому питанні.

При цьому, навіть виходячи із запропонованої класифікації, а не конкретних варіантів виконання шпал, можна зробити висновок про їхнє різноманіття, що дає змогу проектувальникам обирати найприйнятніші технічні рішення відповідно до умов експлуатації рейкових шляхів (місце розташування рейкового шляху, кліматичні умови, тип і характеристики рухомого складу тощо). Цьому також сприяють сучасні досягнення матеріалознавства й технології, які можуть оперативно реагувати на необхідність виготовлення шпал, призначених для експлуатації в найрізноманітніших умовах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Большая Советская Энциклопедия* (в 30 томах) / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Сов. Энциклопедия, 1970. – Т. 29. Чаган – Экс-Ле-Бен, 1978. – 640 с.
2. *Калинин В. К.* Общий курс железных дорог : учебник для сред. ПТУ / В. К. Калинин, Н. К. Сологуб, А. А. Казаков. – М. : Высш. шк., 1986. – 304 с.
3. *Общий курс железных дорог* : учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта /

- В. Н. Соколов, В. Ф. Жуковский, С. В. Котенкова, А. С. Наумов ; под ред. В. Н. Соколова. – М. : УМК МПС России, 2002. – 296 с.
4. *ДСТУ ГОСТ 78:2009*. Шпалы дерев'яні для залізниць широкої колії. Технічні умови. – Чинний від 2010–01–01. – К. : Держпоживстандарт України, 2009. – 6 с.
  5. *ГОСТ 8993–75*. Шпалы деревянные для железных дорог узкой колеи. Технические условия. – Введ. 1976–07–01. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 6 с.
  6. *ГОСТ 22830–77*. Шпалы деревянные для метрополитена. Технические условия. – Введ. 1979–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1978. – 6 с.
  7. *ГОСТ 28469–90*. Шпалы и брусья деревянные клееные для трамвайных путей. Технические условия. – Введ. 1992–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 6 с.
  8. *Фришман М. А.* Как работает путь под поездами / М. А. Фришман. – М. : Транспорт, 1983. – 168 с.
  9. *ДСТУ Б В.2.6-57:2008*. Конструкції будинків і споруд. Шпалы залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 мм. Технічні умови. – Чинний від 2010–01–01. – К. : Держпоживстандарт України, 2008. – 15 с.
  10. *ДСТУ Б В.2.6-61:2008*. Конструкції будинків і споруд. Шпалы залізобетонні попередньо напружені для трамвайних шляхів широкої колії. Технічні умови. – Чинний від 2010–01–01. – К. : Держпоживстандарт України, 2008. – 16 с.
  11. *Шпалы* металлические: металлы и цены [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://metal4u.ru/articles/by\\_id/214](http://metal4u.ru/articles/by_id/214). – Дата доступу: квітень 2015 р. – Назва з екрана.
  12. *Мікульонок І. О.* Полімерні композитні матеріали й вироби з них. Одержання, перероблення та властивості : термінологічний словник / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. – К. : ІВЦ «Політехніка», 2005. – 180 с.
  13. *Пластмассовые шпалы*: Новые химические технологии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=697](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=697). – Дата доступу: квітень 2015 р. – Назва з екрана.

**Ihor O. Mikulionok, Dr. Sci. Tech., Prof.**  
**(Professor of Chemical, Polymeric and Silicate Mechanical Engineering Chair, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)**

### CLASSIFICATION OF SLEEPERS AND THE REVIEW OF THEIR DESIGNS

*Article purpose is classification of sleepers (ties) and the analysis of their constructions. The offered classification is based as on the classical approach to a problem of the top structure of a rail way, and on the analysis of the corresponding patent documentation of the various countries of the world. Classification of sleepers is resulted, and also the analysis of new designs of the sleepers differing to destination, the form in the plan, to an origin (nature) of a material, degree of a material uniformity, type of a material, degree of assemblage, possibility of adjustment of a rail way width, protecting coating, presence of means of coupling with a ballast covering of the railway, availability of additional functions and so on is made. Prospects of use of the offered designs of sleepers, and also possibility of their recycling after loss of consumer properties are considered by them.*

*Article materials can be useful to scientific and pedagogical and pedagogical workers, designers, inventors, post-graduate students and students.*

**Keywords:** railway line, the top structure of a way, sleepers (ties), classification, design.

### REFERENCES

1. *Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya* (v 30 tomakh) [The Big Soviet Encyclopedia] / gl. red. A. M. Prokhorov. – 3-e izd. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya Publ., 1970. Vol. 29. Chagan – Eks-Le-Ben, 1978. 640 p.
2. *Kalinin V. K. Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [The general course of the railways] / V. K. Kalinin, N. K. Sologub, A. A. Kazakov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 304 p.
3. *Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [The general course of the railways] / V. N. Sokolov, V. F. Zhukovskiy, S. V. Kotenkova, A. S. Naumov ; pod red. V. N. Sokolova. Moscow, UMK MPS Rossii, 2002. 296 p.
4. *DSTU GOST 78–2004. Shpaly derevyani dlya zalianyts shirokoi kolii. Tekhnichni umovy* [State Standard 78–2004. Wooden sleepers for full gauge railways. Specifications]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ, 2009. 6 p.
5. *GOST 8993–75. Shpaly derevyannye dlya zheleznykh dorog uzkoj kolei. Tekhnicheskie usloviya* [Interstate Standard 8993–75. Wooden sleepers for narrow-gauge railways. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1988. 6 p.
6. *GOST 22830–77. Shpaly derevyannye dlya metropolitena. Tekhnicheskie usloviya* [Interstate Standard 22830–77. Wooden sleepers for Underground. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1978. 6 p.
7. *GOST 28469–90. Shpaly i brusya derevyannye kleenyie dlya tramvaynykh putey. Tekhnicheskie usloviya* [Interstate Standard 28469–90. Wooden laminated sleepers and cants for tram lines. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1990. 6 p.
8. *Frishman M. A. Kak rabotayet put pod poezdami* [As the way under trains works] / M. A. Frishman. Moscow, Transport Publ., 1983. 168 p.
9. *DSTU B V.2.6-57:2008. Konstruktsii budyнкiv i sporud. Shpaly zalizobetonni poperedno napruzheni dlia zaliznyts kolii 1520 mm. Tekhnichni umovy* [State Standard B V.2.6-57:2008. Designs of buildings and constructions. Prestressed reinforced concrete sleepers for 1520 mm gauge tramways. Specifications]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ, 2008. 15 p.
10. *DSTU B V.2.6-61:2008. Konstruktsii budyнкiv i sporud. Shpaly zalizobetonni poperedno napruzheni dlya tramvaynykh shliakhiv shyrokoj kolii. Tekhnichni umovy* [State Standard B V.2.6-61:2008. Designs of buildings and constructions. Prestressed reinforced concrete sleepers for the wide-gauge tramways. Specifications]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ, 2008. 16 p.
11. *Shpaly metallicheskiye: metally i tseny – Metal sleepers: metals and the prices*. Available at: [http://metal4u.ru/articles/by\\_id/214](http://metal4u.ru/articles/by_id/214) (Accessed 13 April 2015).
12. *Mikulionok I. O., Radchenko L. B. Polimerni kompozytni materialy y vyroby z nykh. Odezhan- nia, pereroblennia ta vlastyvosti: terminologichnyi slovnyk* [Polymeric composition materials and products from them. Producing, processing and properties: the Terminological dictionary]. Kyiv, IVTs Politehnika Publ., 2005. 180 p.
13. *Plastmassovye shpaly: Novye khimicheskie tekhnologii – Plastic sleepers: New chemical technologies*. Available at: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=697](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=697) (Accessed 13 April 2015).

УДК 625.172:625.143.5

*Р. В. Маркуль (асистент кафедри «Колія та колійне господарство»,  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ака-  
деміка В. Лазаряна)*

### **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ТА УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ЗІ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5**

*Стратегічним напрямом розвитку залізничного транспорту України є підвищення швидкості руху поїздів, що суттєво залежить від покращення якості ведення колійного господарства. Одночасно з цим, стратегічним напрямком є впровадження ресурсозберігаючих технологій утримання залізничної колії, з метою досягнення найбільшого економічного ефекту від їх впровадження, з дотриманням безпеки руху поїздів при підвищенні швидкості руху. Реалізація цієї мети можлива за рахунок розробки рекомендацій та технологій утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5. В роботі приведені дослідження, метою яких є підсилення надійності роботи вузла скріплення типу КПП-5 протягом всього терміну експлуатації. Розроблена та обґрунтована технологія контролю і утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5.*

*Ключові слова:* скріплення типу КПП-5, сила притискання рейки, технологія контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5.

*Стратегическим направлением развития железнодорожного транспорта Украины является повышение скорости движения поездов, что существенно зависит от улучшения качества ведения путевого хозяйства. Одновременно с этим, стратегическим направлением является внедрение ресурсосберегающих технологий содержания железнодорожного пути, с целью достижения наибольшего экономического эффекта от их внедрения, с соблюдением безопасности движения поездов при повышении скорости движения. Реализация этой цели возможна за счет разработки рекомендаций и технологии содержания железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5. В работе приведены исследования, целью которых является усиление надежности работы узла скрепления типа КПП-5 в течение всего срока эксплуатации. Разработана и обоснована технология контроля и содержания железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5.*

*Ключевые слова:* скрепление типа КПП-5, сила прижатия рельса, технология контроля и содержания железнодорожного пути со скреплением типа КПП-5.

© Маркуль Р. В., 2015

**Вступ.** Однією із стратегічних робіт, пов'язаних із впровадженням швидкісного руху поїздів в Україні, є забезпечення надійної роботи вузла проміжного рейкового кріплення під час експлуатації. Проміжним рейковим скріпленням, яке впровадилось у широке використання на залізницях України (5-6 тис. км), є скріплення типу КПП-5.

З урахуванням експлуатаційних особливостей вітчизняних залізниць, що в порівнянні із залізницями країн Європи мають більш високі вантажонапруженості, осьові навантаження, та більшу масу поїздів у скріпленні типу КПП-5, під час тривалої експлуатації виявлено низку недоліків, пов'язаних із передчасною відмовою його елементів. Існує проблема, що пов'язана з відсутністю методики та технології контролю за роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме, контроль за роботою окремих його елементів, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому. Приведені вище твердження вказують на актуальність даної тематики роботи, яка може вирішити та покращити основні принципи ведення колійного господарства, за рахунок обґрунтування і розробки технології, контролю та утримання залізничної колії із використанням скріплення типу КПП-5. Це дозволяє підсилити роботу вузла скріплення з одночасним збереженням необхідної надійності роботи вузла скріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного терміну експлуатації залізничної колії, з одночасним збереженням безпеки руху поїздів.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проміжним рейковим скріпленням, яке впровадилось у постійну експлуатацію на залізницях України після довготривалих експлуатаційних спостережень є нероздільне скріплення типу КПП-1, а згодом і скріплення типу КПП-5. Даний вид скріплення є прототипом польського проміжного рейкового скріплення типу SB-3 [1, 2]. Передумовою впровадження такого виду скріплення є забезпечення нормативного рівня притискання підшви рейки до підрейкової опори. Було встановлено, що на початкових стадіях експлуатації на відміну від скріплення типу КБ скріплення типу КПП-5 мають низку переваг таких, як: простота монтажу-демонтажу утримання колії, відсутність болтово-гайкових з'єднань, малодетальність, низька металосмістність.

Але під час тривалої експлуатації у скріплення типу КПП-5 виявлено низку недоліків, пов'язаних із передчасною відмовою його елементів. Причиною цього є недостатньо вивчена силова робота вузла скріплення під час експлуатації. На сьогоднішній день чисельну оцінку зниження сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КПП-5 залежно від пропущеного тоннажу досліджено не до кінця. Під час експлуатаційних спостережень за роботою проміжних скріплень типу КПП-5 в діапазонах радіусів менше 600 м часто трапляються випадки розширення рейкової колії. Порушення нормативної ширини рейкової колії одночасно загрожує безпеці руху поїздів. Одночасно з цим підрейкова прокладка недостатньо чинить опір поперечному і поздовжньому зміщенню рейки, що призводить до появи угону колії [3, 4, 5]. Збільшується бокова жорсткість вузла скріплення, що призводить до пошкодження полімерної вкладки типу ВІП, пошкоджується тіло залізобетонної шпали в місці примикання з шапкою монолітного анкера.

На сьогодні, згідно [6], елементи скріплення типу КПП-5 ремонту не підлягають і замінюються на нові. Отже, існує проблема, що пов'язана з відсутністю

технології утримання, і засобів контролю за станом роботи, залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5. Це дозволило б підсилити роботу вузла скріплення типу КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну експлуатації залізничної колії.

**Мета та задачі дослідження.** Метою даної роботи є вирішення науково-практичної задачі, пов'язаної із розробкою технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, а саме:

- дослідити основні положення та методику оцінки стану пружних і залишкових деформацій у елементах рейкового скріплення типу КПП-5, та їх вплив на силову роботу вузла скріплення під час експлуатації;

- з допомогою розробленої методики та практичних засобів, розробити та обґрунтувати технологію контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5.

**Основна частина дослідження.** У 2014 році автором спільно з кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу було встановлено, загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом  $T = 0-800$  млн. т. бр., (рис. 1).

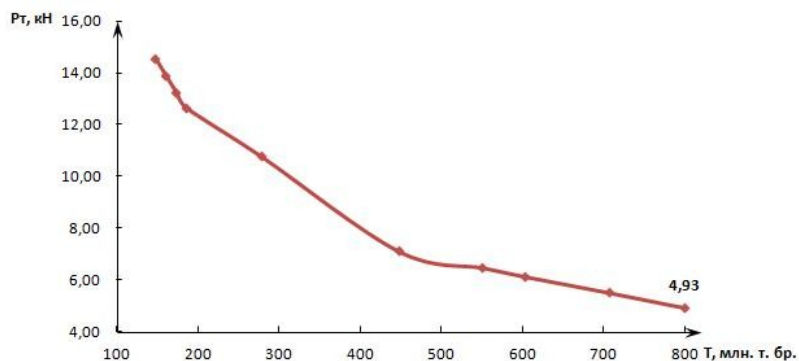


Рис. 1. Графік загального зменшення сили притискання із врахуванням усіх факторів

Із рис. 1 встановлено, залежно від пропущеного тоннажу величина зміни сили притискання рейки до підрейкової основи в основному змінюється за лінійним законом. Стрибокподібне загальне значення зменшення сили притискання починаючи з  $T = 147$  млн. т. бр. До  $T = 400$  млн т. бр., спричинене нерівномірним зношенням (стиранням) підрейкової прокладки.

Дослідження зміни сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КПП-5 виконувались з урахуванням впливу різних факторів (рис. 2).

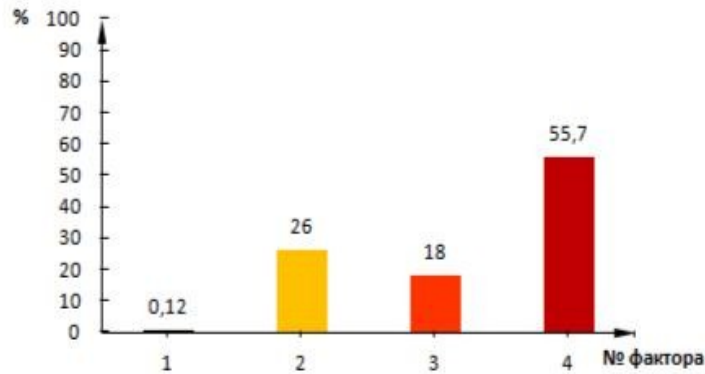


Рис. 2. Вплив факторів на силу притискання рейки до підрейкової основи в рейковому скріпленні типу КПП-5

1 – «монтаж-демонтаж клеми»; 2 – релаксація клеми;  
3 – розташування осей анкера; 4 – знос прокладки.

Опір поздовжньому переміщенню рейкової нитки в основному залежить від стабільного притискання рейки до підрейкової основи пружною клемою протягом усього міжремонтного терміну експлуатації, а також від матеріалу і якості підрейкових амортизуючих прокладок [7, 8].

Згідно з нормативною документацією [9], у безстиківій колії рейкові пліти та рейки зрівнювальних прольотів до залізобетонних шпал дозволяється прикріплювати проміжними скріпленнями, що забезпечують достатній опір поздовжньому переміщенню рейкових пліт (25-30 кН/м). Тому, емпірично було визначено можливе зменшення величини погонного опору переміщенню рейкової нитки залежно від зміни сили притискання при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 (рис. 3).

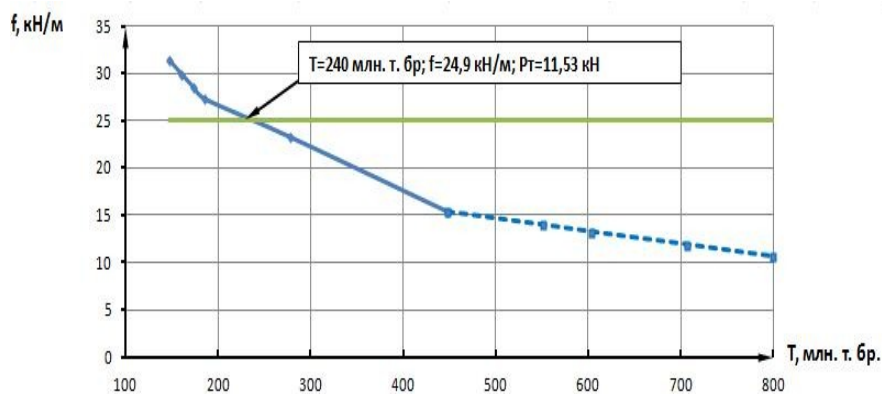


Рис. 3. Залежність зміни величини опору поздовжньому зміщенню рейкової нитки від пропущеного тонуажу

Встановлено, мінімальне значення сили, при якій стабільно буде рейка до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки – має бути  $P_{\min} = 11,5 \text{ кН}$  при пропущеному тоннажі  $T=240 \text{ млн. т. бр.}$

Для попередження можливого виникнення угону плітей безстикової колії при скріпленні типу КПП-5, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів вузла, було розроблено конструкцію регулювальної пластини. Конструкція регулюючої пластини, під час монтажу її в робоче положення у вузлі скріплення типу КПП-5 встановлювалась між ізолюючим вкладишем та клемою.

Товщина регулюючої пластини згідно досліджень, з метою підвищення надійної силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного періоду проектувалась товщиною 4 мм.

З використанням регулюючої пластини, було визначено підвищення сили притискання рейки до підрейкової основи (рис. 4).

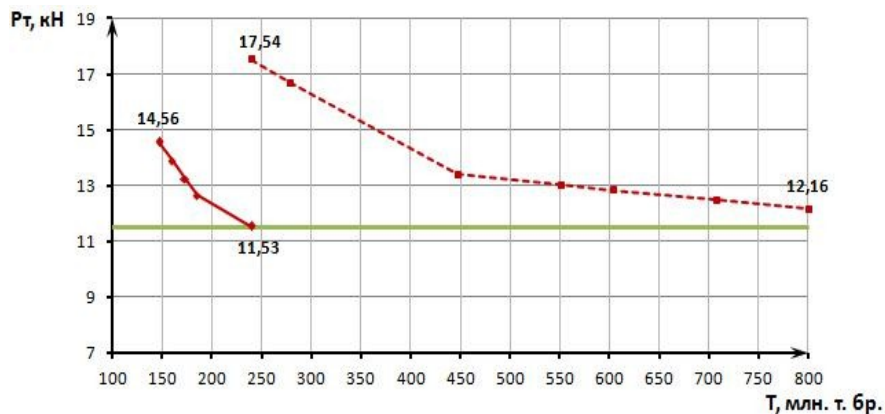


Рис. 4. Підвищення сили притискання клеми до підшви рейки з використанням регулюючих пластин

Згідно із рис. 4 можна побачити, що при застосуванні регулюючих пластин сила притискання рейки до підрейкової основи з  $T=240 \text{ млн. т. бр.}$  підвищується на  $P_t = 34,26 \%$ .

Величина опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки з використанням регулюючих пластин при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 зображена на рис. 5.

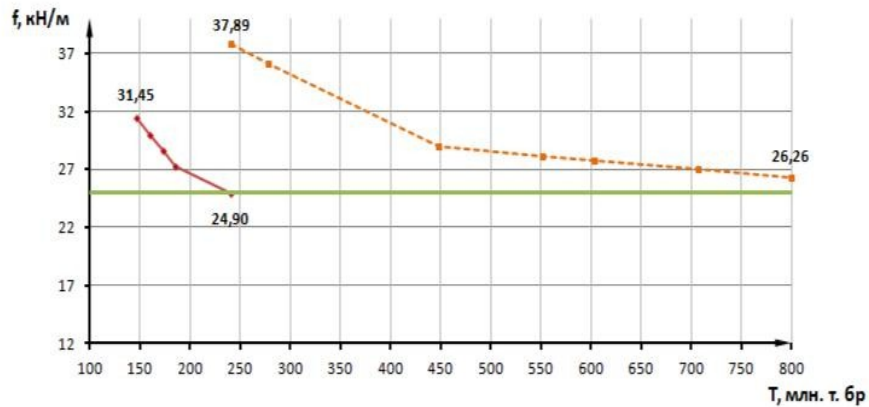


Рис. 5. Підвищення поздовжнього опору переміщенню рейкової нитки з використанням регулюючих пластин

Із рис. 5 встановлено, величина поздовжнього опору переміщенню рейкової нитки збільшується на  $f = 34, 28 \%$ .

Згідно [10], проміжне рейкове скріплення типу КПП-5 можна укласти на ділянках колії з вантажонапруженістю до 30 млн. т. км. бруто на км. за рік. В залежності від швидкості руху вантажних та пасажирських поїздів буде виконуватись модернізація колії з міжремонтними періодами пропущеного тоннажу – 650 та 800 млн. т. бр.

На основі вище представлених досліджень було запропоновано рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 протягом усього міжремонтного терміну експлуатації. з міжремонтними періодами пропущеного тоннажу 650 та 800 млн. т. бр. (рис. 6-7).

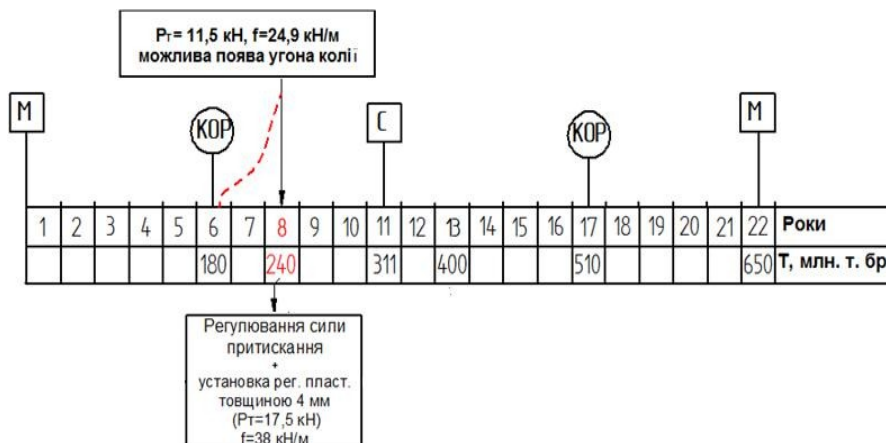


Рис. 6. Технологія контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 при міжремонтному терміні 650 млн. т. бр.

Відповідно з [11], дане регулювання та підсилення конструкції вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 можна перенести на виконання комплексно-оздоровчого ремонту колії (див. рис. 6-7).

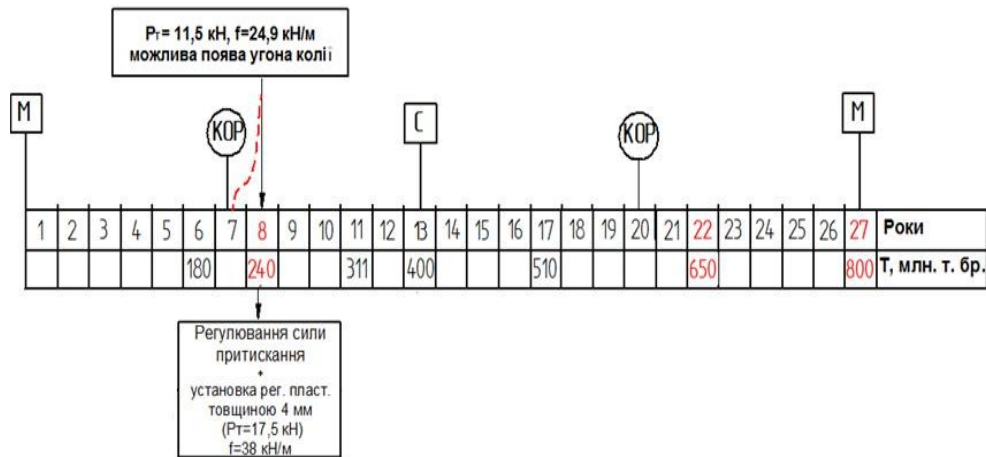


Рис. 7. Технологія контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 при міжремонтному терміні 800 млн. т. бр.

Згідно із схемами (рис. 6-7), необхідно виконувати регулювання сили притискання та підсилювати силову роботу вузла скріплення типу КПП-5 регульовальними пластинами, уже після пропуску 240 млн. т. бр. вантажу.

За результатами опитування працівників колійного господарства, було виявлено, що можливі випадки виникнення угону плітей безстикової колії найчастіше виникають у зоні зрівнювальних прольотів. Рекомендується установлювати дану конструкцію пластин через кожну третю шпалу в зоні зрівнювальних прольотів плюс у середній частині пліті (2-3 ланки рейко-шпальної решітки). Згідно з розрахунків це складає близько 140 одиниць на 1 км. колії.

Окремою задачею даних досліджень було визначення техніко-економічної ефективності від впровадження запропонованих рекомендацій по утриманню залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5. Під час досліджень використовувалась методика, що дозволяє проаналізувати економічну ефективність роботи варіанта ВБК протягом усього міжремонтного терміну експлуатації [12]. Дана методика базується на аналізі сумарних приведених витрат.

$$\Pi_i = K_i + \sum_{t=1}^{t_{кр}} E_{ti} \eta_i + \sum_{t=0}^{t_{кр}} C_{ti} \eta_t \quad (1)$$

де  $K_i$  – капітальні вкладення на укладку  $i$ -го варіанта конструкції колії, грн/км (витрати на капітальні ремонти колії);

$E_{ti}$  – річні експлуатаційні витрати по  $i$ -му варіанту, грн/км за рік;

$C_{ti}$  – одночасні витрати (на комплексно-оздоровчі, середні та інші ремонти) по  $i$ -му в кожному конкретному році  $t_i$ , грн/км;

$t_i$  – рік, в котрому визначають витрати;

$t_{кр}$  – строк служби найбільш довгострокового варіанта конструкції колії років;

$\eta_t$  – коефіцієнт віддалення витрат (коефіцієнт дисконтування).

Коефіцієнт віддалення витрат визначається за формулою:

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E^{im})^t} \quad (2)$$

Графік сумарних приведених витрат, що дозволяє визначити термін окупності від впровадження запропонованих автором рекомендацій, зображено на рис. 8.

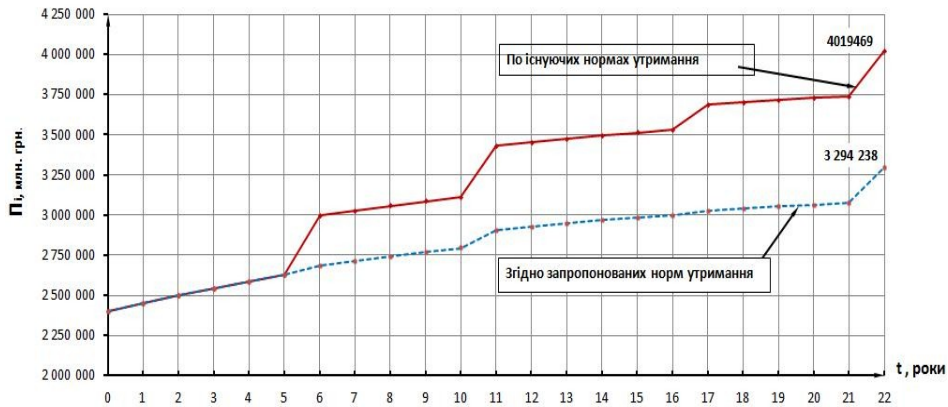


Рис. 8. Графік сумарних приведених витрат утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 по існуючих нормативах та запропонованій технології

На підставі економічних розрахунків, згідно із запропонованою технологією контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5, з використанням регулювальних пластин встановлено, економія спостерігається практично по всіх видах проміжних ремонтів та поточного утримання (рис. 9).



Рис. 9. Економічний ефект від впровадження запропонованої технології контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5

Результати розрахунків економічного ефекту на 1 км залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 за весь міжремонтний строк дозволить

зменшити витрати на 18,04 % в основному за рахунок зменшення витрат часу на заміну елементів вузла скріплення, та економії матеріалів ВБК.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** За результатами досліджень було встановлено, що зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи за рахунок релаксації клеми на кінець міжремонтного періоду складає 26 %, за рахунок зношення підрейкової прокладки 55,7 %, за рахунок центрування отворів анкерів 18 %, виконання технологічного процесу – «монтаж-демонтаж» 0,12 %. Під час досліджень по впливу різних факторів на процес зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання скріплення типу КПП-5, ізолюючий вкладиш типу ВІП не приймали до уваги, так як зношення опорної його поверхні, що примикає до підшви рейки під час полігонних досліджень не спостерігалось.

Загальне передбачуване значення зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом  $T = 0 - 800$  млн. т. бр. з врахуванням впливу вище приведених факторів може досягати 4,93 кН. Мінімальне значення сили, при якій стабільно буде рейка притискатись до підрейкової основи із одночасним збереженням поздовжнього опору переміщенню рейкової нитки має бути  $P_{\min} = 11,5$  кН при пропущеному тоннажі  $T=240$  млн. т. бр.

З метою підсилення силової роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації була розроблена та запропонована конструкція регулювальної пластини. У випадку її використання сила притискання клеми до підшви рейки починаючи з  $T=240$  млн. т. бр. підвищується на 34,26 %, а величина погонного опору зміщенню рейкової нитки на 34,28 %. Одночасно забезпечується оптимальна робота силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» протягом усього міжремонтного періоду. Регулююча пластина проста за конструктивними параметрами, оскільки не потребує багато витрат матеріалу на виготовлення.

Вперше появляється можливість використовувати проміжні елементи рейкового скріплення типу КПП-5 навіть тоді, коли вони уже втратили свої пружні властивості та силові характеристики під час експлуатації. Зменшуються витрати на закупку нових елементів вузла рейкового скріплення, з одночасним збереженням безпеки руху поїздів.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології контролю та утримання 1 км залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 становить: при поточному утриманні 86 %, при комплексно-оздоровчому ремонті (КОРi) – 13 %, при середньому ремонті колії – 2,5 %. За весь міжремонтний строк економія складає 18,04 %.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Говоруха, В. В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений: Монография. – Д.: Изд-во «Лира ЛТД», 2005. – 388 с.
2. Нехорошев, Ю. П. Результаты испытаний скрепления СБ-3 [Текст] / Ю. П. Нехорошев, В. И. Матвеев // Путь и путевое хозяйство – М.: 2005, № 6. – С. 26 – 27.
3. АКТ обстеження ділянки колії зі скріпленням типу КПП-5 на Львівській залізниці по Мукачівській дистанції колії. Ст. Воловець. Комісія у складі: Ю. О. Макаров., В. П. Третяков., Д. О. Дроздов., В. В. Грубов., Д.: – 2011. – 5 с.
4. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre-stressed concrete sleepers [Text] / F. Rezaie, M. R. Shiri, S. M. Farnam // «Engineering Failure Analysis» № 26 (2012) 21-30.

5. Даренский, А. Н. О некоторых закономерностях выхода элементов скреплений [Текст] / Даренский А. Н. // Труды Межвузовский тематический сборник, вып 164. Ростов-на-Дону, РИИЖТ, 1981, с. 81-84.
6. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, УІС60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками (ЦП-0104) / С. М. Демченко, В. Л. Піскунов, О. В. Саєнко, В. О. Сестринський – Київ: Транспорт України, 2003. – 46 с.
7. Рибкін В. В. Пристрій для розрядки температурних напружень в плітях безстикової колії [Текст] / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д.: 2013.
8. Рибкін, В. В. Конструкція пристрою для контролю сили притискання клеми до рейки в проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 [Текст] / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, Савицький В. В. // Тези доповіді на 74 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2014. – Д.: 2014.
9. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню та утриманню безстикової колії на залізницях України [Текст] / Рибкін В. В., Патласов О. М., Белорусов О. І., Карпов М. І., Курган Д. М., Шраменко В. П., Бабенко А. І., Штойко В. А., Олійник І. О., Лисак В. А., Каленик К. Л. // Транспорт України, К.: 2013. – 158 с.
10. Інструкція з улаштування та утримання колій залізниць України.(ЦП0269) [Текст] / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, М. І. Карпов, В. О. Яковлев, В. В. Рибкін, О. М. Патласов та ін. // – К.: Транс-порт України, 2012. – 358 с.
11. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України, затверджено наказом Укрзалізниці від 10.08.2004 р. №630-ЦЗ. К.: 2004. – С 32.
12. Е. І. Даниленко Залізнична колія. / Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-ох томах). К.: Інпрес, 2010. – Том. 1 – 528 с.

**R. V. Marcul**

*(Assistant of Road and Track Facilities Chair, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan)*

### THE DEVELOPMENT CONTROL TECHNOLOGY AND MAINTENANCE THE RAILWAY TRACK FASTENING WITH КПП-5 TYPE

*Train speed increasing is a strategic direction of the railway transport development in Ukraine. First of all, the movement speed significantly depends on improving the quality of maintaining railroad facilities. At the same time, it is necessary to introduce the resource-saving technologies of railway track maintenance with a view to achieve the greatest economic impact. In the process of the increasing speeds, it is necessary to adhere the traffic safety rules. The implementation of this idea is possible due to the development of recommendations and control technology of the railway track fastening with type КПП-5. The research for increase the reliability of the fastening node with type КПП-5 throughout the maintenance period are given in this article. The main provisions, elastic and residual deformation assessment methodology in the rail fastening elements such as КПП-5 and their impact on the work node during the maintenance period were investigated. The control technology and maintenance of railway track fastening with type КПП-5 was developed and substantiated in this article.*

**Keywords:** fastening type КПП-5, force of pressing of a rail, technology of control and the maintenance of a way with a fastening type КПП-5.

## REFERENCES

1. Govorukha V.V. Sozdaniye i vnedreniye uprugikh elementov promezhutochnogo skrepleniya relsovogo puti [Creation and implementation of the elastic elements of the intermediate rail track fastening]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 162-171.
2. Nekhoroshev Yu.P., Matvetsov V.I. Rezultaty ispytaniy skrepleniya SB-3 [The test results of the bonding SB-3]. Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities, 2005, issue 6, pp. 26-27.
3. Makarov Yu.O., Tretiakov V.P., Drozdov D.O., Hrubov V.V. Akt obstezhennia dilianky kolii zi skriplenniam typu KPP-5 na Lvivskii zaliznytsi po Mukachivskii dystantsii kolii. St. Volovets [Certificate of inspection of the road sections with pinning type KPP-5 on the Lvov railroad in Mukachevo track. Volovets Station]. Dnipropetrovsk, 2011. 5 p.
4. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre-stressed concrete sleepers [Text] / F. Rezaie, M. R. Shiri, S. M. Farnam // «Engineering Failure Analysis» № 26 (2012) 21-30.
5. Darenkyi A.N. O nekotorykh zakonomernostyakh vyhoda jelementov skreplenij [About some conformities to law of output of elements of cleatings]. Trudy Mezhvuzovskij tematiceskij sbornik – Proceedings Interuniversity thematic collection, issue 164. Rostov-on-Don, RIIZHT, 1981, pp. 81-84.
6. Instrukcija z ulashtuvannja ta utrymannja kolij zaliznye' Ukrainy. (TsP-0269) [Instructions for ordering and keeping track of railways of Ukraine. (ЦП0269)] / E. I. Danilenko, A. N. Orlovsky, M. I. Karpov, V. A. Yakovlev, V. V. Rybkin, O. M. Patlasov and others. // – K. : Transport Ukraine, 2012. – 358 p.
7. Rybkin V. V. Prystrij dlja rozrjadky temperaturnyh napruzhen' v plitjah bezstykovoi' kolii' [Shoe discharge temperature stress in raft jointless track]. Proceedings of the International scientific conference «Problems of track and rolling stock» DNURT 2013. – D.: 2013.
8. Rybkin V. V. Konstrukcija prystroju dlja kontrolju syly prytykannja klemy do rejky v promizhnomu rejkovomu skriplenni typu KPP-5 [The design of the device to control the pressing force to the rail terminal in the intermediate rail fastening type KPP-5]. 74 Abstracts International scientific conference «Problems and prospects of railway transport» DNURT 2014 – D. : 2014.
9. Tehnichni vkazivky po ulashtuvannju, ukladannju ta utrymannju bezstykovoi' kolii' na zaliznycjah Ukrainy [Technical guidelines on the device, laying and maintenance of jointless track on the railways Ukraine] / V. V. Rybkin, O. M. Patlasov, A. I. Byelorusov, M. I. Karpov, D. N. Kurgan, V. P. Shramenko, A. I. Babenko, V. A. Shtoyko, I. A. Oleinik, V. A. Lysak, K. L. Kalenyk // Transport Urkayiny, K. : 2013. – 158 p.
10. Instruksiya z ukladannya ta utrymannja rejkovoyi kolii z reykamy typu R65, UIC60 i pruzhnyym promizhnyym skriplennyam typu KPP-5 ta vysokomitsnymy izolyuyuchymy stykamy (TsP-0104) [Instruc-tions for laying and maintenance of rail track with rails type P65, UIC60 and elastic intermediate fastening of type KPP-5 high-strength and insulating joints] (ЦП-0104) / S. M. Demchenko, V. L. Piskunov, O. Saen-ko, V. A. Nursing / – K. : Transport of Ukraine, 2003. – 46 p.
11. Polozhennja pro provedennja planovo-zapobizhnyh remontno-kolijnyh robit na zaliznycjah Ukrainy, zatverdzheno nakazom Ukrzaliznyci vid 10.08.2004 r. №630-CZ. [Terms and conditions of planned preventive repair and track works on the railways of Ukraine, approved by Ukrzaliznytsia from 10.08.2004 p. №630-ЦЗ]. K. : 2004. – 32 p.
12. Danilenko E. I. Danylenko Zaliznychna kolija. / Ulashtuvannja, proektuvannja i rozrahunky, vzajemodija z ruhomyim skladom / Pidruchnyk dlja vyshhyh navchal'nyh zakladiv (u 2-oh tomah). [Railway line. / Arrangement, design and calculations, interaction with rolling stock / Textbook for higher educational institutions (in 2-volumes)] K. : Inpres, 2010. – Vol. 1 – 528 p.

УДК 629.4.016

*Л. П. Воробьёв, к.т.н., доцент (доцент кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика»*

*Национального университета кораблестроения, г. Николаев)*

*Ю. М. Черных, к.т.н., доцент*

*(доцент кафедры «Тяговый подвижной состав железных дорог» Государственного экономико-технологического университета транспорта, г. Киев)*

*Н. Л. Воробьёва (инженер научно-исследовательского сектора*

*Национального университета кораблестроения, г. Николаев )*

### **К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРА ДЛЯ НАДДУВА ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ**

*Рассмотрены вопросы наддува дизелей тепловозов. Приведены преимущества и недостатки нагнетателей различных типов и необходимость их совершенствования. Показаны преимущества использования турбокомпрессоров с подшипниками на газовой смазке, что позволит упростить конструкцию турбокомпрессора (ТК), исключить его масляную систему, повысить производительность компрессора.*

*Ключевые слова:* наддув дизелей тепловозов, турбокомпрессор, подшипники на газовой смазке.

*Розглянуті питання наддуву дизелів тепловозів. Наведені переваги і недоліки компресорів різних типів та необхідність їх удосконалення. Показані переваги використання турбокомпресорів з підшипниками, що змащуються газом, що дозволить спростити конструкцію турбокомпресора (ТК), виключити його масляну систему, підвищити продуктивність компресора.*

*Ключові слова:* наддув дизелів тепловозів, турбокомпресор, підшипники на газовому мастилі.

Одним из силовых агрегатов на тепловозе является дизель. Для эффективной его работы используется принудительный наддув сжатого воздуха в цилиндры с помощью нагнетателей. Для наддува воздуха и продувки отработанных газов из цилиндров двигателя тепловозные дизели 10Д100 и 11Д45 потребляют 15-17 тыс. м<sup>3</sup>/ч воздуха на номинальных режимах работы двигателя. На тепловозных дизелях получили распространение нагнетатели двух основных типов: объёмные (роторные) нагнетатели и центробежные компрессоры. И те и другие могут использоваться с приводом от коленчатого вала дизеля. Однако центробежные компрессоры эффективнее используются при индивидуальном приводе от самостоятельной газовой турбины, работающей на выпускных газах дизеля. В этом случае компрессор и турбина конструктивно объединяются в единый агрегат-турбокомпрессор [1, 2].

**© Воробьёв Л. П., Черных Ю. М., Воробьёва Н. Л., 2015**

Непосредственный привод нагнетателей от коленчатого вала дизеля обладает серьёзным недостатком – подача нагнетателей в этом случае связана с частотой вращения коленчатого вала. В то же время система регулирования тепловозных дизелей в зависимости от нагрузки изменяет мощность дизеля (через подачу топлива) при неизменной частоте вращения вала. Таким образом, при постоянной частоте вращения вала дизеля независимо от его мощности, приводной нагнетатель подаёт в цилиндры одно и то же количество воздуха. В результате при работе без нагрузки (на холостом ходу), когда в цилиндрах за цикл сгорают значительно меньшие количества топлива, горение проходит с чрезмерным избытком воздуха. На подачу этого воздуха напрасно затрачивается определенная мощность.

Система газотурбинного наддува не имеет этого недостатка. Нагнетателем такой системы служит автономный турбокомпрессор, который механически не связан с валом дизеля. Ротор газовой турбины и центробежное колесо компрессора находятся на общем валу. К турбине через выпускной коллектор дизеля подводятся выпускные газы, тепловая энергия которых приводит во вращение ротор. Расширившиеся (отработавшие) продукты сгорания выпускаются в атмосферу. Сжатый воздух нагнетается во впускной коллектор дизеля. Производительность компрессора прямо пропорциональна частоте вращения колеса. Роторы турбокомпрессоров вращаются с переменной частотой, зависящей от мощности дизеля, точнее, от количества выпускных газов, т. е. от количества сжигаемого топлива. Максимальная частота вращения роторов нагнетателей тепловозных дизелей составляет от 10000 – 12000 до 20000 – 25000 об/мин.

Таким образом, дизель с газотурбинным наддувом обладает свойством саморегулируемости: по мере возрастания мощности увеличивается масса и энергия продуктов сгорания, следовательно, увеличивается частота вращения ротора турбокомпрессора и растёт подача воздуха от компрессора, и наоборот. Важное достоинство газотурбинного наддува заключается в использовании энергии выпускных газов, которая у дизелей довольно велика: газы имеют температуру 450 – 540° С и давление до 0,2 МПа.

Газотурбинный наддув успешно применяется в четырёхтактных дизелях. Применение такого наддува в двухтактных дизелях сложнее, так как на единицу мощности требуются большие количества воздуха (с учетом продувки). Обычно, это затруднение преодолевается применением комбинированных систем наддува со сжатием воздуха в двух ступенях: первой – в турбокомпрессоре, второй – в приводном объемном нагнетателе (дизель 14Д40) или в приводном центробежном нагнетателе (дизели 10Д100 и 11Д49) [1, 2]. Приводной нагнетатель облегчает пуск дизеля и обеспечивает подачу необходимого количества воздуха при малых нагрузках дизеля, когда энергия выхлопных газов недостаточна для привода турбокомпрессора.

Поэтому и представляет интерес использование турбокомпрессора с подшипниками на газовой смазке.

В последние годы во многих отраслях техники успешно применяются опоры, смазываемые газом, что существенно повышает технико-экономические показатели оборудования. Одно из основных преимуществ подшипников с газовой смазкой состоит в возможности их использования в очень широком интервале температур, особенно при высоких скоростях вращения шипа. В литературе описано множество примеров успешного использования турбомашин с газовой-

ми подшипниками в различных отраслях промышленности. Потребителями турбомашин с газовыми подшипниками являются: космическая, авиационная, химическая, пищевая, медицинская, атомная, фармацевтическая, энергетическая, холодильная, текстильная и другие отрасли промышленности. Преимуществами, которые являются определяющими в процессе выбора типа газовых подшипников для названных отраслей промышленности являются: отсутствие загрязнения, способность работать при низких и высоких температурах, стойкость при радиации, высокая надежность и долговечность, высокое число оборотов [3, 4].

Существует восемь основных требований, предъявляемых к турбомашинам. Требования включают: отсутствие загрязнения рабочего тела, высокий к. п. д., низкую температуру, высокую температуру, радиационную стойкость, надежность и долговечность, быстроходность и долговечность, простоту конструкции. Эти требования легче удовлетворить при использовании газовых подшипников, преимущество которых вполне достаточно, чтобы оправдать необходимые затраты на их разработку. Обычно в каждом случае оказывалось, что для оправдания разработки турбомашин с газовыми подшипниками достаточно удовлетворить всего одному эксплуатационному требованию, однако одновременно в каждой из разработок получали несколько дополнительных выгод.

Актуальным является применение таких опор для высокотемпературных газотурбинных двигателей малой и средней мощности, а также турбоагрегатов тепловозных, судовых, автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) поскольку использование особых свойств газа, как смазочного вещества, а также исключительных преимуществ подшипников с газовой смазкой, позволяет решить проблему создания надежных и долговечных опор. Даже самые совершенные жидкие смазки при температурах около 315° С допускают лишь кратковременную работу аппарата. Высокотемпературные машины являются также и высокоскоростными. В соответствии с этим применение газового подшипника опять-таки выгоднее, чем применение подшипника качения или подшипника с жидкой пленкой, поскольку у первого из них с увеличением скорости вращения шипа снижается срок службы, а у второго – значительно возрастают потери мощности.

Газовые подшипники, по сравнению с подшипниками, снабженными масляной смазкой, обладают несколькими дополнительными преимуществами, среди которых можно назвать следующие:

а) устранение систем машинной смазки, (насосов, холодильников, фильтров, регуляторов и т. д.), уплотнений (деталей с низкой надежностью), пожарной опасности, засорения системы и загрязнения её маслом.

б) уменьшение: размеров и веса машины; уровня шума, производимого насосами, холодильниками и т. д.; температурных градиентов (холодный подшипник, расположенный рядом с горячей турбиной, заменяется газовым или паровым подшипником); влияния перекашивания и несоосности; засорения и загрязнения системы маслом.

в) увеличение общего к.п.д.

Использование газовых подшипников в турбокомпрессорах для наддува ДВС снимают ограничения по температуре и числу оборотов ротора, исключают вопросы коксования масла и загрязнения им систем, проточных частей турбин и компрессоров, исключают возможность попадания паров масла в цилиндры двигателя. Это позволяет повысить работоспособность и мощность ТК, а также, по-

высить его производительность до необходимого количества воздуха для наддува в цилиндры двигателя и тем исключить необходимость в дополнительном приводе центробежном нагнетателе, отбирающим мощность у главного двигателя. Прирост мощности ТК объясняется снижением потерь на трение в подшипниках. В случае подшипников с жидкостной смазкой потери мощности составляют 50-55% от всей подводимой мощности к ТК, а в случае подшипников с газовой смазкой-потери мощности составляют всего 10-13% [3,4].

Используя преимущества подшипников с газовой смазкой, был перепроектирован турбокомпрессор ТКРН-7 с использованием указанных подшипников для двигателя КамАЗ. В результате устранены: система машинной смазки, уплотнения, пожарная опасность. Исключаются вопросы коксования масла и загрязнения им систем, проточных частей турбин и компрессоров [5].

Со стороны конструктивного исполнения: уменьшились размеры и вес машины, значительно упростился корпус подшипников, снялись ограничения по температуре и числу оборотов ротора, существенно уменьшились потери мощности ТК на трение в подшипниках с 55% до 12%, что позволило повысить производительность компрессора до необходимого количества воздуха для наддува в цилиндры двигателя. Использовались подшипники с самоустанавливающимися сегментами, которые позволили снизить влияния перекашивания и несоосности опор на работу узла. В этой работе удалось упростить конструкцию ТК, повысить его работоспособность и надежность, увеличить общий к.п.д.

Перспективной является работа по исследованию и проектированию ТК с подшипниками на газовой смазке для наддува двигателя тепловоза железнодорожного транспорта. Это позволит повысить работоспособность, надежность и долговечность ТК вследствие отсутствия масляной смазки и благодаря преимуществам использования подшипников с газовой смазкой. В результате: упрощается техническое обслуживание; повышается производительность компрессора до необходимого количества воздуха для наддува в цилиндры двигателя, что позволит исключить необходимость в дополнительном компрессоре, который работает от главного двигателя и обеспечивает воздухом для наддува дизеля на холостом ходу.

С целью увеличения массы заряда воздуха в рабочих цилиндрах применяют охлаждение наддувочного воздуха при помощи специальных воздухоохладителей. Охлаждение наддувочного воздуха особенно необходимо при наличии, так называемого, высокого наддува. При двухступенчатом сжатии охладитель наддувочного воздуха размещается или после нагнетателя или между ступенями. В случае использования подшипников с газовой смазкой давление наддувочного воздуха повышается, что позволяет увеличить массы заряда воздуха в рабочих цилиндрах до необходимого количества.

Важное достоинство газотурбинного наддува заключается в использовании энергии выпускных газов, которая у дизелей довольно велика: газы имеют температуру 450 – 540° С и давление до 0,2 МПа. Как указывалось ранее даже самые совершенные жидкие смазки при температурах около 315° С допускают лишь кратковременную работу аппарата. В используемых ныне ТК с целью обеспечения работоспособности корпус изготавливается сложным и с водяным охлаждением. Указанные параметры газа рационально использовать в ТК с подшипниками на газовой смазке, что повлечет за собой: во-первых, прирост мощности ТК, снижение ограничений по числу оборотов ротора и, соответст-

венно, увеличение производительности компрессора до такого количества воздуха, что отпадет необходимость в дополнительном компрессоре, и во-вторых – снижение ограничений по температуре, что позволит отказаться от водяного охлаждения подшипников. Это обеспечивает повышение работоспособности, надежности и долговечности ТК. Использование выхлопных газов в ТК для надува двигателя выгодно, так как работа выполняется за счет возвращенной в двигатель тепловой энергии выхлопных газов так называемого возвращенного тепла, что повышает КПД двигателя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловозы: Основы теории и конструкции: Учебник для техникумов ж.-д. трансп. / В.Д. Кузьмич, И.П. Бородулин, Э.А. Пахомов, Г.М. Русаков. Под ред. В.Д. Кузьмича. – М.: Транспорт, 1982.-317.
2. Тепловозы: Конструкция, теория и расчет/ И.П. Бородулин, Е.Д. Бренер, Е.С. Гречищев и др. Под ред. д-ра техн. наук Н.И. Панова. М.: Машиностроение, 1976, 544 с.
3. Curven P.W., «Operational Experience With Gas Bearing Turbomachinery», ASME Winter Meeting, New York, Nov., 1966.
4. Sternlicht Beno, Planning of the gas bearings, Mach. Design, 1964, 36, №9, (э.- и. д. м. № 30, 1964).
5. Л. П. Воробьёв. Типы опорных подшипников с газовой смазкой, используемых в роторных машинах // Л. П. Воробьёв, Д. В. Бабенко, Т. А. Иванов, Н. Л. Воробьёва // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2014 – Випуск 3(79), том 1 – 2014. – С. 190 – 197.

*Leonid P. Vorobjov, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Descriptive Geometry and Engineering Graphics Chair  
of National University of Shipbuilding)*

*Yuriy M. Chernikh, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of State University for Transport Economy and Technologies)*

*Nadia L. Vorobjova  
(Engineer of the Research Sector of National University of Shipbuilding)*

### **ON THE ISSUE OF IMPROVING THE TURBOCHARGER FOR SUPERCHARGING DIESEL ENGINES**

*The questions naturally aspirated diesel engines . These advantages and disadvantages of different types of compressors and the need to improve them. The advantages of using turbochargers with bearings that are lubricated gas that will simplify the design of the turbocharger , exclude the oil system , improve the performance of the compressor.*

*Using gas bearings in the turbocharger for supercharging internal combustion engine removed restrictions on the temperature and the number of revolutions of the rotor, are excluded questions of coking and oil contaminated with systems of flow parts of turbines and compressors, eliminates the possibility of oil vapors into the engine cylinders.*

*The increase in capacity due to lower TC friction losses in the bearings. In the case of bearings lubricated with fluid power loss is 50-55% of the input power to the TC, while in the case of gas-lubricated bearings, power losses account for only 10-13 %.*

### REFERENCES

1. Teplovozy: Osnovy teorii i konstrukcii: Uchebnik dlya tekhnikumov zh.-d. transp. / V.D. Kuzmich, I.P. Borodulin, E.A. Pahomov, G.M. Rusakov. Pod. Red. V.D. Kuzmicha. – M.: Transport, 1982. – 317.
2. Teplovozy: Konstrukciya, teoriya i raschet/ I.P. Borodulin, E.D. Brener, E.S. Grechishev i dr. Pod red. d-ra tehn. Nauk N.I. Panova. M.: Mashinostroenie, 1976, 544 p.
3. Curven P.W., «Operational Experience With Gas Bearing Turbomachinery», Asme Winter Meeting, New York, Nov., 1966.
4. Sternlicht Beno, Planning of the gas bearings, Mach. Design, 1964, 36, №9.
5. L.P. Vorobjov. Tipy opornikh podshipnikov s gazovoj smazkoj, ispolzuemykh v rotornykh mashinah // L.P. Vorobjov, D.V. Babenko, T.A. Ivanov, N.L. Vorobjova // Visnyk agrarnoji nauku Prichernomorja. – Mykolaiv, 2014 – Vypusk 3(79), t. 1 – 2014. P. 190 – 197.

УДК 629.424.2

**М. Б. Чубикало, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)**  
**О. А. Логвіненко, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)**

### ПЕРСПЕКТИВНІ КОМПРЕСОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ СУЧАСНОГО ТЯГОВОГО ТА МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

*Розглянуто проблеми ефективного функціонування залізничного транспорту України. Відмічено, що одним із пріоритетних напрямків його розвитку є досягнення високих техніко-економічних показників перевізного процесу, що пов'язано з рішенням задач щодо забезпечення потрібних експлуатаційних характеристик і надійності систем сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу. Виділено, що важливу роль серед таких систем відіграють системи повітропостачання. Обґрунтована доцільність удосконалення цих систем за рахунок використання у їх складі нових за конструкцією компресорів роторного типу. Наведено результати науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, які спрямовані на розробку нових перспективних багатокамерних шибєрних компресорів. Зазначено можливість і доцільність їх використання в технічних засобах залізничного транспорту.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, перевізний процес, техніко-економічні показники, система повітропостачання, багатокамерний шибєрний компресор.

*Рассмотрены проблемы эффективного функционирования железнодорожного транспорта Украины. Отмечено, что одним из приоритетных направлений его развития является достижение высоких технико-экономических показателей перевозочного процесса, что связано с решением задач по обеспечению нужных эксплуатационных характеристик и надежности систем современного тягового и моторвагонного подвижного состава. Выделено, что главная роль среди таких систем отводится системам воздухопостачання. Обоснована целесообразность совершенствования этих систем за счет использования в их составе новых по конструкции компресорів роторного типа. Приведены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку новых перспективных многокамерных шибєрных компрессоров.*

© Чубикало М. Б., Логвіненко О. А., 2015

*Отмечена возможность и целесообразность их использования в технических средствах железнодорожного транспорта.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, перевозочный процесс, технико-экономические показатели, система воздухообеспечения, многокамерный шибберный компрессор.*

**Постановка проблеми.** Залізничний транспорт України є однією з базових галузей національної економіки, ефективного функціонування якої є необхідною умовою для забезпечення обороноспроможності, національної безпеки і цілісності держави, захисту її економічних інтересів, підвищення рівня життя населення. На даний час залізниці в основному задовольняють потреби національної економіки та населення у перевезеннях, проте стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідає зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, що найближчим часом може стати перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку держави.

Відповідно до основних положень державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106)) та Транспортної стратегії України на період до 2020 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р) одним із пріоритетних напрямів розвитку залізниць є досягнення високих техніко-економічних показників перевізного процесу на залізничному транспорті України. Це пов'язано з рішенням задач щодо забезпечення потрібних експлуатаційних характеристик і надійності систем сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу, які визначають безпеку руху поїздів. Серед таких систем у першу чергу слід виділити систему повітропостачання, яка функціонально пов'язана з гальмовою, електропневматичною, пісочною системами, а також відповідними допоміжними приладами. При цьому головну роль в забезпеченні зазначених систем стислим повітрям (з необхідними показниками за продуктивністю і тиском) відіграють компресори.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що в нинішній час в системах повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу в більшості застосовуються поршневі компресори (ОАО «Полтавський турбомеханічний завод» (КТ-6, КТ-6Эл, КТ-7, ПК-5,25, ПК-3,5, ПК-1,75, Э-500), Первомайського гальмівного заводу (ВАТ «Транспневматика») (ВП-3/9, ВВ-1,5/9, ПК-35, ЭК-7Б, ЭК-7В, ЭК-4, ЭК-4Б, ЭК-4В), ВАТ Бежецького заводу «АСО» (К1, К2), СКД Прага, Чехія (К-3)), які при достатній продуктивності, тиску нагнітання та задовільній експлуатаційній надійності характеризуються досить великими масо-габаритними показниками, витратами потужності на при-вод, а в окремих випадках потребують використання редукторів для їх приводу. Наряду з цим до негативних проявів експлуатації таких компресорів слід віднести високий рівень вібрацій, що негативно впливає на здоров'я пасажирів та локомотивних бригад, а також на надійність і довговічність як самих компресорів, так і несучих елементів рухомого складу [1-3]. Це обґрунтовує вибір одного з перспективних шляхів удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу до яких відноситься використання у їх складі нових за конструкцією компресорів роторного типу. Результати прове-

дених в Українському державному університеті залізничного транспорту (УкрДУЗТ) науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт [4-13], які спрямовані на розробку нових перспективних засобів транспорту і в тому числі багатокамерних шибєрних компресорів, що мають у порівнянні з існуючими поршневыми компресорами переваги за вищевказаними вимогами, свідчать про можливість і доцільність їх використання в технічних засобах залізничного транспорту.

**Метою статті** є обґрунтування доцільності використання перспективних багатокамерних шибєрних компресорів у складі систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу.

**Викладення основного матеріалу.** Нижче представлено загальне описання конструкції і принципу дії розробленого в УкрДУЗТ перспективного багатокамерного шибєрного компресора (БШК) для систем повітропостачання тягового та моторвагонного рухомого складу.

На рис.1 наведена кінематична схема механічної системи багатокамерного компресора з двома шибєрами (двома робочими камерами I і II). Основу конструкції БШК нового типу складають: 1 – зовнішній корпус з впускними і нагнітальними саморегульованими клапанами, який приводиться від зовнішнього джерела механічної енергії і обертається навколо осі  $O_1$  з кутовою швидкістю  $\omega_1$ ; 2, 3 – шибєри, встановлені в направляючих ротора 4 і поєднані з корпусом 1 (передають обертальний рух від корпусу 1 до ротора 4 і здійснюють складний рух, що обумовлений їх обертанням навколо осі  $O_4$  і поступальним рухом в напрямних ротора); 4 – внутрішній ротор (обертається навколо осі  $O_4$  з кутовою швидкістю  $\omega_4 = \omega_1$ ); 5, 6 – осі обертання  $O_1$  і  $O_4$ , відстань між якими відповідає величині заданого ексцентриситету  $e$ .

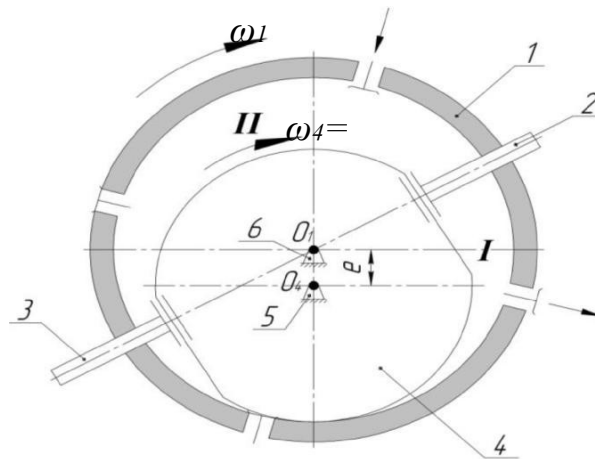


Рис.1. До розгляду особливостей конструкції БШК

Видно, що робочі камери компресора I і II обмежуються поверхнями корпусу 1, ротора 4, а також шибєрів 2,3. Зміна об'ємів робочих камер здійснюється за рахунок ексцентричного розташування осей обертання  $O_1$  і  $O_4$  корпусу 1 і ротора 4.

На рис.2 показано кінематичну схему механічної системи такого БШК в трьох фіксованих положеннях: а) – нагнітання стислого повітря з камери I і наповнення камери II; б) – розрідження в камері I і стисання повітря в камері II; в) – наповнення камери I і нагнітання стислого повітря з камери II.

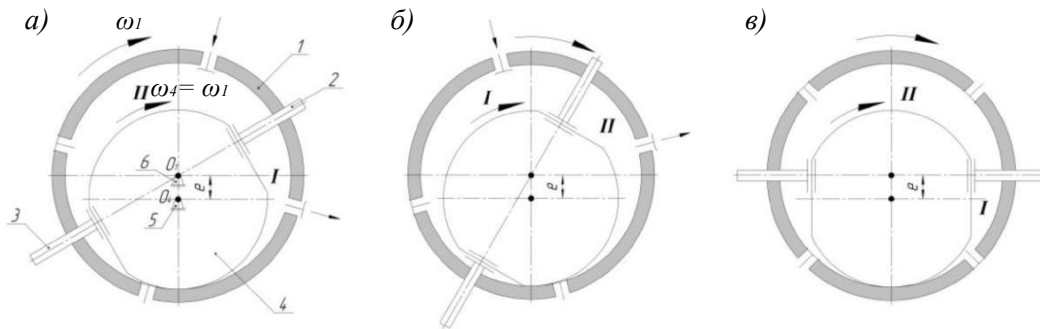


Рис.2. До розгляду особливостей конструкції та принципу дії БШК

Нижче на рис. 3 представлено запатентоване технічне рішення, яке є основою конструкції нового БШК для поліпшення експлуатаційних характеристик систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу [14]. Відповідно до запропонованих технічних рішень механічна система БШК містить: статорну ексцентрикову вісь I на ексцентрикові шийки якої, на опорах обертання 2, встановлено корпус 3, у внутрішньому об'ємі якого розташований ротор 4. У корпусі 3 виконані радіальні пази 5, у яких з можливістю радіального переміщення, встановлені шибері 6. У зоні контакту їх з ротором 4 на його зовнішній поверхні виконані плоскі грані 7, і паралельно їм виконані тангенціально розташовані прямокутні тангенціальні направляючі 8, у які, з можливістю тангенціального ковзання в них, встановлені тангенціальні повзуни 9. Між корпусом 3 і ротором 4 утворені робочі об'єми 10. Радіальні пази 5 корпусу 3 зовні заглушені кришками 11, і в них шибері 6 утворюють радіальні робочі об'єми 12.

Кожен з напроти лежачих герметичних робочих об'ємів 10, які утворені між ротором 4 і корпусом 3, і кожен з герметичних радіальних робочих об'ємів 12, які утворені у радіальних пазах 5 між торцями шиберів 6 і кришками 11, сполучаються між собою через канал 13 з постачально-розподільними органами (клапанами) 14 робочого тіла. Робочі об'єми 10, які утворені між ротором і корпусом являють собою першу ступінь стисання, а радіальні робочими об'єми 12, які утворені у радіальних пазах між торцями шиберів 6 і кришками 11 являють собою другу ступінь стисання.

Кожен з напроти лежачих герметичних робочих об'ємів 11, які утворені між ротором 4 і корпусом 3, і кожен з герметичних радіальних робочих об'ємів 12, які утворені у радіальних пазах 5 між торцями шиберів 6 і кришками 11, сполучаються між собою через канал 13 з постачально-розподільними органами (клапанами) 14 робочого тіла. Робочі об'єми (камери) 11, які утворені між ротором і корпусом являють собою другу ступінь стисання, а радіальні робочими об'єми 12 (камери), які утворені у радіальних пазах між торцями шиберів 6 і кришками 11 являють собою першу ступінь стисання.

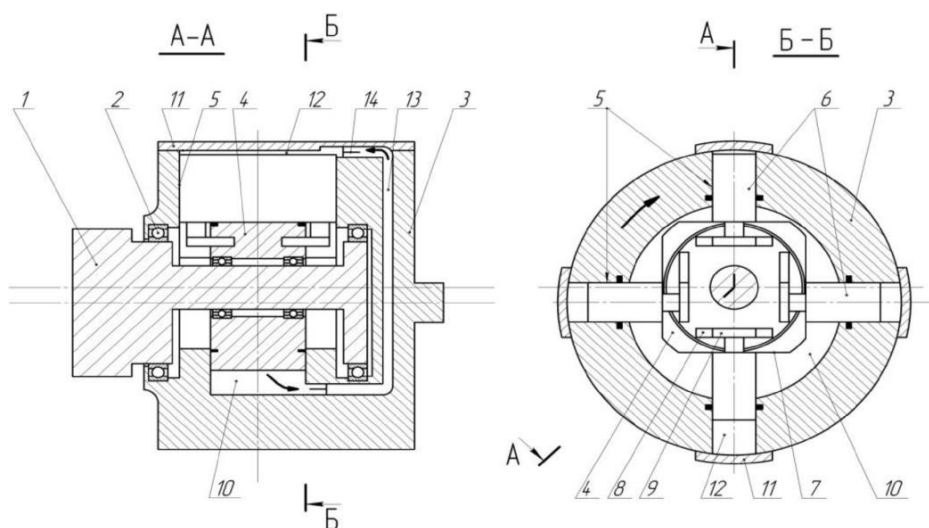


Рис.3. До розглядання особливостей устрою нового БШК

Запропонований двоступінчатий БШК працює таким чином. При обертанні корпусу 3 зовнішнім джерелом механічної енергії разом з ним обертаються шибери 6, а вони обертають за допомогою своїх тангенціальних повзунів 9 ротор 4 завдяки тангенціальним пазам 8. Об'єми робочих камер 10 і 12 змінюються. Стиснуте у робочих камерах 12 повітря через канали 13 з постачально-розподільними органами (клапанами) 14 нагнічується у напроти лежачі робочі об'єми 11 другої ступені стискування, де повітря повторно стискується до більшого тиску, і нагнітається в систему високого тиску.

З метою підтвердження працездатності механічної системи БШК була виготовлена з органічного скла її фізична модель (рис. 4). Використання такого матеріалу дало можливість наочно впевнитись в здійсненні відповідними ланками потрібних переміщень. Слід зазначити, що на всіх швидкісних режимах роботи моделі фіксувались несуттєві рівні вібрацій і забезпечувалась міцність деталей, що утворюють рухомі з'єднання. Це обґрунтовує можливість надійної експлуатації нових компресорів з високими кутовими швидкостями обертання корпусу і ротора. При цьому відпадає необхідність застосування в електроприводі передаточного зубчатого механізму.

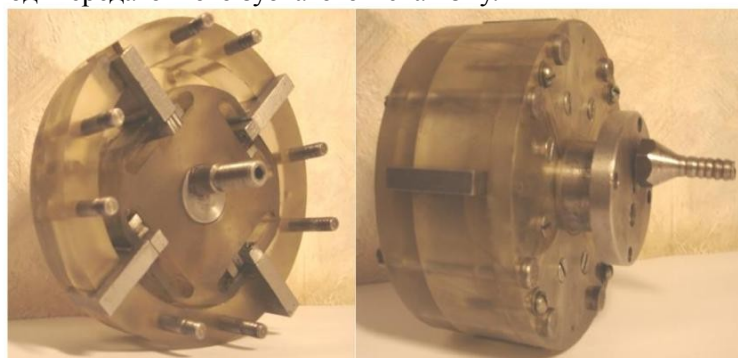


Рис.4. Фізична модель механічної системи БШК нової конструкції

Проведені науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи дають можливість визначити переваги нових БШК запропонованої конструкції відносно існуючих поршневих компресорів:

- більша надійність БШК в експлуатації, що досягається конструктивною урівноваженістю їх механічної системи і використанням електроприводу без передаточного зубчатого механізму;

- забезпечення потрібної продуктивності при суттєво менших масо-габаритних показниках БШК за рахунок використання швидкохідного електроприводу;

- зменшення витрат потужності на привод БШК, що пояснюється відсутністю в конструкції їх механічних систем ланок значної маси, що здійснюють зворотньо-поступальний рух.

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Наведені в статті матеріали, а також результати пошукових досліджень показали, що багатокамерні шибєрні компресори мають суттєві переваги перед поршневими компресорами за надійністю в експлуатації, масо-габаритними показниками та витратами потужності на привод. Це дозволяє виділити перспективний напрямок удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного складу, який полягає в заміні існуючих поршневих компресорів запропонованими новими роторного типу. Стаття має безумовний інтерес для фахівців в галузі створення та модернізації компресорів для тягового рухомого складу залізниць та вагонів метрополітену.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Киселев, В. В.* Компрессоры локомотивов. / В. В. Киселев, С. П. Меренцев, П. А. Шелест. – М. : Машиностроение, 1965. – 335 с.
2. *Меренцев, С. П.* Компрессоры локомотивов. / С. П. Меренцев. – М. : Транспорт, 1974. – 80 с.
3. *Френкель, М. И.* Поршневые компрессоры / М. И. Френкель. – Л. : Машиностроение, 1969. – 743с.
4. *Фомін, О.В.* Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія/ О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с..
5. *Фомін, О.В.* Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія/ О.В.Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251с.
6. *Пат.* 81264 С2 Україна, МПК (2006) F04C18/00, F04C18/34, F04C18/356. Роторний компресор (варіанти) / Мороз В.І., Чубикало М.Б., Братченко О.В. (Україна); заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – №а200503571; заявл.15.04.2005; опубл. 25.12.2007, Бюл. №12. – 5 с.
7. *Мороз, В.І.* Методика розрахунку продуктивності багатокамерного біроторного компресору / В.І. Мороз, М.Б. Чубикало, О.А. Логвіненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2005. – Вип. 33. – С. 91-94.
8. *Мороз, В.І.* Уточнена методика розрахунку робочого об'єму багатокамерного біроторного компресора / В.І. Мороз, М.Б. Чубикало, О.А. Логвіненко // Міжвузівський збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2005. – Вип. 70. – С. 108-112.
9. *Мороз, В.І.* Методика розрахунку поточних об'ємів роторного компресора / В.І. Мороз, М.Б. Чубикало, О.А. Логвіненко // Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2005. – Вип. 69. – С. 80-90.
10. *Фомін, О. В.* Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів [Текст] / О. В. Фомін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. Наука та прогрес транспорту. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6 (54). – С. 146–153.

11. Чубикало, М.Б. Динамічне дослідження двокамерного шибєрного компресора / М.Б. Чубикало, О.А. Логвіненко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Д., 2014. – Вип. 37. – С. 93-99.

12. Fomin, O. V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Text] / O. V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2014. – № 5. – P. 31–40.

13. Чубикало, М.Б. Експериментальне дослідження транспортних біроторних компресорів нового типу / М.Б. Чубикало, О.А. Логвіненко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у 2 частинах – Ч.1. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2009. – С. 254.

14. Пат. 43282 Україна, 7 F02B53/00, F01C1/00, F04C2/00, F04C18/00. Роторна машина Чубикало М.Б. (варіанти) / Чубикало М. Б. (Україна); заявник та патентовласник Чубикало Михайло Борисович. – №2001064078; заявл. 14.06.2001; опубл. 15.04.2004, Бюл. №6. – 19 с.

**Michael Chubykalo, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of «Heat engineering and heat engines», Ukrainian State University of Railway Transport)**

**Alexander Logvinenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of «Mechanics and designing machines» Ukrainian State University of Railway Transport)**

### PROSPECTIVE COMPRESSORS FOR AIR SUPPLY SYSTEMS OF MODERN TRACTION AND MULTIPLE UNITS

*The problems of effective functioning of Railway Transport of Ukraine. It is noted that one of the priorities of its development is to achieve a high technical and economic indicators of the transportation process, which is associated with problem solving to meet the needs of performance and reliability of modern systems of traction and multiple units. It stressed that an important role among these systems is given air supply system. The expediency of improving these systems through the use of their structure on the construction of new rotary compressors. The results of research and development activities aimed at developing promising new multi-vane compressors. The possibility and expediency of their use in the technical means of rail transport.*

**Keywords:** railway transport, the transportation process, technical and economic parameters, the air supply system, multi-chamber sliding vane compressor.

### REFERENCES

1. Kiselev V.V., Merentsev S.P., Shelest P.A. *Kompressory lokomotivov* [Compressors locomotives]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965. – 335 p.

2. Merentsev S.P. *Kompressory lokomotivov* [Compressors locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1974. – 80 p.

3. Frenkel M.I. *Porhsnevye kompressory* [Reciprocating compressors]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1969. – 743 p.

4. Fomin O. V. (2014) Doslidgenja defektiv ta poskodgen nesuchykh system zaliznychnykh napivvagoniv [Research Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine
5. Fomin, O. V. (2013). Optyimizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvagoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva. Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 251.
6. Moroz V.I., Chubykalo M.B., Bratchenko O.V. *Rotornyi kompresor (varianty)* [The rotary compressor (options)]. Patent UA, no. a200503571, 2005.
7. Moroz V.I., Chubykalo M.B., Logvinenko O.A. Metodyka rozrakhunku produktyvnosti bagatokamernogo birotornogo kompresora [The methodology for calculating performance for multi-rotary compressor]. *Visnyk Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka* [Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named after Peter Vasilenko]. Kharkiv, 2005, issue 33, pp. 91-94.
8. Moroz V.I., Chubykalo M.B., Logvinenko O.A. Utochnena metodyka rozrakhunku robochogo obiemu bagatokamernogo birotornogo kompresora [A refined method of calculating the working volume for multi-rotary compressor]. *Mizhvuzivskiyi zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnogo transportu* [Interuniversity collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport]. Kharkiv, 2005, issue 70, pp. 108-112.
9. Moroz V.I., Chubykalo M.B., Logvinenko O.A. Metodyka rozrakhunku potochnykh obiemiv rotnornogo kompresora [Methods for calculating the current volume of the rotary compressor]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnogo transportu* [Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport]. Kharkiv, 2005, issue 69, pp. 80-90.
10. Fomin, O. V. (2014). Analiz dotsilnosti zastosuvannia shestyhrannykh porozhnistykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu im. ak. V. Lazariana. Nauka ta prohres transportu*, 6 (54), 146–153.
11. Chubykalo M.B., Logvinenko O.A. Dynamichne doslidzhennia dvokamernogo shybernogo kompresora [Dynamic study of the two-chamber vane compressor]. *Zbirnyk naukovykh prats Donets'kogo instytutu zaliznychnogo transportu* [Collection of scientific works of the Donetsk Institute of Railway Transport]. Donetsk, 2014, issue 37, pp. 93-99.
12. Fomin, O. V. (2014). Modern requirements to carrying systems of railway general -purpose gondola cars. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 5, 31–40.
13. Chubykalo M.B., Logvinenko O.A. Eksperymentalne doslidzhennia transportnykh birotornykh kompresoriv novogo typu [Experimental study of the transport of a new type of rotary compressors]. *Materialy XVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiyi politekhnichnyi instytut» u 2 chastynakh* [Proceedings of the XVII International scientific-practical conference of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» in 2 parts]. Kharkiv, 2009, part 1, p. 254.
14. Chubykalo M.B. *Rotorna mashina Chubykala M.B. (varianty)* [The rotary machine Chubykala M.B. (options)]. Patent UA, no. 2001064078, 2001.

УДК 629.4.016.15

*Ю. В. Черняк, к.т.н., доцент (завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного*

*економіко-технологічного університету транспорту)*

*В. О. Гатченко, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

*А. В. Гаюр (аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного*

*економіко-технологічного університету транспорту)*

*С. В. Каращук*

*(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

### **ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ**

*У статті проаналізовано швидкісний діапазон гальмування електропоїздів ЕПЛ9Т протягом доби на Північному залізничному кільці м. Києва. Обґрунтовано доцільність розширення діапазону рекуперації. Визначено кількість енергії рекуперації, яку електропоїзд згенерує за умов наявності системи рекуперативного гальмування протягом доби використовуючи весь діапазон швидкостей початку гальмування.*

*Ключові слова:* гальмування, електропоїзди, рекуперація, енергія, енергозберігаючі технології, енергоефективність.

*В статье проанализирован скоростной диапазон торможения электропоездов ЕПЛ9Т в течение суток на Северном железнодорожном кольце г. Киева. Обоснована целесообразность расширения диапазона рекуперации. Определено количество энергии рекуперации, которую электропоезд сгенерирует при наличии системы рекуперативного торможения в течении суток используя весь диапазон скоростей начала торможения.*

*Ключевые слова:* торможение, электропоезда, рекуперация, энергия, энерго-сберегающие технологии, энергоэффективность.

**Постановка проблеми.** Рекуперація – одна з найважливіших складових енергозберігаючих технологій перевізного процесу на залізницях України, один з потужних джерел скорочення витрат електроенергії на тягу поїздів [1 – 3].

© Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Гаюр А. В., Каращук С. В., 2015

Шляхом використання рекуперативного гальмування (РГ) на електрорухомому складі можливо повернути електроенергію об'ємом до 8...10 % від енергії, яка затрачується на електричну тягу поїздів, а для електропоїздів цей показник збільшується до 10...15 % за рахунок особливостей характеру руху [2].

В той же час за останні 20-25 років обсяги рекуперованої енергії не перевищують 2,21 % від спожитої [1, 4]. Крім того, цей відсоток щорічно знижується, за останні 15 років цей показник в середньому не перевищує 1,71 % [2, 4, 5].

Вищесказане обумовлене тим, що надійність, стабільність і енергоефективність існуючих систем рекуперативного гальмування багато в чому залежить від системи тягового електропостачання. Ця залежність (відповідно до ГОСТ 19350-74) вказується у визначенні режиму РГ: «Рекуперативне гальмування – це режим електричного гальмування, при якому електрична енергія, яка виробляється тяговими електродвигунами, надходить до контактної мережі». Саме цим необхідним зв'язком з контактною мережею полягає неавтономність електрорухомого складу (ЕРС) в режимі рекуперативного гальмування. У роботах [2, 3] розглянуто ці причини:

1. Рекуперация електричної енергії і передача її до контактної мережі, як відомо, можлива за умов:

а) вихідна напруга  $U_P$ , тягових електродвигунів (ТЕД) ЕРС, які здійснюють рекуперацию складається з суми е.р.с. їх якорів і повинна бути вище напруги на струмоприймачі (в контактній мережі)  $U_M$ ;

б) але  $U_P$  не може перевищувати максимально допустиме значення за потенційними умовами на колекторах ТЕД. Не дотримання цієї умови призведе до зриву РГ.

Чим нижче  $U_M$ , тим простіше і ефективніше здійснювати рекуперацию: зниження  $U_M$  дозволяє збільшити дальність передачі енергії рекуперации від ЕРС, який здійснює рекуперацию, до ЕРС, що слідує в режимі тяги. Але можливість зниження  $U_M$  обмежена необхідністю забезпечення пропускної спроможності даної фідерної зони.

2. Вся електроенергія, яка отримується при традиційних режимах рекуперативного гальмування і надходить до контактної мережі, розподіляється наступним чином.

Частина її повинна бути спожита ЕРС, що рухаються в режимі тяги на тій же фідерній зоні.

Друга частина енергії, що перетікає по шинам тягової підстанції (ТП) постійного струму, розповсюджується на сусідні фідерні зони до ЕРС в режимі тяги (якщо такі є). Але така передача можлива тільки у тому випадку, що ЕРС, який здійснює рекуперацию, знаходиться поряд із живлячим фідером, інакше в наслідок втрат в контактній мережі буде порушено умову (1) рекуперативне гальмування не відбудеться:

$$U_P > U_{ТП} + r_{к.м.} \cdot l_{к.м.} \cdot I_P, \quad (1)$$

де  $U_P$  – напруга рекуперативного гальмування, В;

$U_{ТП}$  – напруга тягової підстанції, В;

$r_{к.м.}$  – питомий опір 1 км контактної мережі,

Ом/км;  $l_{к.м.}$  – довжина контактної мережі, км;

$I_P$  – струм рекуперативного гальмування, А.

Також досить незначними є потоки енергії рекуперації на сусідні дільниці у випадку їх віддаленості від місця рекуперативного гальмування на 15 км і більше.

Якщо на дільниці, де здійснюється рекуперативне гальмування, відсутній тяговий рухомий склад, який може використати цю енергію на тягу, то ця надлишкова електроенергія надходить на ТП до інверторних агрегатів (якщо такі є) або поглинається баластними резисторами. Але на сьогодні з різних причин інверторні установки практично на всіх ТП всіх залізниць (за винятком ТП Львівської залізниці) або відсутні, або не експлуатуються [2]. До того ж потрібно зауважити, що вирішення проблеми повторного використання енергії рекуперації на основі інверторів є малоефективним у наслідок наступних причин:

а) при передачі енергії рекуперації від ЕРС до інверторів і далі до первинної ЛЕП виникають втрати, які досягають до 25 % всієї енергії рекуперації [2];

б) інверторні перетворювачі володіють низьким коефіцієнтом потужності  $\lambda$ , в наслідок чого величина  $\lambda$  ТП в режимі інвертування складає не більше 0,6. В результаті нелінійності самого джерела рекуперації, під час передачі до зовнішньої енергосистеми енергія рекуперації є енергією низької якості, тобто низької вартості і тим самим не виправдовує не тільки капітальних, але й експлуатаційних затрат щодо здійснення режиму рекуперативного гальмування [6].

3. Діапазон швидкостей, при яких можливе рекуперативне гальмування, вузький, при цьому швидкість нижньої межі, наприклад для вітчизняного електропоїзду ЕПЛ2Т рівна 45...50 км/год [6], оскільки в зоні невеликих швидкостей ефект від рекуперації малий, а небезпека виникнення поштовху струму при ввімкненні рекуперативного гальмування на таких швидкостях зростає.

Викладені вище «жорсткі» умови можливого здійснення рекуперативного гальмування і неефективне використання електроенергії, яка передається до контактної мережі, призводить до зриву рекуперації [6].

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Аналіз статистичних даних щодо енергетичної ефективності РГ приміських електропоїздів постійного струму з колекторними тяговими двигунами показує, що повернення електричної енергії складає близько 7...10 % [7 – 10]. Варто зазначити, що на електропоїздах змінного струму, які перебувають в експлуатації на залізницях України, взагалі відсутнє рекуперативне гальмування, що значно знижує їх енергоефективність.

Відповідно, на сьогодні гостро постало питання підвищення електроенергетичної ефективності рекуперативного гальмування і застосування його на електропоїздах змінного струму.

**Мега статті** – проаналізувати швидкісний діапазон гальмування електропоїздів ЕПЛ19Т протягом доби на Північному залізничному кільці м. Києва. Обґрунтувати доцільність розширення діапазону рекуперації. Визначити кількість енергії рекуперації, яку електропоїзд згенерує за умови наявності системи рекуперативного гальмування протягом доби використовуючи весь діапазон швидкостей початку гальмування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Останнім часом моторвагонний рухомий склад (МВРС) відіграє важливу роль, як альтернатива метрополітену у великих містах. Прикладом такої експлуатації є спільний проект Київської міської державної адміністрації та КП «Київпастранс» – «Міська електричка». Особливістю даного проекту є експлуатація електропоїздів на Північному залізничному кільці м. Києва протяжністю 50,8 км з великою кількістю зупинок.

Експлуатаційний парк електропоїздів, що працюють в міському русі, складається з 12 електропоїздів змінного струму, з яких: 4 електропоїзди серії ЕПЛ19Т і 8 електропоїздів серії ЕР9М.

Об'єктом дослідження обрано електропоїзд змінного струму серії ЕПЛ19Т з реостатним гальмуванням, оскільки у електропоїзда змінного струму серії ЕР9М взагалі відсутнє електричне гальмування. З метою визначення енергетичної ефективності дослідного електропоїзду припущено можливість застосування рекуперативного гальмування з бортовим накопичувачем енергії.

Як зазначалося раніше, енергетична ефективність системи рекуперативного гальмування в основному визначається швидкісним діапазоном рекуперації і наявністю споживача електроенергії в контактній мережі. Швидкісний діапазон РГ визначається властивостями ТЕД і системою їх збудження. Зокрема, мінімальна швидкість класичного рекуперативного гальмування може бути визначена наступним чином [11]:

$$\sum E = U_M + I_{PG} \cdot R_K \quad (2)$$

де  $E$  – е.р.с. обертання ТЕД, В;

$U_M$  – напруга контактної мережі, В;

$I_{PG}$  – струм рекуперації, А;

$R_K$  – опір кола струму рекуперації, Ом.

З врахуванням того, що  $E = C \Phi n$ ,  $V = \frac{3,6\pi D_k \cdot n}{\mu}$ , перетворюємо вираз (2)

до наступного вигляду:

$$V = \frac{(U + I_{PG} \cdot R_K) \cdot 3,6\pi D_k n}{\mu C_E \Phi} \quad (3)$$

де  $V_{Г}$  – швидкість рекуперативного гальмування, км/год;

$C_E$  – постійна ТЕД;

$\Phi$  – магнітний потік ТЕД, Вб;

$D_k$  – діаметр колеса, м;

$n_d$  – частота обертання ТЕД, об/хв.;

$\mu$  – передатне число редуктора.

Враховуючи те, що мінімальна швидкість класичного РГ має місце при  $\Phi = \Phi_{\max}$ , маємо:

$$V_{Г \min} = \frac{(U + I_{PG} \cdot R_K) \cdot 3,6\pi D_k}{\mu C_{E \max} \Phi} \quad (4)$$

З метою обґрунтування ефективності розширення діапазону рекуперативного гальмування виконаний аналіз швидкісного діапазону гальмування електропоїздів ЕПЛ19Т протягом доби (рис. 1.).

Дані отримані шляхом проведення дослідних поїздок Північним залізничним кільцем м. Києва з електропоїздами ЕПЛ9Т у 2014 році при яких гальмування виконувалось за допомогою електропневматичного гальмування.

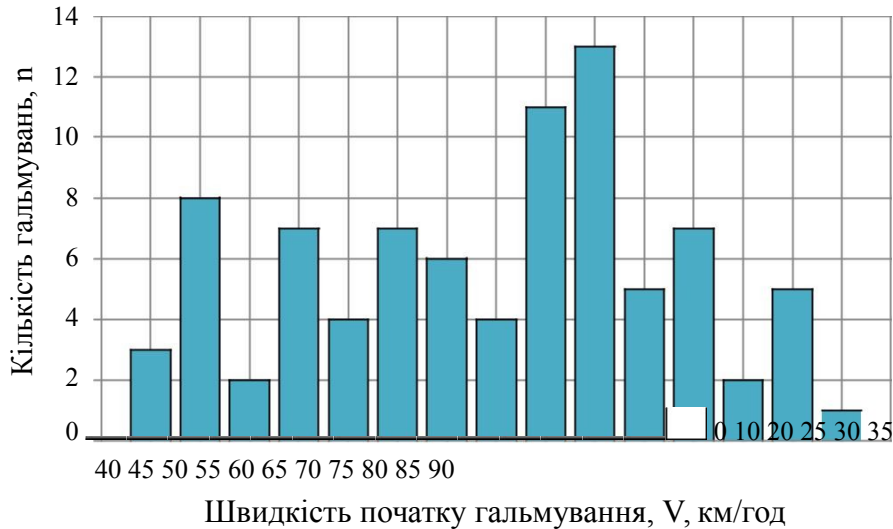


Рис. 1. Графік розподілу швидкостей початку гальмування електропоїзда ЕПЛ9Т на Північному залізничному кільці м. Києва

За даними дослідних поїздок за маршрутом електропоїздів, що працюють в міському русі Північним залізничним кільцем м. Києва, кількість гальмувань за добу складає близько  $n_{доб} \approx 85$  для одного електропоїзда.

Аналіз швидкісного діапазону гальмування показав, що в діапазоні  $0 \leq V_T \leq 50$  км/год здійснюється близько 48 % гальмувань.

Як показують розрахунки, виконані за формулою (5), електропоїзд серії ЕПЛ9Т, шестивагонного складу з розрахунковою населеністю вагонів, загальною масою  $m = 408,95$  т при швидкості гальмування 50 км/год (середній показник мінімальної швидкості для ефективного здійснення класичного рекуперативного гальмування) та за умови наявності рекуперативного гальмування зміг би згенерувати близько 10,5 кВт·год рекуперативної електроенергії за одне гальмування:

$$A_{РЕК} = \eta_{рек} \cdot A_K, \quad (5)$$

де  $A = mV^2$

$\frac{r_K}{2}$  – кінетична енергія електропоїзду, Дж;

$\eta_{рек}$  – к.к.д. класичного рекуперативного гальмування.

Результати розрахунків, виконані за формулою (5), зображені на графіку (рис.2).

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

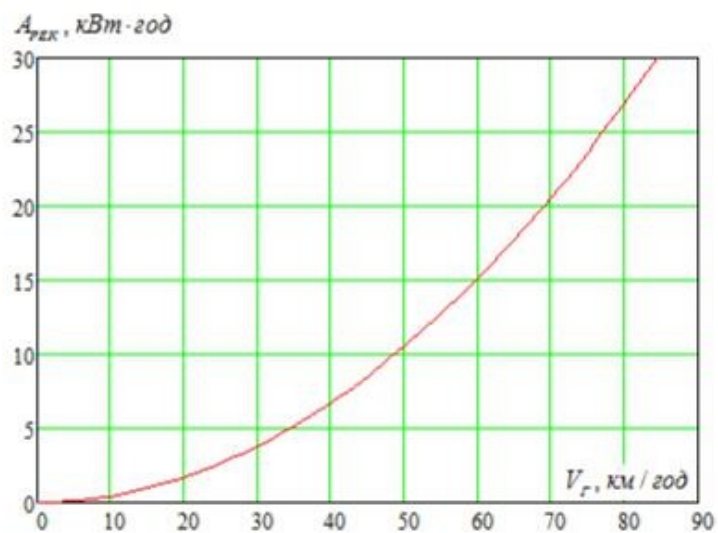


Рис. 2. Розрахунок залежності  $A_{PEK}(V_G)$  електропоїздами ЕПЛ9Т масою 408,95 т

З урахуванням даних графіка рис. 1 за виразом (6) визначаємо кількість енергії рекуперації, яку електропоїзд ЕПЛ9Т теоретично згенерує за умови наявності системи рекуперативного гальмування протягом доби використовуючи весь діапазон швидкостей початку гальмування:

$$A_{PEK} = \sum_{k=1}^K \eta_{PEK} \frac{mV_r}{2}, \quad (6)$$

де  $K$  – кількість діапазонів гальмування (0 – 5 км/год, 5 – 10 км/год і т.д.);

$n$  – кількість гальмувань в даному діапазоні швидкостей;

– к.к.д. рекуперативного гальмування.

Розрахунки, проведені вище, показали, що при наявності рекуперативного гальмування та розширення діапазону гальмування нижче 50 км/год електропоїздом серії ЕПЛ9Т дозволить використати додатково при розгоні близько 183 кВт·год електроенергії за добу, що складає майже 19 % від величини енергії рекуперації отриманої в усьому діапазоні швидкостей  $0 \leq V_r \leq 90$  км/год, що говорить про доцільність розширення діапазону рекуперації.

Для покращення техніко-економічних показників приміських і міських електропоїздів змінного струму доцільно було б встановлення на них систем імпульсного регулювання напруги (ІРН). Система ІРН дозволяє здійснити плавний, безконтактний пуск і рекуперативне гальмування електропоїзда в широкому діапазоні швидкостей.

Робота системи ІРН ґрунтується на дискретному перетворенні електричної енергії постійного струму, яка поступає на ТЕД у вигляді окремих імпульсів. Змінюючи тривалість імпульсу і часу паузи, можливо змінювати середнє значення напруги на ТЕД і, таким чином, здійснювати плавний безреостатний пуск. Таким самим способом можливо здійснювати регулювання збудження ТЕД постійного струму при електричному гальмуванні.

Оснoву системи ІРН складає імпульсний перетворювач (ІП), який здійснює дискретне перетворення постійної напруги в імпульсну.

Таким чином передбачається заміна реостатного гальмування рекуперативним імпульсним гальмуванням, що дозволить використовувати РГ у всьому діапазоні швидкостей гальмування.

В запропонованій системі підтримка гальмівного струму здійснюється за рахунок збільшення струму збудження по мірі зменшення швидкості завдяки збільшенню коефіцієнту заповнення  $g$  імпульсного перетворювача:

$$g = \frac{T_e}{T}, \quad (7)$$

де  $T_e$  – час провідного стану імпульсного перетворювача;  
 $T$  – період керування імпульсного перетворювача.

При застосуванні запропонованого методу підвищення енергетичної ефективності на електропоїзді змінного струму серії ЕПЛ9Т необхідно розглянути можливість використання бортових накопичувачів рекуперативної енергії.

### Висновки:

1. У статті виконано аналіз швидкісного діапазону гальмування електропоїздів ЕПЛ9Т протягом доби на Північному залізничному кільці м. Києва. Кількість гальмувань за добу складає близько  $n_{доб} \approx 85$  для одного електропоїзда.

Встановлено, що в діапазоні  $0 \leq V_T \leq 50$  км/год здійснюється близько 48 % гальмувань.

2. Обґрунтовано доцільність розширення діапазону рекуперації.

3. Визначено кількість енергії рекуперації, яку електропоїзд ЕПЛ9Т теоретично згенерує за умови наявності системи рекуперативного гальмування протягом доби використовуючи весь діапазон швидкостей початку гальмування. Розрахунки показали, що при наявності рекуперативного гальмування та розширення діапазону гальмування нижче 50 км/год електропоїздом серії ЕПЛ9Т дозволить використати додатково при розгоні близько 183 кВт·год електроенергії за добу, що складає майже 19 % від величини енергії рекуперації отриманої в усьому діапазоні швидкостей  $0 \leq V_T \leq 90$  км/год, що говорить про доцільність розширення діапазону рекуперації.

4. Запропоновано для покращення техніко-економічних показників електропоїздів змінного струму замінити реостатне гальмування рекуперативним імпульсним гальмуванням, що дозволить використовувати РГ у всьому діапазоні швидкостей гальмування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року*. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. №145-р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link/FIN38530.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link/FIN38530.html)

2. *Щербак Я. В.* Аналіз застосування рекуперативного гальмування на залізницях України / Я. В. Щербак, В. П. Нерубацький // *Залізничний транспорт України*. – 2011. – №2. – С. 30-34.

3. *Костин Н. А.* Автономность рекуперативного торможения – основа надежной и энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока [Текст] / Н. А. Костин, А. В. Никитенко // *Залізничний транспорт України*. – 2014. – № 3 (106). – С. 15–22.

4. *Сергієнко, М. І.* Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її результати [Текст] / М. І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. – №4. – С. 24–26.
5. *Лашко, А. Д.* Енергозбереження на залізничному транспорті України [Текст] / А. Д. Лашко, М. І. Сергієнко // Залізничний транспорт України. – 2011. – №4. – С. 7–11.
6. *Фукс Н. Л.* Оптимізація приєма енергії рекуперації [Текст] / Н. Л. Фукс // Железнодорожный транспорт. – 1983. – № 3. – С. 40–42.
7. *Дробаха В. І.* Робота з енергозбереження на Укрзалізниці [Текст] / В. І. Дробаха // Матеріали Восьмої науково-практичної конференції «Енергетична безпека на транспорті: підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу», 09–10 жовтня 2014 р., Київ, 2014. – С. 10–22.
8. *Жуликов В. Н.* Электроподвижной состав с электрическим торможением. Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / В. Н. Жуликов, Ю. М. Иньков, Л. Г. Козлов. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 412 с.
9. *Косарев А. Б.* Актуализация энергетической стратегии холдинга [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 4. – С. 70–75.
10. *Игин В. Н.* Энергосбережение в локомотивном хозяйстве [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 4. – С. 61–65.
11. *Розенфельд В. Е.* Теория электрической тяги: Учебник для вузов железнодорожного транспорта [Текст] / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.

***Yuriy Cherniak, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Head of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for  
Transport Economy and Technologies)***

***Victoriia Hatchenko, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State  
University for Transport Economy and Technologies)***

***Andriy Haiur  
(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State Uni-  
versity for Transport Economy and Technologies)***

***Sergiy Karashchuk  
(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State Uni-  
versity for Transport Economy and Technologies)***

### ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE EXISTING SYSTEM OF REGENERATIVE BRAKING FOR ELECTRIC TRAINS

***In the article the analysis of circuit braking range electric trains EPL9T for a day on the Kyiv North Rail Ring. The amount of braking a day is about  $n_{day} \approx 85$  for one electric train. Found that in the range  $0 \leq V_{\Gamma} \leq 50$  km/h is made about 48% of the braking.***

***The expediency of the expansion of the range of recovery is substantiated. Defined amount of energy recovery, which the train EPL9T theoretically generate availability system regenerative braking during the day using the entire range of speeds start of braking. Calculations showed that in the presence of regenerative braking and braking range below 50 km/h train series EPL9T would use the acceleration of about 183 kW · h of electricity per day, representing almost 19% of the energy of the magnitude the recovery obtained in the range  $0 \leq V_{\Gamma} \leq 90$  km/h.***

***Asked for the improvement of technical and economic indicators of AC electric trains for replace brake rheostat brake to regenerative pulse brake that will allow the use of regenerative brake in all speed range of braking.***

**Keywords:** *braking, electric, heat recovery, energy, energy-saving technologies, energy efficiency.*

### REFERENCES

1. *Energetichna strategiya Ukrainy na period do 2030 roku. Shvaleno rozporiadzheniam Kabinetu Ukrainy vid 15 bereznia 2006 roku. №145-r. [Energetic strategy of Ukraine to 2030: Virtual resource] – Access mode – URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link/FIN38530.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link/FIN38530.html)*
2. Shcherbak Ya. V. Analiz zastosuvannya rekuperativnogo galmuvannya na zaliznitsah Ukrainy [Analysis of using regenerative braking on Ukrainian railways]. *Zaliznychnyy transport Ukrainy [Railway transport of Ukraine]*, Kyiv, 2011, issue 2. pp. 30–34.
3. Kostin N. A. Avtonomnost rekuperativnogo tormozheniia – osnova nadezhnoy i energoeffektivniy rekuperatsii na elektropodvizhnom sostave postoiannogo toka [Autonomy of regenerative braking is fundament of reliability and energy recovery in the electric rolling DC] *Zaliznychnyy transport Ukrainy [Railway transport of Ukraine]*, Kyiv, 2014. issue 3 (106). pp. 15–22.
4. Sergiienko M. I. Osnovni napriamky roboty Ukrzaliznitsi z energoberezhennia ta ii rezultaty [Main directions of Ukrainian railways of energy efficiency and its results] *Locomotive-inform*, 2010, issue 4. pp. 24–26.
5. Lashko A. D. Energozberezhennia na zaliznychnomu transporti Ukrainy Energozberezhennia na zaliznychnomu transporti Ukrainy [Energy efficiency in rail transport Ukraine] *Zaliznychnyy transport Ukrainy [Railway transport of Ukraine]*, Kyiv, 2011, issue 4. pp. 7–11.
6. Fuks N. L. Optimizatsiia priema energii rekuperatsii [Optimization of energy recovery reception] *Zheleznodorozhniy transport [Railway transport]*, 1983, issue 3. pp. 40–42.
7. Drobaha V. I. Robota z energoberezhennia na Ukrzaliznytsi [Working with energy saving at Ukrzaliznitsia] Materialy Vosmoï naukovo-praktychnoi konferentsii «Enerhetychna bezpeka na transporti: pidvyschennia enerhoefektyvnosti, znyzhennia zalezhnosti vid pryrodnoho hazu», 09–10 zhovtnia 2014 r. [Materials Eighth Scientific Conference «Energy Security in transport: improve energy efficiency, reduce dependence on natural gas», 09-10 October 2014]. Kyiv, 2014. pp. 10–22.
8. Zhulykov V. N. Elektropodvyzhnoi sostav s elektrycheskym tormozheniem. Uchebnoe posobyе dlia vuzov zh.-d. transporta [An electrorolling stock train with electric braking. Textbook for high schools railway transport]. Moscow, SEI «Educational-methodical center on education on railway transport» Publ., 2008. 412 p.
9. Kosarev A. B. Aktualizatsiia enerhetycheskoi stratehyy kholdynha [Actualization of the energy strategy of the holding]. *Zheleznodorozhniy transport [Railway transport]*, 2011, issue 4. pp. 70–75.
10. Igin V. N. Enerhosberezheniye v lokomotyvnom khoziaistve [Energy saving in the locomotive industry] // *Zheleznodorozhniy transport [Railway transport]*, 2011, issue 4. pp. 61–65.
11. Rozenfeld V. E. Teoriya elektrycheskoi tiah: Uchebnyk dlia vuzov zheleznodorozhnoho transporta [Theory of electric traction: University textbook railway transport], Moscow, Transport Publ., 1983. 328 p.

УДК 629.463.

*О. В. Бурлуцький (завідувач навчальними лабораторіями кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту)*

*Н. С. Кочешкова, к.б.н.*

*(доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ НАПІВВАГОНА**

*Досліджено причини виникнення залишкових напружень та деформацій під час проведення зварювальних робіт. Проаналізовано методи розрахунків деформацій, які виникають при виготовленні хребтової балки напіввагона. На основі розрахункових методик та теореми про розвантаження А.А. Ільюшина, виконано розрахунок залишкових деформацій (прогину). Результати свідчать про можливість використання запропонованої методики для кількісного дослідження післязварювальних напружень та прогину балки. Окреслено можливість і доцільність подальшого використання отриманих результатів з метою зменшення або уникнення залишкових деформацій.*

*Ключові слова:* напіввагон, хребтова балка, зварювальні деформації, пластична деформація.

*Исследованы причины возникновения остаточных напряжений и деформаций при проведении сварочных работ. Проанализированы методы расчетов деформаций, возникающих при изготовлении хребтовой балки полувагона. На основе расчетных методик и теоремы о разгрузке А.А. Ильюшина выполнен расчет остаточных деформаций (прогиба). Результаты расчетов показывают эффективность предлагаемой методики для численного исследования сварочных напряжений и прогиба балки. Описана возможность и целесообразность дальнейшего использования полученных результатов для уменьшения или даже предотвращения остаточных деформаций.*

*Ключевые слова:* полувагон, хребтовая балка, сварочные деформации, пластическая деформация.

**Постановка проблеми.** Зварювання, як один із ключових технологічних процесів промислового виробництва, в тому числі і вагонобудування, значною мірою визначає надійність та довговічність продукції. У порівнянні з іншими типами нероз'ємних з'єднань переваги зварювання очевидні,

© Бурлуцький О. В., Кочешкова Н. С., 2015

однак післязварювальні залишкові деформації та напруження можуть суттєво знижувати якість зварних конструкцій.

Проблема внутрішніх і залишкових напружень, що виникають при нагріванні металу в процесі зварювання, вперше була окреслена російським металургом Н.В. Калакуцьким ще у 1887 році. Зокрема у своїй праці «Исследование внутренних напряжений в чугунах и сталях», було показано, що такі напруження мають широкий діапазон меж. Таким чином проектувальник обов'язково повинен враховувати їх та зазначати надійні способи керування та контролю над ними.

Основною причиною появи зварних деформацій є утворення так званої *зони термічного впливу* (ЗТВ) або *зони пластичних деформацій*. Тому дослідження закономірностей формування зони ЗТВ та причин її виникнення, вивчення залишкових деформацій і переміщень, розробка методів регулювання і керування ними є надзвичайно актуальними і для сучасного вагонобудування в тому числі. Також відомо, що залишкові зварювальні напруження (ЗЗН) підвищують накопичену в конструкції потенційну енергію, що, у свою чергу, посилює негативні наслідки втомленого руйнування [1].

В умовах експлуатації залишкові деформації і напруження зменшують міцність, корозійну стійкість та точність зварної конструкції. Традиційні методи їх зниження шляхом збільшення товщини металу, проведенням стабілізуючої обробки після зварних робіт, видаленням припусків тощо не завжди відповідають сучасним вимогам до праце-, енерго- і металоємності конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що в ході життєвого циклу вагона, починаючи з виробництва і до проведення капітально-відновлювального ремонту, значний обсяг робіт припадає власне на зварювання. Таким чином якість проведення зварних робіт часто визначає надійність та безпечну експлуатацію вагонів, в тому числі й напіввагонів.

Відомо, що на поточні відчіпні та планові ремонти напіввагону, протягом його терміну служби, витрачається близько 12 тонн металу, що становить більше половини маси тари. Трудомісткість деповського ремонту основних вузлів напіввагону зростає за термін його служби в середньому в 4 рази. Таке зростання в основному пов'язане із проведенням зварювальних робіт для встановлення різного роду накладок, латок, швів тощо [2].

У більш ніж 90 % елементів напіввагонів в якості нероз'єднаних з'єднань використовуються зварні шви, в яких і виникають початкові дефекти та пошкодження. Втомне руйнування завжди супроводжується пластичними деформаціями в кристалах металу, яке вже через 2-3 роки експлуатації призводить до появи втомних тріщин зварних з'єднань елементів кузова [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Аналіз статистичних даних пошкоджень вузлів вантажних вагонів після капітального та капітально-відновлювального ремонту показує, що найбільший відсоток відмов припадає на рами та візки вагону. Однією з поширених причин пошкодження цих вузлів є несприятлива структура металу, що сформувалася при термодіформіційних циклах електродугового зварювання та наплавлення. Також в процесі експлуатації спостерігається додатковий прогин хребтової балки, що в свою чергу створює додаткові напруження в елементах кузова [4, 5].

Таким чином, дослідні та конструкторські розробки з удосконалення зварювальної технології та оптимізації зварних конструкцій у вагонобудуванні є актуальними та необхідними [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В галузі вагонобудування основна увага приділяється наступним напрямкам:

1. Вивчення структури і властивостей металу шва і ЗТВ при зварюванні;
2. Розробка методів визначення та зниження зварювальних напружень і деформацій у зварних конструкціях;
3. Вивчення статичної міцності і властивостей металу зварних з'єднань;
4. Вивчення міцності зварних з'єднань при циклічних навантаженнях.

У свою чергу вирішення питань пов'язаних з деформуванням та міцністю зварних конструкцій дозволить суттєво підвищити якість та надійність вітчизняних вагонів.

**Метою статті** є дослідження причин виникнення залишкових напружень після зварювання кузова напіввагону та визначення зварювальних деформацій хребтової балки за допомогою різних методик, а також представлення нового підходу до вирішення даного питання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес зварювання характеризується різким локальним нагрівом, що розплавляє і зріджує метал та достатньо швидким його охолодженням. Таким чином в конструкції виникають тимчасові та залишкові зварювальні напруження. Тимчасові спостерігаються тільки в процесі зварювання під час зміни температури, а залишкові напруження не зникають і після охолодження виробу.

Виділяють кілька причин утворення внутрішніх залишкових напружень при виробництві та ремонті кузова напіввагону:

1. Локальний нерівномірний нагрів металу.

Як відомо, всі метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються. В процесі зварювання, в результаті місцевого нагріву металу та його подальшого охолодження, в з'єднанні утворюється ЗТВ. Так у зварній хребтовій балці виникають стискаючі або розтягуючі термічні внутрішні напруження, величина яких залежить головним чином від температури нагріву. Якщо зварювальні роботи проводяться на жорстко закріпленій конструкції, величина термічних напружень зростає внаслідок обмеженості її вільного переміщення під час нагрівання та охолодження. При цьому при нагріванні конструкції, зважаючи на її розширення, будуть виникати стискаючі внутрішні напруження, а при наступному охолодженні – напруження розтягу. Коли величина внутрішніх напружень досягає рівня межі текучості, в металі починають відбуватися пластичні деформації, що призводять до зміни форми і розмірів балки. Після закінчення процесу зварювання, в областях ЗТВ, які зазнали нерівномірного пластичного деформування, виникають залишкові напруження.

2. Нерівномірні структурні перетворення в металі при зварюванні кузова.

В металі, під час нагрівання вище критичних температур, виникають напруження, які обумовлені фазовими перетвореннями зі зміною типу кристалічної решітки та утворенням фази, що володіє великим питомим об'ємом та іншим коефіцієнтом лінійного розширення.

3. Ливарна усадка наплавленого металу.

При охолодженні розплавленого металу, внаслідок підвищення його щільності, в зварному шві відбувається усадка, поздовжні і поперечні внутрішні напруження, що викликають відповідні його деформації. Наслідком поздовжньої усадки елементів кузова є поздовжні деформації відносно осі шва, а поперечної – кутові.

Існує декілька різних підходів до розрахунків залишкових зварювальних напружень та деформацій [7, 8]:

- Метод, так званої, фіктивної усадочної сили,
- Метод фіктивних температур,
- Метод умовних дислокацій,
- Метод умовних пластичних деформацій,
- Метод заданих зон рівномірної усадки,
- Метод заданих обсягів укорочення при зварюванні,
- Inherent strain method японських дослідників.

Прогнозування загальних деформацій осевого прогину хребтової балки внаслідок локального нагріву під час зварювання з використанням теорії термопластичності і МКЕ на даний час є досить складним завданням. Оскільки, для пошуку рішення, такий підхід передбачає розробку тривимірної математичної моделі, а також значні часові та обчислювальні ресурси. Таким чином стає очевидно необхідність розроблення нового підходу до вирішення даного питання, який би дозволив приймати надійні та адекватні рішення щодо умов зварювання у реальному часі.

Математична модель напружено-деформованого стану напіввагону при зварювальному нагріванні складається з двох взаємопов'язаних завдань: температурного і деформаційного. Дослідження кінетики зварювальних напружень і деформацій проводиться на основі теорії малих пружних деформацій або теорії течії [9].

Узагальнена математична модель напружено-деформованого стану тіла, запропонована В.І. Махненко [9], ґрунтується на алгоритмах, в яких температурне поле визначається за формулами Н.Н. Рикалкіна [10].

Так, загальний тензор деформацій  $\epsilon_{ij}(x, y, z, t)$  прийнято представляти у вигляді суми трьох тензорів [9]:

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^e + \epsilon_{ij}^p + \epsilon_{ij}^c \quad (1)$$

де індекс  $e$  – відповідає пружній деформації,  $p$  – деформації миттєвої пластичності і  $c$  – деформації дифузійної пластичності або повзучості.

Тензор пружних деформацій  $\epsilon_{ij}^e$  пов'язаний з тензором  $\sigma_{ij}$  законом Гука:

$$\epsilon_{ij}^e = \delta_{ij} \epsilon + (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma) \frac{1}{2G} \quad (2)$$

де  $\delta_{ij}$  – одиничний тензор,  $G$  – модуль зсуву, при чому:

$$= + \quad (3)$$

$$= \quad (4)$$

де  $K$  – модуль об'ємного стиснення, який визначається за формулою:

$$= \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (5)$$

де  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Умови виникнення та розвитку пластичних деформацій  $\epsilon_{ij}^p$  виражаються у вигляді формул за допомогою інваріантних характеристик тензорів напружень. Одним із простих та популярних підходів є метод, який ґрунтується на теорії пластичної течії в поєднанні з критерієм Мізеса у вигляді:

$$df = 0, \text{ якщо } f < 0 \text{ або } f = 0, \text{ але } df < 0; \tag{4}$$

$$df = 0 \text{ и } df > 0; \tag{4}$$

стан  $f > 0$  – неприпустимий.

Причому:

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)} \tag{5}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)} \tag{6}$$

$\sigma_{eq}$  – еквівалентне напруження (інтенсивність напружень),  
 $\sigma_s(T, \omega^p)$  – деформуюче напруження на поверхні навантаження  $f = 0$ ,  
 $d\lambda$  – скалярна функція,  $\omega^p$  – параметр деформаційного зміцнення.  
 Методика запропонована в роботі В.І.Махненка [9] дає змогу чисельними методами визначити швидкість зварювальних напружень і деформацій. Проте, даний метод не враховує теплоту фазового переходу та залежність теплофізичних коефіцієнтів від температури, а також несе похибку методу чисельного диференціювання, що суттєво знижує його точність при визначенні високотемпературних змін.

Величини залишкових напружень і деформацій, отримані рішенням пружно-пластичної задачі до повного вирівнювання температури, не відповідають їх істинним значенням, оскільки, досягаючи певної температури при охолодженні матеріал буде проявляти свої пружні властивості.

Проте можна використати альтернативний шлях та за допомогою теореми про розвантаження А.А. Ілюшина [11], визначити залишкові напруження і деформації наступним чином:

1) Вирішуючи пружно-пластичну задачу:

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} = 0 \tag{9}$$

$$\frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} = 0$$

$$\frac{\partial^2 \Delta_{11}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \Delta_{22}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \Delta_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} = 0 \tag{10}$$

$$\Delta_{11} = \int \int \left( \frac{\partial^2 \Delta_{11}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \Delta_{22}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \Delta_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} \right) dx_1 dx_2 = \int \int \left( \frac{\partial^2 \Delta_{11}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \Delta_{22}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \Delta_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} \right) dx_1 dx_2 \tag{11}$$

де  $M, \Gamma$ ,  $\alpha_1, \alpha_2$  – напрямлюючі косинуси до  $\Gamma$ ;  
 $\Delta_{11}, \Delta_{22}, \Delta_{12}$  – значення в попередньому тимчасовому шарі.

$$\tag{12}$$

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_{11} &= B_1 \sigma_{11} + B_2 \sigma_{22} - \varepsilon_{11} \\ \Delta \varepsilon_{22} &= B_1 \sigma_{11} + B_2 \sigma_{22} - \varepsilon_{22} \\ \Delta \varepsilon_{33} &= \nu(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) - \varepsilon_{33} \\ \Delta \varepsilon_{13} &= \Delta \varepsilon_{33} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\left( \frac{\sigma_{ij}}{2G} \right)_{ij} = \left[ \begin{matrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} \end{matrix} \right]_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (14)$$

До кінця зварювального процесу (до початку розвантаження) визначаємо тимчасові напруження  $\sigma_{ij}$  і деформації  $\varepsilon_{ij}$ . При цьому повна напруга  $(\sigma_{ij}^n)^1$  та повна деформація  $(\varepsilon_{ij}^n)^1$  будуть відповідно дорівнювати тимчасовій нарузі та тимчасовій деформації. В кінцевий момент зварювання, тобто у момент проходження зварювальною дуги вирішуємо пружну задачу:

$$\begin{aligned} 2) \quad \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} &= 0 \\ \frac{\partial^2 \sigma_{11}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \sigma_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} &= 2 \frac{\partial^2 \sigma_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} \end{aligned} \quad (15)$$

де  $\sigma_{12}$  – направляючі косинуси до  $\Gamma$ ;

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{1}{4(1+\nu)} [(+2)\sigma_{11} - \sigma_{22}], \\ \sigma_{22} &= \frac{1}{4(1+\nu)} [-\sigma_{11} + (+2)\sigma_{22}], \\ \sigma_{12} &= 2\sigma_{12} = 2\sigma_{21} \end{aligned} \quad (16)$$

Після завершення зварювання та до повного охолодження тіла (до повного розвантаження). Повне напруження  $(\sigma_{ij}^n)^2$  буде дорівнюватиме значенню напруження у момент повного розвантаження. Повна деформація визначається за формулою:

$$(\sigma_{ij}^n)^2 = \sigma_{ij}^n + \Delta \sigma_{ij} \quad (17)$$

де  $\epsilon$  – є пружна деформація, яка дорівнює значенню в стані повного розвантаження,  $\Delta$  – температурна деформація 3) Визначасмо залишкову напругу і деформацію в балці після процесу зварювання за наступними формулами:

$$\epsilon_0 = (\sigma_0 - \sigma) / E$$

$$\Delta = \epsilon_0 \cdot L$$
(15)

Для перевірки адекватності та надійності запропонованого методу визначення залишкових напружень та деформацій, було проведено розрахунок даних показників для хребтової балки, звареної з двох Z-подібних прокатних профілів, розміром 16 × 130 × 10,5 × 183 × 9 × 310, поперечний переріз якої зображено на рисунку 1.

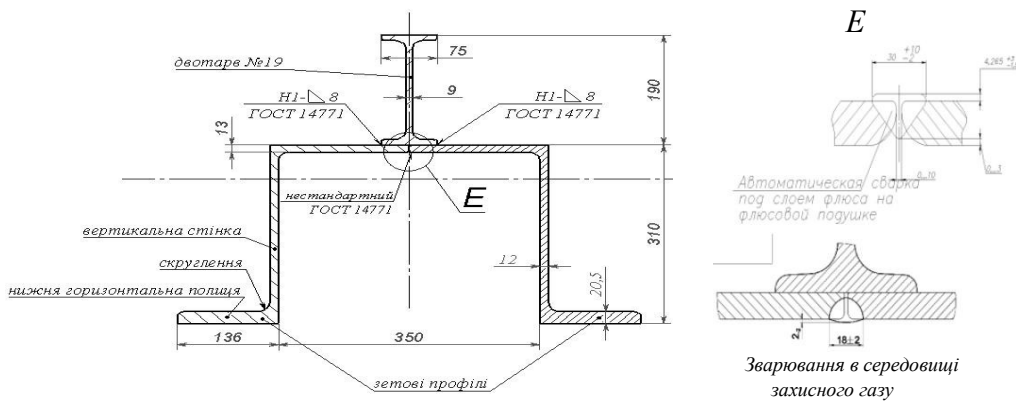


Рис. 1. Поперечний переріз балки хребтової

Матеріал елементів балки хребтової – сталь 345-09Г2С-14 ГОСТ 5267.0-90. Основні характеристики при локальних температурних впливах на сталь взято з роботи [12]. Геометричні характеристики перетинів хребтової балки та дані динамічних розрахунків взято з робіт [13, 14].

З'єднання Z-подібних профілів виконані автоматичним зварюванням під шаром флюсу, дані для розрахунків під флюсом матеріалу 09Г2С [15]: сила струму 175 А, діаметр електроду 4 мм, швидкість зварювання 4 м/год. Решта з'єднань – напівавтоматичним зварюванням в середовищі захисного газу. Протяжність нестандартного зварного шва та інші данні для розрахунків були отриманні з роботи [16].

Початкові дані й основні передумови поставленого завдання ґрунтувалися на результатах теоретичних та експериментальних досліджень Є.О. Патона, М.О. Окерблома, В.І. Махненка, В.А. Ряполова, Л.М. Лобанова, В.О. Винокурова та інших дослідників.

На рис. 2 зображено деформації (прогин) хребтової балки після зварювання.

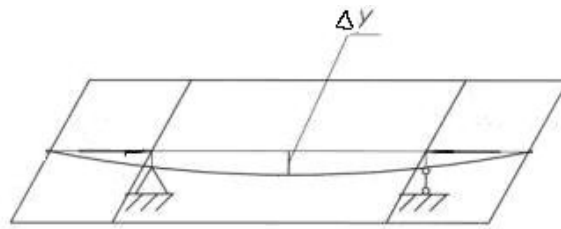


Рис.2. Схематичне зображення деформації хребтової балки після зварювання

У таблиці наведено одержані запропонованим методом розподіли залишкових напружень та деформацій після зварювальних робіт, проведених на такій хребтовій балці. Для оцінки адекватності та надійності запропонованого методу, результати наведено у порівнянні з даними, одержаними шляхом розрахунків методом фіктивної усадочної сили В.А. Винокурова [17] та ін. (МВТУ ім. М.Е. Баумана) та методом В.І. Махненка [9], який ґрунтується на основі функції усадки.

Таблиця. Результати розрахунку залишкової деформацій після виготовлення хребтової балки напіввагона

| Деформація (прогин), мм   | Згідно методу фіктивної усадочної сили | Згідно методу на основі функції усадки | Згідно запропонованої методики |
|---|--|--|--------------------------------|
| Прогин ( $\Delta Y_1$ ) після зварювання Z-подібних прокатних профілів    | 6,5                                    | 6,7                                    | 7,1                            |
| Прогин ( $\Delta Y_2$ ) після приварювання балки верхньої (двотавра № 19) | 3,03                                   | 3,5                                    | 3,7                            |
| Основний прогин ( $\Delta Y$ ) балки після зварювання                     | 9,53                                   | 10,2                                   | 10,8                           |

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Результати використання запропонованого підходу до визначення залишкових деформацій засвідчили доцільність та ефективність його застосування.

Наявність залишкових зварювальних деформацій, що виникають під час проведення ремонтних робіт на етапах життєвого циклу вагону, аргументує доцільність розробки нових технічних та технологічних засобів, що є важливим науково-практичним завданням.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Фомін, О.В.* Особливості методики визначення втомної довговічності напіввагону з урахуванням експлуатаційних ушкоджень / О.В. Фомін, О. В. Бурлуцький // Східно-Європейський журнал передових технологій. –Х., 2013. – Вип. 2/7. – С. 12-16.
2. *Долматов, А.А.* Полувагонам -прогрессивный срок службы / А.А Долматов, Г.В. Райков, В.Б. Костров. – Ж.-д. трансп. -1982.- Вип.№ 12, с. 61-63.

3. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
4. Фомін, О.В. Аналіз експлуатаційних пошкоджень кузовів залізничних напіввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, В.В. Фомін // Будівництво України – Київ, 2013. – Вип. № 3-С 37-41.
5. Фомін, О.В. Метод оцінки надійності елементів кузовів сучасних залізничних напіввагонів з урахуванням цензурування вибірки / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Д., 2012. – Вип. № 29. – С. 215-221.
6. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О.В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с
7. Ряполов, В.А. Методы определения и снижения сварочных напряжений и деформаций в сварных конструкциях железнодорожных вагонов. / В.А. Ряполов, В.Г. Радченко., В.Н. Шабалин, Ю.О. Шевцов, Д.А., Нагорный, П.А. Первалов // Ползуновский Альманах.- Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.-2003.- № 4. С. 178.
8. Махненко, О.В. Расчетный метод определения общих деформаций крупных сварных конструкций на основе функции усадки: автореф. дис. к-та техн. наук: 05.03.06/ Махненко Олег Владимирович; Нац. акад. наук Украины, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – К., 1996. – 20 с.
9. Махненко, В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций / В.И. Махненко. – К.: Наукова думка, 1976. – 320 с.
10. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. М.: Машгиз. – 1951. – 295 с.
11. Илюшин, А.А. Пластичность. Основы общей математической теории / А.А. Илюшин. – М.: Изд-во АН СССР. – 1963. – 272 с.
12. Белобородова, Л.Н. Прочность стальных неразрезных подкрановых балок коробчатого сечения при локальных температурных воздействиях: дис. к-та техн. наук: 05.23.01 / Белобородова Лариса Николаевна; Магнітогорський державний технічний університет ім. Г.І. Носова., М.- 2005. — 197 с. – Бібліогр. : С. 160-171.
13. Фомін, О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О. В. Фомін, О. А. Логвіненко, Р. Ю. Дьомін, В. В. Фомін, Г. П. Бородай, О. В. Бурлуцький // Заліз. трансп. України. – 2013. – Вип. 5/6. – С. 95-10.
14. Бурлуцький, О. В. Особливості методу визначення динамічного навантаження кузова напіввагону / О. В. Бурлуцький // [Вост.-Европ. журн. передовых технологий](#). –Х., 2012. – Вип. 4/7. – С. 47-50.
15. Ямпольский, В.М. Сварка и свариваемые материалы. /Под ред. В.М. Ямпольского. В 3-х т. Технология и оборудование. Справ. Изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. - 574 с.
16. Шляпин, В.Б. Ремонт вагонов сваркой/ В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов. Справочник. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.
17. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 235 с.

***Oleksiy V. Burlutskyy***  
***(ingeneer, Ukrainian state academy University of Railway***  
***Transport), Natalia S. Kocheshkova, PhD (Biological Sciences)***  
***(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University***  
***for Transport Economy and Technologies)***

### DETERMINATION WELDING DEFORMATION RESULTING FROM ENTERING LIFE CYCLE GONDOLA CARS

***The paper presents the study of causes of residual stresses and deformations in welding. The methods of calculations after welding deformations that occur when made cap beams gondola. Based on calculation methods and theorems of unloading by A.A.Ilyushyn made the calculation of the final deformation (deflection). The calculation results show the suitability of the proposed methods for numerical study***

*of welding stresses and deflection of the beam. Indicated possibility and feasibility of further use of the results to fight the final deformationpp.*

*Keywords: gondola, plastic deformation, khrebtova beam welding deformation.*

### REFERENCES

1. Fomin O.V. Burlutsky O.V. Osoblyvosti metodyky vyznachenayn vtomnoy dovgovichnosti napivvahonu z urakhuvanniam ekspluatatsiinykh ushkodzhe [Features method of determination tireless longevity gondola taking into account operating damages] *Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal .peredovukh tekhnolohy*[ Eastern European of Enterprise Technologies ], 2013.issue no. 2/7, pp. 12-16.
2. Dolmatov A.A. Kostrov H.V. Raikov Poluvahonam -prohressyvnyy srok sluzhby [Gondola progres-sivnyy service life ] Zh.-d. transp.[ *Railway transport*],1982, vol. 12, pp. 61-63.
3. Fomin O. V. (2014) Doslidzhenja defektiv ta poshkodgen nesuchykh system zaliznychnykh napivvagoniv [*Research Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas*]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine. – 299 pp.
4. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomin V.V. Analiz ekspluatatsiinykh poshkodzen kuzoviv zaliznychnykh na pivvagoniv [Analysis of operational damage bodies railway gondol ] Budivnytstvo Ukrainy [*Construction of Ukraine*], Kiev, 2013.vol. 3,pp. 37-41.
5. Fomin O.V. Burlutsky O.V. Metod otsinky nadiynosti elementiv kuzoviv suchasnykh zaliznychnykh napivvagoniv z urakhuvanniam tsenzurovannia vybirky ][Valuation reliability of bodies of modern railway gondola considering censoring sample].
6. Fomin, O. V. (2013). Optymizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvagoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva. Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 251.
7. Riapolov V.A. Metody opredeleniya y snyzheniya svarochnykh napriazheniy y deformatsiy v svarynykh konstruktsiyakh zheleznodorozhnykh vahonov[*Methods for determining and reduce welding stresses and deformations in welded structures of railway wagons*] Polzunovskiy Almanakh.- Altayskiy gosudarstvenniy tekhnicheskyy unyversytet ym. Y.Y. Polzunova- *Altai State Technical University Polzuno-va -2003.-* vol. 4. p. 178.
8. Makhnenko O.V. Raschetnyi metod opredeleniya obshchyykh deformatsiy krupnykh svarynykh konstruktsiy na osnove funktsiy usadky [Calculation method for determining the total deformation of large welded structures based shrinkage functions Avtoreferat Diss ] Natpp. akad. nauk Ukrainy, Yn-t elektrosvar'ky ym. E. O. Patona- *National Academy of Sciences of Ukraine – K.*, 1996. – 20 p.
9. Makhnenko V.Y. Raschetnye metody yssledovaniya kynetyky svarochnykh napriazheniy y deformatsiy [ *Calculation methods for studying the kinetics of welding stresses and strains*] – K.: Naukova dumka, 1976. – 320 p.
10. Rykaly N.N. *Raschety teplovykh protsessov pry svarke* [Calculations of thermal processes in weld-ing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1951. 295 p.
11. Yliushyn, A.A. *Plastychnost. Osnovy obshchei matematycheskoi teoryy* [Plasticity. Fundamentals of general mathematical theory] M.: Yzd-vo AN SSSR [ *Publishing House of the USSR Academy*].1963.-272 p.
12. Beloborodova, L.N. Prochnost stalnykh nerazreznykh podkranovykh balok korobchatoho secheniya pry lokalnykh temperaturnykh vozdeystviyakh [ *Durability of continuous steel box beams crane at the local temperature influences Doct.Diss*] Mahnitohorskiy derzhavnyi tekhnichnyi unyversytet im. H.I. Nosova- *Magnitogorsk gosudarstvenniy tekhnicheskyy University. I. Nosova M.-* 2005. —pp.160-171.
13. Fomin O.V. Logvinenko, R. Y. Dymin, V. V. Fomin, H. P. Boroday, O. V. Burlutsky Matematychni modeli zminy osnovnykh pokaznykiv bazovykh nesuchykh elementiv kuzoviv napivvagoniv [ *Matematychni modeli zmini mainly pokaznykiv base nesuchykh elementiv kuzoviv napivvagoniv Zaliznychny transport Ukrainy-Rail Ukraine.* – 2013. – Vol. 5/6. pp. 95-10.
14. Burlutsky O.V. Osoblyvosti metodu vyznachennia dynamichnoho navantazhennia kuzova napivvahonu [Features of the metohod dynamic load body gondola] *Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal .peredovukh tekhnolohy*[ Eastern European of Enterprise Technologies ],2012. – Vol.no 4/7 pp. 47-50.
15. Yampolskiy V.M. Svarka y svaryvaemye materyaly.[ *Welding and welding materials*] *Moskovskyy gosudarstvennyy tekhnicheskyy unyversytet imeni N. E. Bauman* [Bauman Moscow State Technical University] – M. 1996. – 574 p.
16. Shliapyn V.B. Remont vahonov svarkoi. [*Repairing welding*] Spravochnyk. – M.: Transport, 1983,- 246 p.
17. Vynokurov V. A. Svarochnye deformatsyy y napriazheniya. [ *Welding deformation and stress*] – M.: Mashinostroeniye, 1968. – 235 p.

УДК 656.2.385

*В. І. Данилевський, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*Ю. М. Черних, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*Л. В. Сливовська (економіст першої категорії Південно-Західної залізниці, м. Київ)*

### **АНАЛІЗ НАЯВНОСТІ, ВИМОГ ДО КОНСТРУКЦІЇ ТА РОБОТИ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ**

*У статті наведені відомості про тягові двигуни, що використовуються в теперішній час на електровозах постійного струму; проаналізовані вимоги до їх конструкції; визначені їхні характеристики, що мають важливий вплив на експлуатаційні властивості двигунів; проведений аналіз причин відмов двигунів; визначені основні вимоги, що пред'являються до системи ізоляції; приведені основні стадії сучасної технології виготовлення обмоток тягових двигунів.*

*Ключові слова:* тягові двигуни, електровози, електричне поле, індукція, лінійне електричне навантаження, повітряний проміжок, головні полюси.

*В статті приведені сведения о тяговых двигателях, используемые в настоящее время на электровозах постоянного тока; проанализированы требования к их конструкции; определены их характеристики, имеющие важное влияние на эксплуатационные свойства двигателей; проведен анализ причин отказов двигателей; определены основные требования, предъявляемые к системе изоляции; приведены основные стадии современной технологии изготовления обмоток тяговых двигателей.*

*Ключевые слова:* тяговые двигатели, электровозы, электрическое поле, индукция, линейная электрическая нагрузка, воздушный промежуток, главные полюса.

**Вступ.** На коліях залізничного транспорту України експлуатується в даний час такий електрорухомий склад:

- **електровози:**
  - постійного струму вантажні: ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ11М, ВЛ11М/6, ДЕ1, 2ЕЛ4;
  - змінного струму вантажні: ВЛ60, ВЛ80<sup>г/і</sup>, 2ЕЛ5, 2ЕС5К;

© Данилевський В. І., Черних Ю. М., Сливовська Л. В., 2015

- ~ змінного струму пасажирські: ВЛ60К, ЧС4, ЧС8, ВЛ40У;
- ~ змінного струму універсальні: ДС3;
- ~ подвійного живлення: ВЛ82 і ВЛ82М;
- ~ постійного струму пасажирські: ЧС2, ЧС7;

### **електропоїзди:**

- ~ постійного струму: ЕР1, ЕР2, ЕР22;
- ~ змінного струму: ЕР9п, ЕР9м, ЕР9е, ЕР9т.

Основний крутячий момент в електровозах і моторвагонному рухомому складі з електричною передачею створюється тяговими двигунами і передається до колісної пари через спеціальні пристрої. Надійна робота рухомого складу залежить від технічного ресурсу тягових двигунів.

**Аналіз наявності тягових електричних двигунів (ТЕД) електровозів постійного струму на залізницях України.** Тягові двигуни, які експлуатуються на залізницях України виготовлені в 1956-1990 роках, зокрема на електровозах.

ВЛ-8 – НБ-406 -1956-1967

ВЛ-60 - НБ-412-1962-1967

ВЛ-10 - ТЛ- 2К-1964-1975

ВЛ-11 – ТЛ- 2К- 1975-1990

ВЛ-11М/6 – ТЛ-2К Як видно із аналізу, тягові двигуни почали виготовлятися 55 років назад із

матеріалів, які існували на той час. За роки їх експлуатації конструкція постійно удосконалювалася з метою поліпшення їх тягових характеристик. Основні конструктивні зміни зазнали моментоутворюючі частини тягового двигуна. Почали впроваджуватися нові стандарти, зокрема ГОСТ 183-74 - «Електричні машини обертові» та ГОСТ 2582-81 – «Машини електричні обертові тягові». Загальні технічні умови [8]. Налагоджувалося виробництво нових конструкційних та електротехнічних матеріалів, які дали можливість удосконалити конструкції складових частин електричних машин, зокрема і тягових двигунів. Промисловість почала виготовляти проводи з витковою ізоляцією, електроізоляційні матеріали, електротехнічні матеріали, підшипники, колекторну мідь та інші матеріали, з яких виготовляються деталі тягових двигунів. Завдяки впровадженню нових матеріалів виникла можливість підвищити надійність роботи та збільшити потужність тягових двигунів [10].

**Вимоги до тягових двигунів.** Відповідно до вимог ГОСТ 183-74, тягові двигуни працюють в режимі S1, при якому всі його частини досягають сталих значень своїх перегрівів. Номінальні данні двигуна (потужність, напруга, струм навантаження та частота обертання) даються в режимі S1.

Тяговий двигун отримує живлення від контактної мережі, тому за номінальну необхідно брати потужність годинного режиму. Тягові двигуни належать до габариту 1 «б», тому відношення потужностей годинного і тривалого режимів приймають 0,85-0,92. При конструюванні враховують той факт, що, відповідно до вимог ГОСТ 2582-81, тягові двигуни є двигунами граничного виконання за низкою обставин, зокрема їх розміщення на візку електровоза, системи обпірання, схеми живлення, динамічних навантажень та атмосфери, в якій вони працюють. На електровозах постійного струму тягові двигуни постійно з'єднані попарно-попередньо з неоптимальною для них напругою на колекторі 1500 В, що визначає рівень напруги, на яку має бути розрахована електрична ізоляція.

Згідно з ГОСТ 2582-81, тягові двигуни мають два номінальні режими роботи: годинний (короткотривалий) і тривалий, які відрізняються за потужністю на 7...9%. Номінальні частоти обертання  $n_{ном}$  становлять 700...900 об/хв, а максимальні  $n_{max}$  досягають 1900 – 2000 об/хв. Таким чином, швидкісний діапазон регулювання, що визначається коефіцієнтом  $k = n_{max} / n_{ном} = 2,1 - 2,8$ , дуже широкий. Ця обставина істотно впливає на збільшення габаритів і маси тягових двигунів.

Усі тягові двигуни працюють в умовах експлуатації, що відрізняються значною кількістю збурень і нестабільності, які до того ж мають широкі межі відхилень. Двигуни піддаються впливу зовнішніх динамічних сил, що виникають у процесі взаємодії ходової частини локомотива з рейками. Ці сили мають імпульсний характер, і їх рівень  $P_d$  оцінюється добутком динамічного прискорення  $a_g$  і маси  $m$ , що піддається дії сил, тобто  $P_d = m x a_g$ , де  $G$  – маса,  $a_g$  – прискорення вільного падіння.

Важливо відмітити, що при опорно-осьовому підвішуванні  $a_g = 10...15$ , а при швидкостях руху вище 100 км/год відношення може досягти навіть значення 20...25. Означені динамічні дії впливають не тільки на окремі частини двигунів, а й на щітково-колекторний вузол, перешкоджаючи його нормальній роботі [2].

Повітря, яким охолоджуються тягові двигуни, надходить у вентиляційну систему через жалюзі кузова і з огляду на специфіку роботи локомотива містить пил, часто з металевими частками. Цей пил, осідаючи всередині двигуна, не тільки погіршує тепловіддачу, а й призводить до перекирвання високою напругою на запыленій поверхні. Як показує досвід, концентрація пилу може досягати  $30 \text{ мг/м}^3$ , а при хуртовинах в охолоджуючому повітрі може міститися  $20...25 \text{ г/м}^3$  снігу, причому уникнути таких забруднень неможливо.

Тягові двигуни практично безперервно працюють в граничних режимах, викликаних коливанням напруг у контактній мережі та змінами струмів, що споживаються, причому останні варіюють від  $0,25 I_{ном}$  до  $2 I_{ном}$ , що призводить до ще більших коливань втрат потужності. Зміна напруг у контактних мережах постійногоструму становить відповідно 2200...4000 В. Усі ці фактори створюють особливі вимоги до електричної та механічної міцності вузлів тягових двигунів. Ізоляція їх обмоток відносно корпусу повинна витримувати випробну напругу  $U = (2,25U + 2000)$  В для двигунів, що отримують живлення від контактної мережі постійного струму, яка дорівнює напрузі холостого ходу на колекторі двигуна. Механічна міцність перевіряється розгоном двигуна при холостому ході протягом 2 хв. до частоти обертання, що на 25 або 35 % перевищує максимальну частоту обертання [7].

При виготовленні й експлуатації будь-яких електричних машин у зв'язку з наявністю системи допусків на виготовлення деталей і вузлів, а також їх різним зносом неминуча розбіжність електромеханічних і механічних характеристик. ГОСТ 2582-81 допускає розбіжність швидкісних характеристик у точці номінального режиму, а це призводить до відповідної розбіжності струмів навантажених різних тягових двигунів, працюючих на одному локомотиві.

У двигунів з більшим струмом навантаження будуть більші витрати енергії, вища температура обмоток і як наслідок менший термін їх роботи [5, 9].

Конструкція двигунів повинна задовольняти вимоги безпеки руху поїзда і в той же час бути досить простою, щоб тягова машина була ремонтпридатною.

Найважливіший вплив на експлуатаційні властивості двигунів мають їх магнітні характеристики, тобто залежність магнітного потоку  $\Phi$  від магніто-

рушійної сили (МРС) збудження  $F$  [1]. Оскільки, як відомо,  $E = C_e n \Phi$ , де  $E$  – електрорушійна сила (ЕРС);  $C_e$  – стала;  $n$  – частота обертання якоря, то  $E/n = c_e \Phi$ . Отже, магнітна характеристика може бути подана як  $E=n(F)$ , а її вид визначається ступенем насичення або коефіцієнтом насичення  $k_{нс}$ , який є відношенням відносного спаду магнітного потенціалу в усьому магнітному колі  $F_{ном}$  до відносного спаду магнітного потенціалу в повітряному проміжку  $F$ , тобто чим вище значення  $k_{нс}$ , тим менші габарити й маса двигуна, але в той же час гірші його регульовальні властивості. Зазвичай, щоб задовольнити ці суперечні вимоги, приймають  $k_{нс} = 1,6 \dots 2,0$ . При менших значеннях машина буде слабо-, а при більших – сильно насичена. [6]

Економічність роботи тягових двигунів визначає їх ККД, який, у свою чергу, залежить від струмового й магнітного навантажень. Характеристикою цих навантажень є відповідно лінійне навантаження  $A$  і щільність струму в обмотці якоря  $j$ , а також індукція  $B$  в повітряному проміжку. Чим вищі ці величини, тим менші розміри й маса двигуна, але нижчий і його ККД [4].

У тягових двигунах електровозів лінійні навантаження приблизно становлять  $A = (400 \dots 500) 10^2$  А/м, щільності струму в обмотках якорів  $j = 6 \dots 8$  А/мм, а індукції в повітряному проміжку  $B = 0,95 \dots 1,0$  Тл.

Добуток  $Aj$ , що називається тепловим фактором, характеризує струмове навантаження і визначається допустимою температурою для даного класу ізоляції [1].

**Аналіз роботи тягових двигунів.** Тягові електричні двигуни належать до найбільш навантаженого устаткування рухомого складу, з погляду комплексно-го впливу теплових, електричних, механічних і кліматичних факторів. Як відомо, найбільше число відмов тягових двигунів доводиться на uszkodження електричної ізоляції обмоток якорів і котушок головних і додаткових полюсів. На рис. 1 представлений розподіл несправностей ТЕД електровозів. Як видно із цих даних, несправності із за передчасного руйнування електричної ізоляції становлять близько 40 % від загальної кількості претензій.

Основні причини пошкодження електричної ізоляції наступні:

- пробій і міжвиткове замикання обмоток якоря;
- пробій і міжвиткове замикання котушок головних, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки;
- недостатня електрична міцність ізоляції обмоток якоря й полюсів.

Таким чином, однією з основних умов забезпечення надійності й довговічності ТЕД є застосування і правильне підбирання систем електроізоляційних матеріалів.



*Рис. 1. Діаграма розподілу несправностей ТЕД електровозів*

Основні вимоги, пропоновані до систем ізоляції:

- термічні – високий температурний індекс, стійкість до змін температури, висока теплопровідність;
- фізико-механічні – абразивна стійкість (до пилу), висока міцність при розтяганні, стиску, зрушенні, стійкість до вібрації;
- електричні й діелектричні – висока електрична міцність, стійкість до тривалих напруг, низький тангенс кута діелектричних втрат;
- інші – вологостійкість, стійкість до хімічних впливів, стійкість до радіації.

Вплив на ізоляцію починаються вже в процесі виготовлення. Такі впливи носять короточасний характер, однак, рівень впливів може значно перевищувати експлуатаційний [5].

Основні види впливу на ізоляцію в процесі виготовлення:

- теплове – підвищена температура;
- механічне – деформації при виготовленні й укладанні обмоток електричних машин;
- електричне – вплив випробувальною напругою.

У процесі експлуатації тривають впливи на ізоляцію, причому ці впливи носять довгостроковий характер, при цьому відбувається так зване нагромадження «утоми» ізоляції.

Серед основних впливів на ізоляцію в процесі експлуатації є такі:

- теплові – циклічні зміни обсягу, що приводять до появи тріщин і зсуву стрічок; перегріву, що приводять до теплового пробою й руйнування ізоляції;
- механічні – електромеханічні й магнітні сили (пуск, холостий хід, скидання навантаження, ін.); електромагнітні обертання; температурні деформації; динамічний вигин, розтягання стиск, ударного зминання; вібрація. Усі ці фактори призводять до руйнування монолітності ізоляції;

- електричні – часткові розряди в порожнечах (бомбардування твердої ізоляції, локальний розігрів до 1000°C на ділянці, хімічна дія (озон, азотна кислота); повітряні розряди (ковзні розряди, що сковазують іскри, дуга по лобовій частині);

- хімічні – вода (набрякання ізоляції); активні речовини (ріст твердості, крихкості);

- інші – стороні включення (феромагнітні частки).

Основною вимогою, пропонованою до ізоляційних матеріалів, технології виготовлення й конструюванню, є здатність ізоляції в межах необхідного ресурсу протистояти зазначеному вище комплексу експлуатаційних впливів. [3]

При розробці нових систем ізоляції висувуються вимоги максимального використання властивостей ізоляційних матеріалів шляхом збільшення потужності в одиниці об'єму, а також припустимої температури нагрівання обмоток.

Сучасна технологія виготовлення обмоток тягових електродвигунів включає наступні основні стадії:

- виготовлення моноблоків основного й додаткового полюсів: ізолювання обмоток не просоченими слюдинітовими стрічками з малим відсотком сполучні з наступним просоченням епоксидним компаундом у вакуумі й під тиском. Іноді використовується окреме просочення котушок компаундом (лаком) з наступним зміцненням їх на полюсі;

- виготовлення ізоляції компенсаційних котушок: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі поліефірно-епоксидних сполучних з наступним укладанням обмоток у пази полюсів, де відбувається їх затвердіння за допомогою струму в осові двигуна;

- виготовлення ізоляції якоря: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі епоксидно-поліефірного сполучення з наступним просоченням у компаунді або лаку у вакуумі й під тиском.

На сьогоднішній день основними напрямками технології просочення з метою створення монолітного стану електричної ізоляції електричних машин є:

- вакуум-нагнітальне просочення (VPI);
- ізоляція із просочених стрічок (Resin Rich);
- змішана технологія.

При застосуванні технології вакуум-нагнітального просочення (VPI) як основна ізоляція використовуються скло слюдинітові стрічки з малим змістом сполучних матеріалів (3-5 %), так звані сухі стрічки або склослюдинітові стрічки з підвищеним змістом сполучні (до 10 %), так звані напівпросочені стрічки. Як просочувальні компоненти застосовуються різні лаки, компаунди. Технологічний процес складається із просочення під вакуумом і тиском і закрутки у вільному стані.

При виготовленні ізоляції із просочених стрічок (Resin Rich) застосовуються просочені склослюдинітові стрічки зі змістом сполучного 25-30 %. Технологічний процес складається в механічному обпресуванні котушок і сушінні при підвищеній температурі або гідростатичному обпресуванні в бітумі й сушінні при підвищеній температурі.

При застосуванні змішаної технології, як основна ізоляція, застосовується комбінована ізоляція (сухі або просочені склослюдинітові стрічки), різні лаки

або компаунди як просочувальні складові. Технологічний процес складається в просоченні під вакуумом і тиском, сушінні у вільному стані.

Найпоширенішим засобом просочення в компаундах ізоляції обмоток електричних машин, ефективність якого не викликає сумнівів і підтверджена десятиліттями виробничої й експлуатаційної практики, є вакуум-нагнітальний. В основі цього процесу лежать видалення повітря з капілярно-пористої структури ізоляційної конструкції в результаті глибокого вакуумування й наступне її заповнення просочувальним складом під дією надлишкового тиску.

Численні експериментальні дослідження показують, що при правильно обраних технологічних параметрах вакуум-нагнітальне просочення забезпечує зміст компаунда в системах ізоляції на основі непросочених стрічок ~ 38-42 %, а також додаткове насичення (у середньому на 46 %) систем ізоляції з попередньо просоченими стрічками. Це визначає формування монолітних ізоляційних структур, з високими функціональними властивостями.

Як альтернатива вакуум-нагнітального просочення пропонується ультразвукове просочення (УЗП), що використовує здатність ультразвукових коливань витіснити повітря з капілярів і одночасно забезпечувати прискорене просування по них складу, що просочує.

Однак за даними досліджень, проведених ВЭлНИИ (м. Новочеркаськ, РФ), при дослідженні ізоляції демонтованої обмотки якоря, просоченої із застосуванням УЗП, встановлено, що в більш ніж 50 % котушок ізоляція напівпакетів і виткова ізоляція повністю не просочені, а розкид значень процентного вмісту сполучного в їхній корпусній ізоляції становить від 8 % (верхній шар) до 12 % (нижній шар) [5].

У випадку вакуум-нагнітального просочення отримане повне просочення ізоляції (включаючи виткові) всіх обстежених котушок, при розкиді значень процентного вмісту сполучного в корпусній ізоляції не більше 4 %, що є наслідком рівномірного розподілу рушійної сили вакуум-нагнітального просочення (гідростатичний тиск) по поверхні якоря.

Таким чином, проведені дослідження показали, що технологічний процес УЗП у компаунді не забезпечує повного й рівномірного заповнення складом, що просочує, ізоляції котушок, а її електричної міцності показники уступають аналогічній системі ізоляції, просоченої вакуум-нагнітальним способом.

На сьогоднішній день у практиці провідних світових виробників електроізоляційних матеріалів – проведення всебічних досліджень властивостей нових матеріалів, по яких ще не нагромадився належний досвід експлуатації, пропозиція комплексу електроізоляційних матеріалів для основних груп електричних машин і апаратів, що володіють необхідними властивостями.

Стандартний комплекс експериментальних досліджень, проведених при розробці нових систем ізоляції, містить у собі:

- оцінку електрофізичних і технологічних параметрів всіх електроізоляційних матеріалів, що входять у дану систему ізоляції;
- багатофакторні випробування обраних систем ізоляції й конструкцій обмоток тягових електродвигунів;
- рівень зміни основних характеристик ізоляційної системи двигуна під впливом експлуатаційних навантажень (електричне поле, температура, механічні й кліматичні навантаження). Цей параметр визначається або в процесі експлуата-

ції тягових електродвигунів за певний період, або за допомогою імітації цих навантажень шляхом ресурсних випробувань двигуна.

Якщо говорити про сучасні системи ізоляції, то тут повні комплекси електроізоляційних матеріалів для різних типів електричних машин і апаратів пропонують провідні світові виробники електроізоляційних матеріалів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак / Тягові електричні машини електрорухомого складу. Вид. Дніпропетр. нац. Ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
2. Б. П. Тихменев, Л. И. Трахтман. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1980. – 356 с.
3. Л. В. Дубинец, В. Т. Вислогозов, А. І. Кийко і інші. Тягові електричні апарати контактні. – Вид. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2002. – 101 с.
4. М. М. Алексюк, В. И. Данилевський. Устройство для измерения воздушного зазора между сердечником статора и якоря электродвигателя. Локомотив. информ, № 7, 2010. – С. 10–12.
5. В. І. Данилевський, Т. М. Мельник. Підвищення надійності роботи тягових двигунів тягового моторвагонного рухомого складу залізниць України. Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2008. – С. 38–40.
6. В. І. Данилевський, В. В. Данилевський. Исследование магнитной системы тяговых двигателей электроподвижного состава. Локомотив-информ. № 7, 2008. – С. 18–21.
7. В. І. Данилевський, В. В. Данилевський, С. О. Гулак. Науково-технічне обґрунтування доцільності модернізації випробувальних станцій електричних машин електрорухомого складу. Локомотив. Информ. № 1-2, 2009. – С. 4-7.
8. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия.
9. Ю. М. Черных. Нагрузочная способность тяговых двигателей локомотивов и вес поезда. Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 87–88.
10. Ю. М. Черных. Засновок впровадження нових електроізоляційних матеріалів при ремонті тягових електричних машин залізничного рухомого складу. – В кн.: Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 147–149.

**Volodymyr I. Danylevskiy, PhD (Technical Sciences)**  
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

**Yuriy M. Chernikh, PhD (Technical Sciences)**  
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

**Larissa V. Slyvovska**  
(the first category economist of South Western Railway)

### TO EVALUATE, DESIGN REQUIREMENTS AND WORK ELECTROMOTIVE TRACTION ENGINES OF RAILWAYS

*This article contains information about traction engines used at present for DC electric locomotives; analyzed the requirements for their design; determining their characteristics have an important influence on the performance properties of engines; analyzed the causes of failures of engines; the basic requirements for system isolation; shows the main stages of modern manufacturing techniques windings of traction motors.*

**Keywords:** traction engines, electric, electric field, induction, linear electrical load, air gap, the main poles.

### REFERENCES

1. V.M. Bezrychenko, V.K. Vharchenko, V.V. Chumak / Tyagovi electrichni mashinu electrichnogo skladu. Vud. Dniepropetr. nac. Univ .. zaliz. transp. im. acad. V. Lazaryana, 2003. 252 pp.
2. B.P. Tihmenev, L.I. Trahtman. Podvyzhnoy sostav elektryfytirovanyh zeleznyh dorog. M.: Transport, 1980. 356 s.
3. L.V. Dubynets, V.T. Vyslohubov, A.I. Kuyko i inshi. Tyagovi electrichni apparatu kontaktni. – Vud. Dnipropetr. nat. Univ zalizn. transp. im. acad. V. Lazaryan, 2002. 101 s.
4. M.M. Aleksyuk, V.I. Danilevsky. Ustroystvo dlya izmireniya vozdushnogo zazora mezdu serdechnikom statora i yakorem elektrodvigatelya.
5. V.I. Danilevsky, T.N. Melnyk. Pidvushchenya nadiynosti robotu tyagovuh dviguniv tyagovogo motorvagonogo ruhomogo skladu. Materialu chetvertoi miznarodnoi naukovo-metoduchnoi konferencii. Seriya «Tehnika, tehnologiya» K: DETUT, 2008, p. 38-40.
6. V.I. Danilevsky, V.V. Danilevsky. Isledovaniye magnitnoy sistemu tagovuh dvigateley elektropodviznogo sostava. Lokomotiv inform, №7, 2008, p. 18-21
7. V.I. Danilevsky, V.V. Danilevsky S.O. Gulak. Naukovo-tehnichne obgruntuvanya docilnosti modernizacii vyprobuvalnyh stanciy elektrychnykh mashyn. Lokomotiv inform, № 1-2, 2009, s.4-7.
8. GOST 2582-81. Mashyny elektrichiskie vrashchayushchiesya tyagovie. Obschie tehnicheskie uskloviya.
9. Y.M. Chyrnyh. Nagruzochnaya sposobnost tyagovykh dvigateley lokomotivov i ves poezda. Problemy ta perspektyvy rozvytku transportnykh system v umovakh reformuvanya zaliznuhnogo transportu: upravlynya, ekonomika i tehnologii: Materialy VI miznarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii. Seriya. «Tehnika, tehnologiya». – K.: DETUT, 2013. – s.87-88.
10. Y.M. Chyrnyh. Zasnovok vprovadzenya nouh elektroizolyatsiynuh materialiv pru remonti tyagovykh electrichnykh mashyn zaliznuhnogo ruhomogo skladu. – V kn.: Problemy ta perspektyvy rozvytku transportnykh system v umovakh reformuvanya zaliznuhnogo transportu: upravlynya, ekonomika i tehnologii: Materialy VI miznarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii. Seriya. «Tehnika, tehnologiya». – K.: DETUT, 2011. – p. 147-149.

УДК 006.06:311.108:658

*І. І. Кульбовський, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту)*  
*О. В. Агарков, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту)*  
*В. О. Катерищук (начальник відділу забезпечення господарської діяльності, ДП «Укрзалізничпостач»)*

### МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ КВАЛІФІКАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ

*Розглянуто підходи до оцінки кваліфікації персоналу вимірювальних лабораторій. Запропоновано основні вимоги до кожного рівня кваліфікації працівників. Обґрунтовано необхідність проведення сертифікації персоналу вимірювальних лабораторій.*

*Ключові слова:* метрологія, калібрування, сертифікація, персонал, стандарт, вимірювальна лабораторія.

*Рассмотрены подходы к оценке квалификации персонала измерительных лабораторий. Предложены основные требования к каждому уровню квалификации работников. Обоснована необходимость проведения сертификации персонала измерительных лабораторий.*

*Ключевые слова:* метрология, калибровка, сертификация, персонал, стандарт, измерительная лаборатория.

Визнання результатів випробувань та сертифікації у таких законодавчо регульованих сферах, як:

- якість продукції;
- кваліфікація та компетентності виробників продукції;
- кваліфікація та компетентності випробувальних лабораторій, які перевіряють дану продукцію;
- кваліфікація та компетентності органів із сертифікації, які підтверджують відповідність даної продукції встановленим вимогам;
- кваліфікація та компетентності органів з акредитації, які провадять експертизу та нагляд за випробувальними лабораторіями та органами із сертифікації, є інструментом досягнення головної мети європейської концепції «нового підходу».

© Кульбовський І. І., Агарков О. В., Катерищук В. О., 2015

Гармонізація національних норм, вимог та правил з європейськими та міжнародними, є запорукою успіху процесу утворення єдиного ринкового простору.

Держстандартом України видано наказ від 28.02.01 за № 87 «Щодо призначення органів із сертифікації персоналу», відповідно до якого ІНЦ «Інститут метрології» призначено органом із сертифікації персоналу вимірювальних та калібрувальних лабораторій. Для підтвердження своєї компетентності орган із сертифікації «Метрологія» (ОС «Метрологія») пройшов акредитацію на право проведення сертифікації персоналу.

Розглянемо основні із загального обсягу розроблених організаційно-методичних документів, а саме – порядок сертифікації персоналу вимірювальних лабораторій та персоналу калібрувальних лабораторій, вимоги яких є обов'язковими для:

- ОС «Метрологія», що проводить сертифікацію персоналу;
- підприємств і організацій, фахівці яких є здобувачами;
- здобувачів;
- організацій і окремих осіб, які залучаються до проведення робіт із сертифікації персоналу ОС «Метрологія».

Під час проходження процедури сертифікації здобувач (фахівець, який подав заявку на проведення сертифікації) одержує сертифікат компетентності з визначенням рівня компетентності. Тому, відповідно до порядку, сертифікація персоналу вимірювальних лабораторій (ВЛ) та калібрувальних лабораторій (КЛ) охоплює оцінку професійної підготовки за одним чи кількома видами вимірювань. До галузі акредитації ОС «Метрологія» входять 13 видів вимірювань.

Метою сертифікації персоналу є підтвердження відповідності особистої кваліфікації фахівця, необхідної для проведення вимірювань фізичних величин для конкретних об'єктів вимірювань відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Процедура сертифікації персоналу є добровільною, тому рішення про її необхідність приймає керівник лабораторії або сам фахівець.

Після проведення сертифікації персоналу за результатами кваліфікаційного іспиту фахівцю присвоюється відповідна кваліфікація. Залежно від кваліфікації сертифікована особа може отримати один із трьох рівнів компетентності.

**1-й рівень.** Фахівець повинен мати кваліфікацію, достатню для проведення вимірювань відповідно до інструкцій під наглядом персоналу 2-го чи 3-го рівнів, та виконувати такі функції:

- настроювання устаткування та здійснення вимірювань;
- реєстрація і класифікація результатів відповідно до критеріїв, установлених у документах;
- подання звіту за результатами проведення вимірювань.

Фахівець не несе відповідальності за вибір устаткування, а також за результати вимірювань.

**2-й рівень.** Фахівець повинен мати кваліфікацію, достатню для здійснення вимірювань і керування процедурою вимірювання відповідно до встановлених чи затверджених методик та виконувати такі функції:

- вибір технічного устаткування відповідно до методики проведення вимірювань;
- визначення обмежень у проведенні вимірювань тих видів, з яких надано 2-й рівень кваліфікації;

- настроювання устаткування та його застосування;
- здійснення контролю за виконанням робіт;
- тлумачення й оцінка результатів відповідно до документів, що використовуються, а також оцінка норм і методик виконання вимірювань;
- нагляд за здійсненням усіх обов'язків фахівця 1-го рівня;
- керування персоналом;
- складання та оформлення звіту за результатами вимірювань.

**3-й рівень.** Фахівець повинен мати кваліфікацію, достатню для керування будь-якими операціями процедури проведення вимірювань за видом, стосовно якого надано сертифікат, бути компетентним в оцінці та інтерпретації результатів відповідно до чинних нормативних документів, мати достатні практичні знання. Він виконує такі функції:

- відповідальність за технічні засоби та дії персоналу;
- визначення і застосування технічного устаткування і методик;
- тлумачення стандартів, норм, технічних умов і методик;
- керування персоналом під час виконання вимірювальних робіт.

Усі роботи із сертифікації персоналу оплачує або підприємство, співробітником якого є здобувач, або здобувач на договірних умовах.

Порядок проведення сертифікації персоналу передбачає:

- подання здобувачем або підприємством заявки на сертифікацію;
- розгляд та прийняття рішення за заявкою щодо можливості проведення робіт із сертифікації здобувача;
- розроблення програми для проведення кваліфікаційного іспиту та надання її здобувачеві;
- проведення кваліфікаційного іспиту;
- прийняття за результатами кваліфікаційного іспиту рішення про можливість видачі здобувачеві сертифіката компетентності та встановлення рівня кваліфікації фахівця;
- видача сертифіката компетентності та занесення до Реєстру сертифікованих фахівців вимірювальних лабораторій;
- проведення нагляду за сертифікованим фахівцем та правильністю використання ним сертифіката компетентності.

Разом із заявкою передбачено подавати до органу сертифікації такі документи:

- відомості про фахівця;
- копії документів про навчання фахівця (диплом про закінчення навчального закладу, курсів підвищення кваліфікації та ін.), копію сертифіката компетентності (за наявності);
- перелік величин, які необхідно одержати (з зазначенням об'єктів, що вимірюються, діапазонів та похибок) на проведення вимірювань, з яких сертифікується фахівець;
- іншу інформацію про фахівця, яка характеризує його кваліфікацію;
- перелік нормативних документів, що регламентують методики виконання вимірювань, на проведення яких сертифікується фахівець, а також перелік НД, що регламентують вимоги техніки безпеки, санітарних норм тощо, яких треба дотримуватися під час проведення вимірювань у зазначеній галузі.

Орган сертифікації розглядає заявку і не пізніше від одного місяця після її одержання повідомляє здобувача про прийняте рішення щодо можливості продовження сертифікації.

Коли розглядають заявку, ураховують наявність підготовки, професійних знань, майстерності, досвіду та, за потреби, відповідного стану здоров'я, що дає можливість здобувачеві виконувати поставлені перед ним завдання. Під час розгляду заявки орган сертифікації може запросити копії необхідних документів та додаткові відомості.

Якщо за результатами розгляду заявки та супровідних документів виявляється, що проведення подальших робіт із сертифікації неможливе (недостатній або відсутній досвід роботи на заявлений рівень кваліфікації), орган сертифікації надає здобувачеві обґрунтоване рішення про неможливість проведення сертифікації. Після усунення причин, за яких сертифікація фахівця визнана неможливою, здобувач подає повторно заявку на проведення сертифікації.

Для підтвердження компетентності здобувача провадиться кваліфікаційний іспит, програма якого складається з затверджених органом сертифікації типових програм за видами вимірювань з урахуванням рівня кваліфікації фахівця.

Програма кваліфікаційного іспиту вибирається залежно від:

- освіти;
- досвіду роботи з якості фахівця вимірювальної лабораторії та рівня його кваліфікації;
- виду вимірювань, об'єкта вимірювань, діапазону та похибок вимірювань, на проведення яких сертифікується фахівець;
- наявності сертифікатів компетентності.

До складу програми кваліфікаційного іспиту входять перевірка знань правил з охорони праці, теоретичних та практичних знань фахівця.

Комісія, що провадить кваліфікаційний іспит, вміщує не менше ніж три члени, які є провідними фахівцями у відповідних вимірюваннях. Склад комісії затверджується керівником органу сертифікації.

Кваліфікаційний іспит може проходити у письмовій, усній і тестовій формах.

Здобувача заздалегідь повідомляють про вид кваліфікаційного іспиту. Право вибору належить органу сертифікації.

Практичні знання перевіряються на спеціально підготовлених робочих місцях, які відповідають вимогам до робіт з виконання вимірювань за заявкою здобувача чи на базі інших підприємств та організацій.

Повідомлення про термін проведення кваліфікаційного іспиту фахівець отримує не пізніше ніж за місяць до призначеної дати та одержує у цей термін програму іспитів.

За результатами кваліфікаційного іспиту члени комісії надають пропозиції щодо можливості видачі сертифіката та рівня кваліфікації здобувача. Результати іспитів затверджує керівник органу сертифікації. У разі позитивного результату орган сертифікації видає фахівцеві сертифікат компетентності на термін не більше трьох років.

Порядок сертифікації передбачає подовження терміну чинності сертифіката компетентності. Фахівці, які одержали сертифікат компетентності, заносяться до реєстру сертифікованих фахівців вимірювальних або калібрувальних лабораторій.

У разі негативного рішення комісії фахівець може повторно скласти кваліфікаційний іспит через деякий час, але не раніше ніж через місяць з моменту проведення попереднього.

Під час чинності сертифіката компетентності фахівець підлягає технічному нагляду з боку органу сертифікації, який здійснюється відповідно до Порядку

здійснення нагляду за сертифікованими фахівцями. У Порядку передбачається процедура скасування сертифіката компетентності, яка провадиться у разі:

- особистої заяви фахівця;
- припинення фахівцем діяльності з вимірювань відповідно до сертифіката компетентності на термін, що перевищує один рік;
- рішення органу сертифікації за негативними результатами нагляду за діяльністю фахівця;
- негативного рішення за результатами повторного кваліфікаційного іспиту.

Рішення органу сертифікації щодо негативних результатів кваліфікаційного іспиту чи нагляду або скасування сертифіката компетентності фахівець може оскаржити в комісії з апеляції органу сертифікації в місячний термін з дня прийняття цього рішення.

Для того щоб забезпечити вимоги до підтвердження компетентності сертифікованого фахівця, здобувач повинен мати:

- вищу або середню спеціальну освіту;
- необхідну теоретичну підготовку з відповідного виду вимірювань;
- практичний досвід роботи не менше трьох місяців.

Здобувач повинен знати:

- закони України та інші нормативно-правові акти України з питань метрології та метрологічної діяльності, а також нести відповідальність у разі їх порушення;
- основоположні стандарти в галузі метрології (державні, міждержавні, галузеві, корпоративні);
- основи метрології, головні принципи, методи та умови одержання результатів вимірювань;
- методики виконання вимірювань, стосовно яких він сертифікується;
- конструкцію та принцип дії засобів вимірювальної техніки, які використовуються під час проведення вимірювань;
- основи законодавства та правила: охорони праці; техніки безпеки; виробничої санітарії; протипожежної безпеки.

Здобувач повинен відповідно до рівня своєї кваліфікації:

- виконувати операції вимірювань згідно з документами за методиками виконання вимірювань;
- оцінювати складові похибок вимірювань;
- виконувати роботи, потрібні для забезпечення нормального функціонування вихідних та робочих еталонів, допоміжних і робочих застосовуваних засобів вимірювальної техніки;
- вміти проводити аналіз результатів вимірювань і розрахунки похибок;
- належним чином оформляти результати вимірювань.

Для допуску до іспиту здобувач повинен відповідати мінімальним вимогам з теоретичної підготовки і практичного досвіду у визначеному виді вимірювань відповідно до рівня своєї компетентності.

Підготовка кандидатів до іспиту може проходити у вигляді курсових занять; участі у конференціях чи семінарах; вивчення публікацій, періодичних видань та інших спеціалізованих матеріалів.

Після закінчення першого терміну чинності сертифіката компетентності, а також кожні наступні три роки сертифікація може бути подовжена на новий період за умови, коли фахівець подає:

а) висновок про стан здоров'я (у разі необхідності); б) документ про здійснення задовільної виробничої діяльності без значної перерви у роботі з виконання вимірювань за видом, стосовно якого надано сертифікат.

Якщо критерії подовження терміну сертифікації не додержані, фахівець повинен виконувати процедуру, передбачену для нового кандидата. Персонал вимірвальних та калібрувальних лабораторій – один з основних ресурсів забезпечення якості робіт. Проведення процедури сертифікації персоналу суттєво підвищить точність вимірювань та калібрування і сприятиме зміцненню довіри до вірності одержаних результатів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 17024:2003. Оцінювання відповідності. Загальні вимоги до органів сертифікації персоналу.
2. Конти Тито. Самооценка в организациях: Пер. с англ. Н.Н. Рыбакова при участии Г.Е. Герасимовой; Науч. ред. В.А. Лапидус и М.Е. Серов. – М.: Стандарты и качество, – 2000. – 328 с.
3. ДСТУ 3418-96. Система сертифікації УкрСЕПРО. Вимоги до аудиторів та порядок їх атестації.
4. ISO 9712 та ДСТУ ЕН 473–2001. Кваліфікація і сертифікація персоналу неруйнівного контролю. Основні вимоги.
5. Мухаровський М., Хімичева Г. Моделювання комплексної оцінки компетентності персоналу // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 3. – С. 21–25.
6. Кочеткова А.Н. Психологические основы современного управления персоналом. – М.: Зерцало, 199. – 584 с.
7. ДСТУ ISO 9000 – 2001. Система управління якістю. Вимоги.
8. Векслер Е.М., Рифа В.М., Василевич Л.Ф. Менеджмент якості: Навч. посібн. / Під ред. Е.М. Векслера. – К.: ВД «Професіонал», 2008. – 320 с.

*Ivan I. Kulbovskiy, PhD (Technical Sciences)*  
*(Associate Professor, Building Structures and Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)*  
*Oleksandr V. Agarkov, PhD (Technical Sciences)*  
*(Associate Professor, Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*  
*Vasyl O. Katereschuk*  
*(postgraduate student, Head of the Department of Economic Activity, State Enterprise Logistics Railway Transport of Ukraine «Ukrzaliznychpostach»)*

### METHODOLOGICAL ASPECTS OF MEASURING LABORATORY STAFF QUALIFICATIONS

*Considered the approaches to the qualification of personnel, measuring laboratories.*

*The purpose of certification is to verify compliance staff personal professional qualifications required for the measurement of physical quantities for specific objects measuring compliance with existing regulations.*

*The procedure for personnel certification is voluntary, so its decision on the need to adopt either the head of the laboratory personnel.*

*Following the certification of personnel on the results of the qualification examination specialist assigned to the appropriate qualifications. Depending on qualifications certified person can get one of the three levels of competence.*

*Proposed the basic requirements for each level of workers qualification. The necessity of personnel certification of measuring laboratories are substantiate.*

*Keywords: metrology, calibration, certification, staff, standard, measurement laboratory.*

### REFERENCES

1. ISO/IEC 17024:2003. Otsinyuvannya vidpovidnosti. Zahal'ni vymohy do orhaniv sertyfikatsiyi personalu.
2. Konti Tito. Samootsenka v organizatsiyah: Per. s angl. N.N. Rybakova pri uchastii G.E. Gerasimovoy; Nauch. red. V.A. Lapidus i M.E. Serov. – M.: Standarty i kachestvo, – 2000. – 328 p.
3. DSTU 3418-96. Systema sertyfikatsiyi UkrSEPRO. Vymohy do audytoriv ta poryadok yikh atestatsiyi.
4. ISO 9712 ta DSTU EN 473–2001. Kvalifikatsiya i sertyfikatsiya personalu neruynivnoho kontrolyu. Osnovni vymohy.
5. Mukharovs'kyi M., Khimicheva H. Modelyuvannya kompleksnoyi otsinky kompetentnosti personalu// Standartyzatsiya, sertyfikatsiya, yakist'. – 2005. – №3. – P. 21–25.
6. Kochetkova A.N. Psihologicheskie osnovyi sovremennoho upravleniya personalom. – M.: Zertsalo, 199. – 584 p.
7. DSTU ISO 9000 – 2001. Systema upravlinnya yakisty. Vymohy.
8. Veksler E.M., Ryfa V.M., Vasylevych L.F. Menedzhment yakosti: Navch. posibn. / Pid. red. E.M. Vekslera. – K.: VD «Profesional», 2008. – 320 p.

УДК 629.4.016.1

*А. П. Фалендиш, д.т.н., професор (завідувач кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

*Д. А. Іванченко*

*(асистент кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

### РОЗРОБКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТЕПЛОВОЗА ЯК ОБ'ЄКТА ВИПРОБУВАНЬ

*Розглянута проблема оновлення тягового рухомого складу залізниць України та задачі, які поставлені для її вирішення. Проаналізовані напрями модернізації тепловозів, характерні для експлуатаційних умов українських залізниць. Проведений аналіз методів формалізованого описання конструкцій транспортних технічних засобів. Відмічена необхідність подальшого розвитку методів формалізованого описання технічних систем залізничного транспорту, зокрема тепловозів. Вибраний підхід з використання теорії множин для систематизації структурних елементів тепловозів та їх функцій. Впорядковані підсистеми тепловоза за ознаками фізичних процесів, на яких базується їхнє функціонування. Представлене дворівневе блочно-функціональне описання роботи тепловоза в цілому та його підсистем. Приведені результати композиції структурно-функціональної схеми маневрового тепловоза ЧМЕЗ.*

*Ключові слова: залізничний транспорт, модернізація, техніко-економічні показники, тепловоз, теорія множин.*

*Рассмотрена проблема обновления тягового подвижного состава железных дорог Украины и задачи, поставленные для ее решения. Проанализированы направления модернизации тепловозов, характерные для условий эксплуатации украинских железных дорог. Проведен анализ методов формализованного описания конструкций транспортных технических средств. Отмечена необходимость дальнейшего развития методов формализованного описания технических систем железнодорожного транспорта, в частности тепловозов. Выбранный подход по использованию теории множеств для систематизации структурных элементов тепловозов и их функций. Упорядоченные подсистемы тепловоза по признакам физических процессов, на которых базируется их функционирование. Представлено двухуровневое блочно-функциональное описание работы тепловоза в целом и его подсистем.*

© Фалендиш А. П., Іванченко Д. А., 2015

*Приведены результаты композиции структурно-функциональной схемы маневрового тепловоза ЧМЭЗ.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, модернизация, технико-экономические показатели, тепловоз, теория множеств.*

**Постановка проблеми.** Першочергове завдання залізничного транспорту України полягає у забезпеченні оновлення та модернізації тягового рухомого складу (ТРС). Оновлення ТРС може здійснюватися як за рахунок нової техніки, так і за рахунок модернізації існуючого парку [1-3]. В рамках проблеми оновлення ТРС існує задача розробки концепції та вибору видів випробувань, які виконуються перед допуском ТРС в експлуатацію і входять у приймальні випробування. При цьому мають бути проведені випробування на відповідність всім обов'язковим вимогам нормативної документації [4].

Існуючі різні шляхи модернізації тепловозів потребують обґрунтованих методів вибору видів випробувань з метою оптимізації витрат і ефективності їх проведення. Для цього необхідно вирішити питання формалізованого описання конструкцій тепловозів та систематизувати показники, характеристики, функції та види випробувань у їх взаємозв'язку.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В роботі [5] були встановлені різні види приймальних випробувань, які проводяться як для нових, так і модернізованих тепловозів. В залежності від конструкції тепловоза та типу модернізації формується мета випробувань, від якої залежить вибір видів та програми приймальних випробувань. Існуючі підходи [2, 6] використовуються у дослідженні особливостей конструкції тепловозів, їх структури та взаємозв'язків між системами та вузлами конструкції. Серед них особливу роль відіграє механічна система тепловоза. Але тепловоз, як об'єкт досліджень виступає складною технічною системою, яка включає крім механічної, електричну, теплотехнічну, пневматичну частину. І, як показує досвід модернізацій тепловозів, істотні зміни впроваджуються саме в електричних, теплотехнічних та пневматичних системах. Наприклад, заміна генератора з постійного на змінний струм, впровадження мікропроцесорного управління, форсування дизеля за рахунок наддуву, використання гвинтових компресорів замість поршневих, та ін. Тобто виникає необхідність у формалізованому описанню усіх систем та різних за фізичною природою робочих процесів, які складають сучасний тепловоз.

**Мета статті** – систематизація підсистем та розробка структурно-функціональної схеми тепловозів, як об'єкта випробувань.

**Основний матеріал дослідження.** Приймальні випробування тепловоза мають завдання по визначенню відповідності деякої множини аспектів вимогам, що забезпечують ефективне використання тепловозів в експлуатації на залізницях. Обсяг цієї множини можливо визначити:

1. Через множину систем, що складають тепловоз.
2. Через множину функцій, що повинні забезпечити використання тепловозів в експлуатації.
3. Через множину вимог, що висуваються до тепловоза в цілому та до його окремих підсистем.

Множина систем  $S$  (таблиця 1, рисунок 1) вміщує в себе як базові елементи, що характеризують локомотив саме як тепловоз (системи дизель, передача потужності, екіпаж, допоміжне обладнання та авто гальмування), так і системи, що

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

надбудовувалися в процесі розвитку конструкції і функціональності тепловозів (електропривод допоміжних систем, електронні блоки керування, контролю і захисту, електронні регулятори, системи центрального повітропостачання та ін.).

Дані елементи множини  $S$  об'єднуються в такі підмножини:

- механічне обладнання  $M \subseteq S$ ;
- електричне обладнання  $E \subseteq S$ ;
- теплотехнічне обладнання  $T \subseteq S$ .

Згідно з теорією множин пересічення вказаних множин є множини систем, робота яких пов'язана з різними за природою робочими процесами.

Таблиця 1. Елементи множини системи  $S$  тепловоза

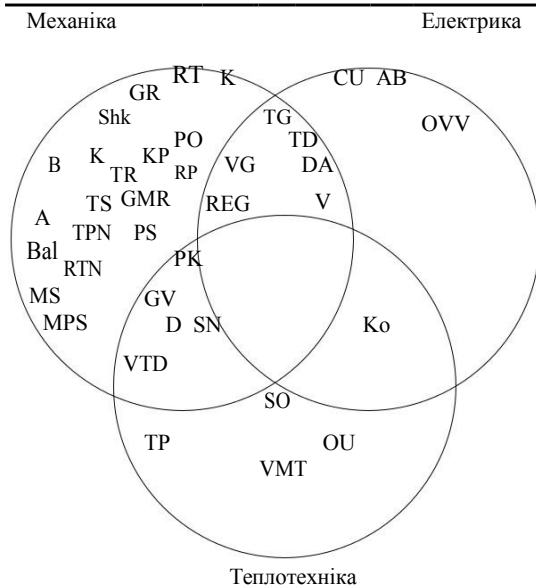
| №  | Система                                  | Позначення | №  | Система   | Позначення |
|----|--|------------|----|---|------------|
| 1  | Рама візка                               | RT         | 20 | Головний вентилятор                             | GV         |
| 2  | Головна рама                             | GR         | 21 | Двомашинний агрегат                             | DA         |
| 3  | Шкворень                                 | Shk        | 22 | Вентилятори охолодження тягових електродвигунів | VTD        |
| 4  | Опора головної рами                      | OGR        | 23 | Регулятор дизеля                                | REG        |
| 5  | Кузов                                    | K          | 24 | Масляна система                                 | MS         |
| 6  | Букса                                    | B          | 25 | Маслопрокочуючий насос                          | MPN        |
| 7  | Автозчеп                                 | A          | 26 | Водомасляний теплообмінник                      | VMT        |
| 8  | Ресорне підвішування                     | RP         | 27 | Водяна система                                  | SO         |
| 9  | Балансир                                 | Bal        | 28 | Холодильник                                     | OU         |
| 10 | Пісочне обладнання                       | PO         | 29 | Гідромеханічний редуктор                        | GMR        |
| 11 | Колісна пара                             | KP         | 30 | Пневматичний компресор                          | PK         |
| 12 | Тяговий редуктор                         | TR         | 31 | Пневматична система гальмування                 | PS         |
| 13 | Дизель                                   | D          | 32 | Контролер машиніста                             | CU         |
| 14 | Паливна система                          | TS         | 33 | Акумуляторна батарея                            | AB         |
| 15 | Паливопідігрівач                         | TP         | 34 | Тяговий генератор                               | TG         |
| 16 |  |            | 35 | Тяговий двигун                                  | TD         |
| 17 | Паливопідкачуючий насос                  | TPN        | 36 | Збуджувач                                       | V          |
| 18 | Ручний паливний насос                    | RTN        | 37 | Допоміжний генератор                            | VG         |
| 19 | Система наддуву повітря (турбокомпресор) | SN         | 38 | Обмотка збудження збуджувача                    | OVV        |

$$M \cap T := \{s \mid s \in M, s \in T, s \in S\}, \quad (1)$$

$$M \cap E := \{s \mid s \in M, s \in E, s \in S\}, \quad (2)$$

$$T \cap E := \{s \mid s \in T, s \in E, s \in S\}. \quad (3)$$

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ



**Рис. 1. Множини підсистем тепловозів**

У результаті проведена систематизація типових підсистем тепловозів, серед яких виділені елементи, в яких протікають різні за фізичною природою фізичні процеси. Це дає можливість оцінити структурну будову тепловоза.

Далі виконаний аналіз роботи тепловозу через множину його функцій. Функції розглядаються на двох рівнях відповідно до основних систем (силова установка, передача потужності, екіпажна частина, допоміжне обладнання) та їх підсистем. Функція може включати в себе кілька менш масштабних функцій. Функції проявляються в робочому процесі. Кожний робочий процес характеризується відповідними параметрами. Результати аналізу представлені в таблиці 2.

**Таблиця 2. Систематизація функцій тепловоза**

| Функції першого рівня  |   |   |  |   |
|--|---|---|--|---|
| 1. Передача тягових, гальмівних, статичних, динамічних зусиль за умови стійкого, плавного руху по рейковому шляху          | 2. Перетворення внутрішньої енергії палива в механічний рух | 3. Управління механічним рухом з метою отримання заданої тягової сили | 4. Автоматичне, автоматизоване і ручне управління необхідним гальмівним зусиллям | 5. Забезпечення всього обладнання тепловоза заданої енергією, управлінням, контролем, сигналізацією і захистом. Розміщення робочого місця машиніста |
| Функції другого рівня  |   |   |  |   |
| 1.1 Передача тягових і гальмівних зусиль   | 2.1 Автоматичне регулювання потужності силової установки    | 3.1 Повне використання вільної потужності дизеля                      | 3.4 Забезпечення стиснення повітрям  | 5.1 Подача піску під колісні пари   |
| 1.2 Передача вертикальних і горизонтальних зусиль від ваги устаткування тепловоза і від взаємодії з верхньою будовою колії | 2.2 Очищення, підігрів і подача палива                      | 3.2 Формування тягової характеристики                                 | 3.5 Службове, екстрене гальмування   | 5.2 Електричний привід вентиляторів охолодження ТЕД, ВУ, дизеля, резисторів ЕДТ   |

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

### Продовження таблиці 2

|  |   |   |                                    |   |
|--|---|---|------------------------------------|---|
| 1.3 Зниження прискорень до заданих рівнів при русі на всьому діапазоні допустимих швидкостей | 2.3 Очищення, подача і наддув повітря   | 3.3 Виявлення і захист від буксування   | 3.6 Автостоп                       | 5.3 Електричний привід компресора                       |
| 1.4 Гасіння коливань тепловоза при русі на всьому діапазоні допустимих швидкостей            | 2.4 Вихлоп відпрацьованих газів   | 3.4 Обмеження тягового струму і напруги | 3.7 Ступінчастий і повний отпуск   | 5.4 Забезпечення ланцюгів управління постійною напругою |
| 1.5 Сталий рух по рейковому шляху на прямих ділянках і в кривих заданого радіуса             | 2.5 Зберігання, подача та охолодження охолоджуючої рідини для охолодження силової установки | 3.5 Захист від перевантаження дизеля    | 3.8 Ліквідація понадзаярного тиску | 5.5 Зарядка акумуляторної батареї                       |
| 1.6 Автоматичне зчеплення і відчеплення з рухомим складом                                    | 2.6 Змащення частин тертя силової установки   | 3.6 Виявлення і захист від буксування   | 3.9 Скидання вологи з резервуарів  | 5.6 Пожежна сигналізація і захист                       |
| 1.7 Зберігання запасу палива, піску  | 2.7 Охолодження змащувального масла   |   | 3.10 Допоміжне гальмо              | 5.7 Блокування тягової схем                             |
| 1.8 Розміщення обладнання і кабіни управління  | 2.8 Охолодження наддувного повітря  |   | 3.11 Ручне гальмо                  | 5.8 Контроль, сигналізація і захист                     |

Після визначення множин структурних елементів та їх функцій розробляється структурно-функціональна схема тепловоза. Вона представляє собою графову модель, у вершинах якої розміщуються структурні елементи – підсистеми тепловоза, що об'єднуються у відповідну систему. Від кожної вершини виходять ребра, що відповідають функціям, які направлені до іншої вершини у відповідності до передачі енергії, матеріалу, інформації та інших впливів. Для прикладу така схема представлена для тепловоза ЧМЕЗ, який проходить тепер різні види модернізацій на залізницях України (рис. 2).

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Наведені в статті матеріали, а також результати досліджень продовжили розвиток методів формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту. Наведений приклад розробки структурно-функціональної схеми маневрового тепловоза ЧМЕЗ в подальшому може використовуватись для вирішення питань модернізації та випробувань тепловозів, а також в науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації ТРС.

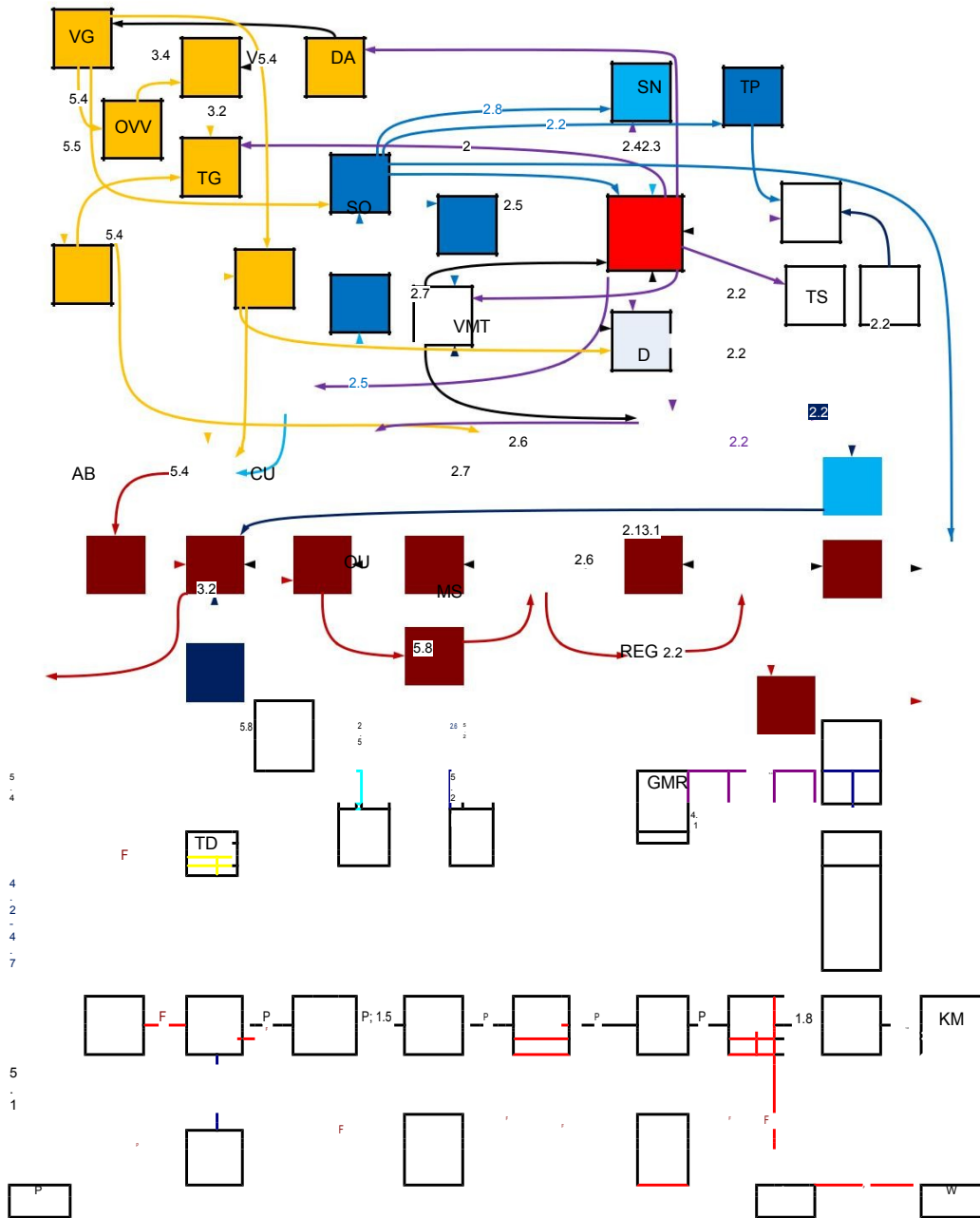


Рис. 2. Структурно-функціональна схема тепловоза ЧМЕЗ

ЛІТЕРАТУРА

1. 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. – Луганск : Ноулджд, 2011. – 173 с.
2. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О.В.Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251с.
3. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія/ О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.

4. *Іванченко, Д. А.* Методы и модели выбора объема испытаний модернизированного тягового подвижного состава / Д. А. Иванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимирів Даля. – 2015. – №. 1. – С. 257-261.

5. *Іванченко, Д. А.* Випробування тягового рухомого складу залізниць / Д.А. Іванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – № 1 (143). Ч. 2. – С. 72-75.

6. *Кельріх, М.Б.* Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст] / М.Б. Кельріх, В.І.Мороз, О.В.Фомін // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимирів Даля. – Луганськ: СХУ ім. В.Даля, 2014. – № 2 (210). – С. 94-103.

*Anatoliy P. Falendysh, Doctor of Technical Sciences, Professor  
(Head of Thermotechnics and Heat Engines Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)*

*Dmytro A. Ivanchenko,  
(Assistant of Exploitation and Repair of Rolling Stock Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)*

## DESIGN OF STRUCTURAL-FUNCTIONAL PLAN OF DIESEL LOCOMOTIVE AS A TEST OBJECT

*The problem of renovation of traction rolling stock of railways in Ukraine and the objectives set for its decision. Analyzed trends of modernization of locomotives that are typical operating conditions of Ukrainian railways. The analysis methods formalized description of structures of transport technology. The need for further development of methods of formalized description of the technical systems of rail transport, particularly locomotives. The approach on the use of set theory to organize the structural elements of the locomotives and their functions. Ordered subsystem locomotive on the grounds of physical processes on which to base their operations. Presented by the two-level block-functional description of the operation of the locomotive as a whole and its subsystems. The results of the composition of structural and functional circuits shunting locomotive CHME3.*

*Keywords: railway, modernization, technical and economic parameters, the locomotive, set theory.*

## REFERENCES

1. Tartakovskij Je. D., Grishhenko S. G., Kalabuhin Ju. E., Falendysh A. P. *Metody ocenki zhiznennogo cikla tjavovogo podvizhnogo sostava zheleznyh dorog* [Methods for assessing the life cycle of traction rolling stock of railways], Lugansk, Noulidzh, 2011. 173 p.
2. Fomin, O. V. (2013). *Optyimizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvagoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva*. Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 251.
3. Fomin O. V. (2014) *Doslidgenja defektiv ta poshkodgen nesuchykh system zaliznychnykh napivvagoniv* [Research Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine. – 299 pp.
4. Ivanchenko D. A. *Metody i modeli vybora ob#ema ispytanj modernizirovannogo tjavovogo podvizhnogo sostava* [Methods and models for determining the extent of test of the modernized traction rolling stock]. *Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja* [Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian national university], 2015, issue 1, pp. 257-261.
5. Ivanchenko D. A. *Vyprobuvannja tjavovogo ruhomogo skladu zaliznyc'* [Tests of traction rolling stock]. *Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja* [Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian national university], 2010, issue 1 (part 2), pp. 72-75.
6. Kelrikh, M. B., Moroz, V. I., Fomin, O. V. (2014). *Strukturno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulja kuzova suchasnykh universalnykh napivvagoniv*. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalja*, 2 (210), 94–103.

УДК 656.2

*В. Б. Іванов, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Менеджмент»  
Національний транспортний  
університет, м.Київ)*

*В. І. Косенко, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Теоретична та  
прикладна механіка», Державний  
економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

## **ВИКОРИСТАННЯ МУФТ ГРАНИЧНОГО КРУТНОГО МОМЕНТУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИВОДІВ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОТЯГІВ**

*Швидкісне залізничне сполучення інтенсивно розвивається в усьому світі. З початком експлуатації в Україні електропоїздів Hyundai Rotem, а також виробництва Крюківського вагонобудівного заводу, швидкісні пасажирські перевезення отримали розвиток і в Україні. У зв'язку з цим зростають вимоги до безпеки руху, в тому числі, до зменшення ризиків руйнувань в лінії приводу. Уникнути вторинних руйнувань в лінії приводу, зокрема поломки карданних валів та редукторів, що можуть мати катастрофічні наслідки, дозволяє встановлення муфт граничного крутного моменту.*

**Ключові слова:** муфта, граничний крутний момент, привід потяга, конструкція.

*Скоростное железнодорожное сообщение интенсивно развивается во всем мире. С началом эксплуатации электропоездов Hyundai Rotem, а также производства Крюковского вагоностроительного завода, скоростные пассажирские перевозки получили развитие и в Украине. В этой связи возрастают требования к безопасности движения, в том числе, по уменьшению рисков разрушений в линии привода. Избежать вторичных разрушений в линии привода, в частности поломки карданных валов или редукторов, которые могут иметь катастрофические последствия, позволяет установка муфт предельного крутящего момента.*

**Ключевые слова:** муфта, предельный крутящий момент, привод поезда, конструкция.

Швидкісне залізничне сполучення інтенсивно розвивається в усьому світі. З початком експлуатації в Україні електропоїздів Hyundai Rotem, а також виробництва Крюківського вагонобудівного заводу, швидкісні пасажирські перевезення отримали розвиток і в Україні. У зв'язку з цим зростають вимоги до безпеки руху, в тому числі, до зменшення ризиків руйнувань в лінії приводу. Подібні руйнування пов'язані з перевантаженнями та виникненням граничних значень крутного моменту внаслідок коротких замикань або руйнувань підшипників.

**© Іванов В. Б., Косенко В. І., 2015**



**Рис. 1. У високошвидкісних потягах муфти SafeSet встановлюються в кожному з приводів, щоб забезпечити захист конструкції від руйнування при відмовах у лінії привода**

Уникнути вторинних руйнувань в лінії приводу, зокрема поломки карданних валів та редукторів, що можуть мати катастрофічні наслідки, дозволяє встановлення муфт граничного крутного моменту SafeSet виробництва Voith Turbo. Відмінністю муфт SafeSet є надзвичайно низька інтенсивність зношення поверхні тертя та практично відсутність впливу втоми металу на працездатність пристрою. Муфти припускають до 10000 спрацювань (розмикань приводу) при незмінному значенні граничного моменту. Для кожного з типорозмірів муфт SafeSet значення граничного моменту може регулюватись в процесі експлуатації завдяки створенню необхідного тиску в її робочому просторі.

Наприклад, муфта SR-N 190, що встановлена між електродвигуном та карданним валом в електропотязі Class 91, призначена для передачі крутного моменту 5,8 кНм. При цьому момент розмикання трансмісії може бути заданий у вигляді фіксованого значення в діапазоні 23...50 кНм. Важливою перевагою муфт SafeSet є також можливість швидкого (не більше 10 хв.) відновлення працездатності приводу після спрацювання внаслідок перевищення граничного крутного моменту. Прикладом встановлення муфт між електродвигунами та редукторами є електропотязи CRH 5, вироблені Китайською машинобудівною компанією Changchun Railway Vehicle Co (CRC). Кожен із потягів має 10 тягових двигунів, що оснащені муфтами Safeset типорозміру SR-N 140. Ще одним прикладом є швидкісний потяг Class 165 виробництва Bombardier, що використовується оператором Chiltern Railways у Великій Британії. Муфта Safeset SR-N 110 встановлена між дизельним двигуном та генератором, що забезпечує електропостачання потяга.



Рис. 2. Муфта Safeset SR-N 110 встановлена у швидкісному потязі Class 165

Розглянемо особливості конструкції муфт даного типу та переваги їх експлуатації в рухомому складі залізниць. Конструктивно муфта SafeSet (рис. 3) є пустотілою сталеву гільзою, здатною розширяться за рахунок подачі масла у внутрішній простір під тиском. Це створює фрикційне з'єднання вала із втулкою. При перевантаженні або надмірному зростанні крутного моменту муфта миттєво скидає тиск, втрачається фрикційне з'єднання та відділяється вал, що поєднаний з двигуном від втулки, що поєднана з карданним валом, редуктором, генератором або іншим механізмом, що приводиться в дію.

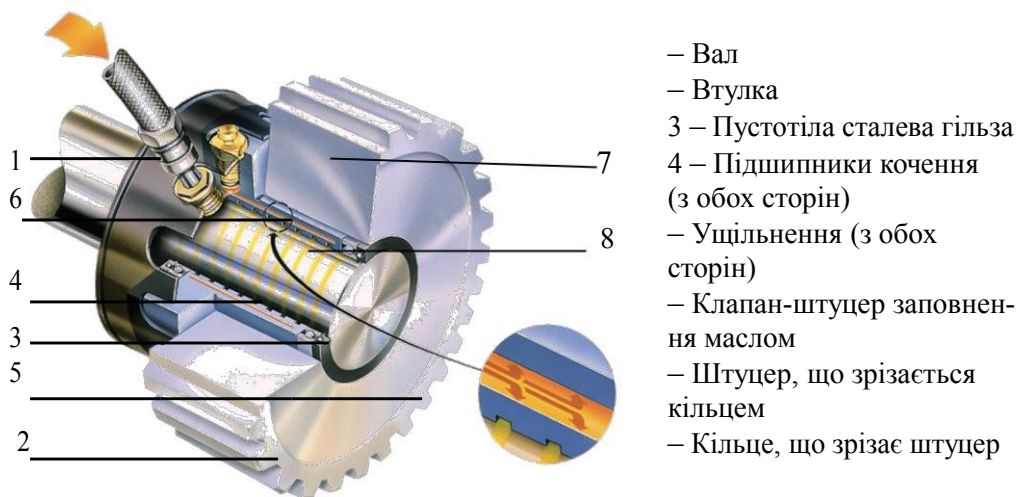


Рис. 3. Основні елементи конструкції муфти граничного крутного моменту Safeset

Розглянемо послідовність дій по запуску муфти Safeset в експлуатацію. Для створення фрикційного з'єднання необхідно створити певний тиск масла у внутрішньому просторі муфти, що є повністю герметичним. Для цього електрична або ручна помпа приєднується до штуцера подачі масла та частково відкривається клапан, що дозволяє наповнити маслом пустотілу сталеву гільзу, якою по суті є напорна втулка муфти Safeset (рис. 4 а). Рівень тиску при цьому вибирається за калібровочною кривою (максимальний тиск досягає 1000 бар), де

кожному із значень тиску відповідає певний рівень граничного моменту або моменту розмикання трансмісії (4 б). Це пояснюється тим, що обраний гідравлічний тиск створює необхідне фрикційне зусилля між напорною втулкою та валом.

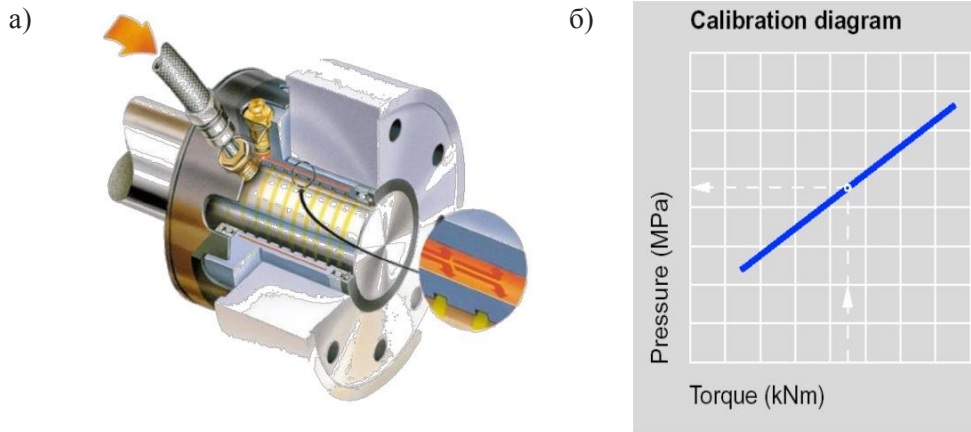


Рис. 4. Процедура заповнення маслом (а) та калібровочна діаграма для вибору моменту розмикання (б)

Таким чином, заданий тиск визначає значення максимального крутного моменту, що здатний передаватися муфтою. Якщо фактичне значення моменту перевищує встановлений рівень, внаслідок повертання валу відносно напорної втулки спеціальним закріпленим на валу кільцем здійснюється зрізання штуцера, що утримує гідравлічний тиск в напорній втулці, і має місце раптове падіння тиску та роз'єднання трансмісії (Рис. 5). Для того, щоб відновити працездатність з'єднання достатньо протягом декількох хвилин (як показує досвід не більше 10 хв.) замінити зрізаний штуцер і за допомогою помпи створити заданий рівень тиску.

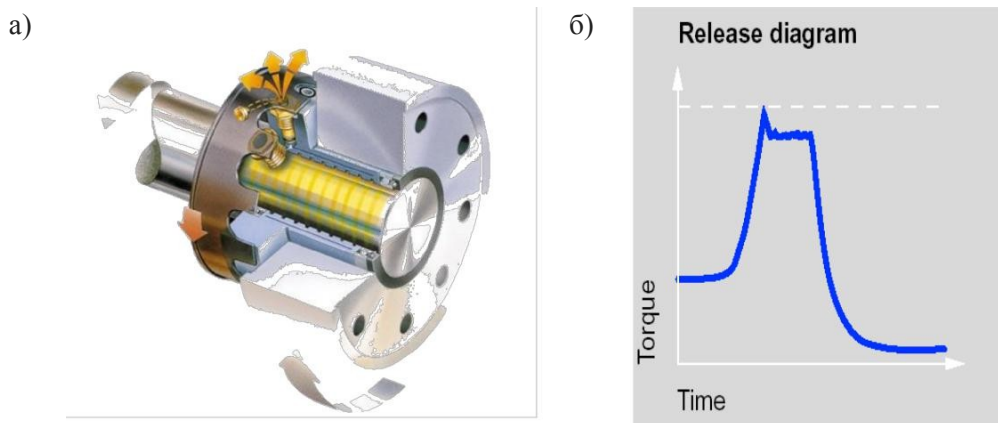


Рис. 5. Роз'єднання приводу (а) та графік зміни крутного моменту в трансмісії (б)

Типорозмір муфти вибирається згідно з необхідним моментом роз'єднання. Кокретне значення момента повинно бути в межах діапазону регулювання, що допускається для даного типорозміру. Досвід експлуатації свідчить про корисність наявності певного запасу міцності відносно крутного моменту не менше 20 %. Крутний момент може встановлюватись нижчим за мінімально граничний. Проте, в цьому випадку зменшується точність встановленого момента роз'єднання. Не рекомендується встановлювати момент, менший за 1/3 від максимального значення.

Оскільки поверхні, що витримують фрикційні навантаження, мають спеціальну обробку, практично відсутнє їх зношення під час роз'єднання. Крім того, щоб запобігти зіткненню поверхонь тертя після роз'єднання між деталями, що обертаються одна відносно іншої, встановлені антифрикційні підшипники. Поверхні тертя, так само, як і підшипники, заповнюються спеціальним маслом, що здатне утримувати постійний коефіцієнт тертя, і відповідно, точний незмінний момент роз'єднання. В нормальних умовах роботи підшипники залишаються нерухомими і працюють лише на протязі періоду роз'єднання, що таким чином, забезпечує збереження їх працездатності протягом тривалого періоду. Робота муфти як в робочих умовах, так і умовах роз'єднання характеризується незначним виділенням тепла та надзвичайно малими втратами масла. Завдяки цьому експлуатація муфти Safeset не вимагає жодного технічного обслуговування, окрім заміни масла. Зазвичай діапазон температур, для яких проєктується муфта, складає від -20 до +60 °С. Разом із тим при використанні відповідних матеріалів можлива робота в погодних умовах, що виходять за межі наведеного діапазона.

Таким чином, переваги конструкції полягають в:

- можливості регулювати в широкому діапазоні момент роз'єднання;
- збереженні незмінного момента роз'єднання протягом великої кількості спрацювань завдяки відсутності впливу втоми металу та мінімальне зношення поверхонь тертя;
- високій точності встановлення момента роз'єднання;
- здатності передавати потужність без холостого ходу;
- компактності конструкції та її малій вазі;
- незначному моменті інерції;
- мінімальних потребах у обслуговуванні;
- здатності швидко відновити працездатність трансмісії після роз'єднання внаслідок досягнення граничного крутного моменту.

На поточний час тисячі муфт SafeSet встановлені як на нових, так і на модернізованих високошвидкісних потягах провідних світових виробників, гарантуючи безпечну роботу та мінімальні втрати в процесі їх експлуатації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. У. Коперник, В. Иванов, А. Осколков Опыт эксплуатации гидропередат VOITH в подвижном составе стран СНГ и Балтии//Вагонный парк. – 2010. – № 4. – С. 56–59.
2. В. Иванов, В. Косенко, Ю. Приданников Особенности конструкции автоматических сцепок Scharfenberg // Збірник наукових праць ДЕУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2012. – Вип. 21. – С. 52–56.

*Vadim B. Ivanov, PhD (Technical Sciences)*

*(Associate Professor of Management Chair, National Transport University)*

*Vitali I. Kosenko, PhD (Technical Sciences)*

*(Associate Professor of Teoretical and Appied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

**APPLICATIONS OF TORQUE LIMITING COUPLINGS FOR DRIVE LINE  
SAVING OF HIGH SPEED TRAINS**

*High speed rail links have intensive development in the worldwide. Since the beginning of Hyundai Rotem and Kryukov's railcar plants trains operation, high speed Passenger Transportation had developed in Ukraine. In this regard, increased demands to transportation safety, including reduction of damage risks in drive line. Such damages are connected with overloads and limiting torque values, caused of electric short circuit in the motor and bearings damages. To avoid the secondary damages in drive line, in particular damage of cardan shafts and gear-boxes, that could have disastrous consequences, allows installation of torque limiting coupling SafeSet by Voith Turbo. SafeSet distinctive features are extremely low rate of friction surfaces wear and practically no effect on the fatigue performance of the device.*

*Keywords: torque limiting coupling, drive line, high speed train, transportation safety, friction surfaces wear, fatigue, torque release, oil pressure.*

**REFERENCES**

1. *U. Kopernik, V.Ivanov, A. Oskolkov – VOITH hydro transmission application experience in rolling- stock of CIS and Baltic countries// The rolling-stock . – 2010. – № 4. – P. 56–59.*

*V.Ivanov, V.Kosenko, Y. Pridannikov Design features of the Scharfenberg automatic couplers // Collection of scientific papers DETUT. «Transport systems and technologies» serie. – 2012, publ.21, P. 52-56.*

УДК 625.143:620.192

**В. О. Катерещук** (аспірант, начальник відділу забезпечення господарської діяльності,  
Державне підприємство матеріально-технічного забезпечення залізничного транспорту України «Укрзалізничпостач», м. Київ)

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕФЕКТНОСТИ РЕЛЬС НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ МИРА

*У статті виконано аналіз дефектності рейок залізничної колії на залізницях світу, запропоновано напрям подальших досліджень. Об'єкт дослідження – дефектність рейок залізничної колії. Мета роботи – провести аналіз дефектності рейок залізничної колії, встановити основні види дефектів та запропонувати напрям досліджень для їх подальшого дослідження. Метод дослідження – аналіз статистичних даних залізниць світу.*

*Ключові слова:* рейка, дефект, залізниця, контактнo-втомлювальне пошкодження, аналіз.

*В статье выполнен анализ дефектности рельсов железнодорожного пути на железных дорогах мира, предложено направление последующих исследований. Объект исследования – дефектность рельсов железнодорожного пути. Цель работы – провести анализ дефектности рельс железнодорожного пути, установить основные виды дефектов и предложить направление их последующих исследований. Метод исследования – анализ статистических данных железных дорог мира.*

*Ключевые слова:* рельс, дефект, железная дорога, контактнo-усталостное повреждение, анализ.

Образование дефектов в рельсах железнодорожного пути представляет собой серьезную проблему, как из-за ухудшения экономических показателей, так и из-за опасности создания аварийных ситуаций.

Современные условия работы железнодорожного транспорта характеризуются повышением силовых воздействий на элементы подвижного состава и железнодорожного пути, что связано с повышением скоростей движения, грузоподъемности подвижного состава и т.д. Увеличение динамических силовых воздействий приводит к ускорению образования дефектов.

Рассматривая срок службы рельсов железнодорожного пути, следует отметить, что он может определяться по двум критериям: наработка рейкой нормативного тоннажа и наличие в рельсе дефектов, требующих немедленной замены.

Как показывает опыт эксплуатации железнодорожного пути, большинство рельсов не набирают нормативного тоннажа, и выходят из строя по второму критерию. Следует отметить, что замена рельса в пути связана со значительными

© Катерещук В. О., 2015

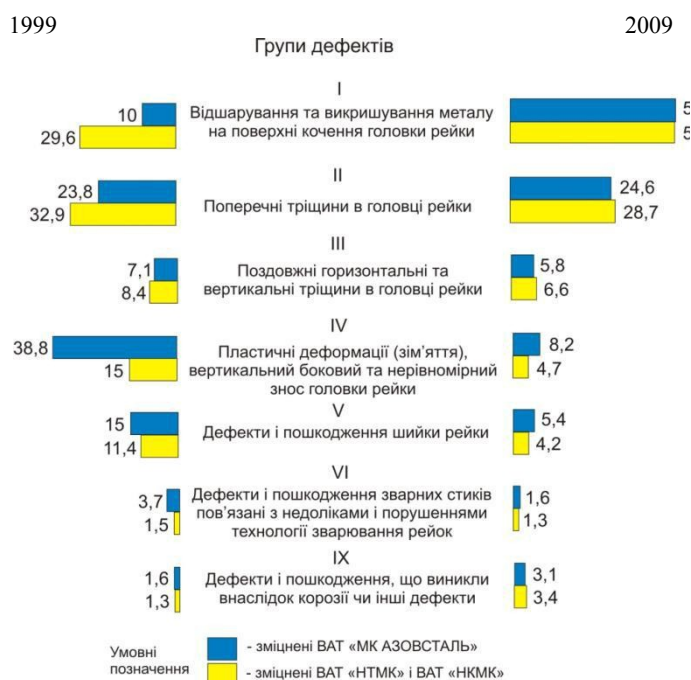
сложностями, поскольку в этом случае необходимо на длительное время перекрыть движение поездов, а это в свою очередь приводит к значительным экономическим потерям. Для выработки стратегии борьбы с ними необходимо в первую очередь проанализировать характер распределения всех дефектов по группам и обнаружить те из них, которые имеют наибольшее распространение в эксплуатационных условиях.

Под дефектом понимают повреждения, возникшие в результате нарушения условий эксплуатации, либо при изготовлении рельсов, либо вследствие естественного процесса усталости материала.

Все дефекты рельсов железнодорожного пути классифицируются в зависимости от причин их появления и внешних признаков. В мире не существует единой классификации дефектов, значительно усложняет взаимодействие между железными дорогами разных стран в плане статистической обработки полученных данных и выработки единой стратегии борьбы с дефектами.

В Украине все дефекты и повреждения в соответствии с [1] закодированы трехзначным числом. Структура кодового обозначения такова: первая цифра кода определяет вид дефекта и место его появления; вторая цифра определяет разновидность дефекта с учетом основной причины его зарождения и развития; третья цифра определяет размещение дефекта по длине рельса.

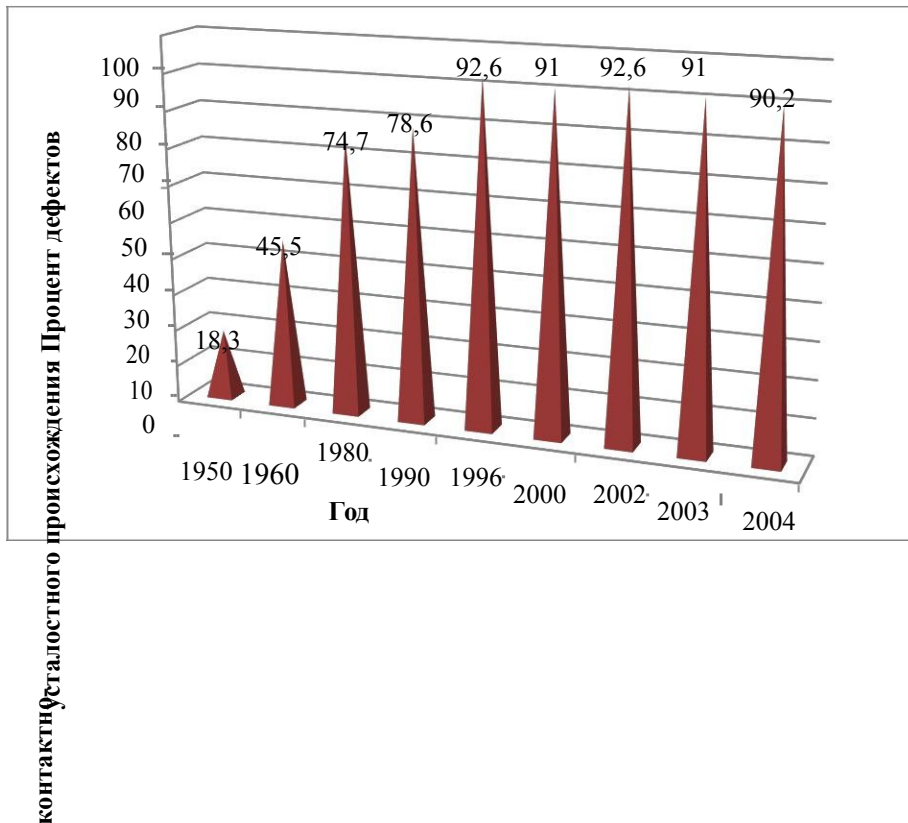
По данным [2] на украинских магистралях (рис. 1) более 80% отказов рельсов приходится на дефекты связанные с контактно-усталостными повреждениями и износом (дефекты I-IV групп). Причем суммарное их количество в 2009 году, по сравнению с 1999 г., не уменьшилось.



**Рис. 1. Распределение отказов рельсов по дефектам на Украинских железных дорогах [2] в 1999 и 2009 гг.**

При этом, как видно из распределения, количество тех или иных видов дефектов сильно зависит от производителя рельсов, что можно объяснить в первую очередь различиями в качестве изготовленной на предприятиях стали.

По данным [3] на Российских железных дорогах судьба отказов сырых и закаленных рельсов Р65 по контактно-усталостным повреждениям и износу головки в сумме примерно одинакова и за последние десять лет превышает 90% общего количества (рис. 2) отказов по всем видам дефектов. После 1995 года число отказов рельсов с контактно-усталостными повреждениями начала расти, а по износу уменьшаться, хотя суммарное количество отказов по этим видам повреждений существенно не изменилась.



**Рис. 2. Выход рельсов по контактно-усталостным повреждениям на Российских железных дорогах**

Анализ статистики образования дефектов на Юго-Западной железной дороге в 2010-2012 годах показал, что количество дефектов I-IV групп не уменьшается. Но при этом замечено тенденцию, что в 2012 году увеличилось количество дефектов второй группы, представляющие собой очень значительную опасность, поскольку эти дефекты можно выявить только с помощью специального дефектоскопического оборудования, возможности которого весьма ограничены.

Анализ данных [4] дефектности рельсов на других железных дорогах мира (таблица 1) показал, что причины и характер повреждений рельсов на дорогах с преимущественным пассажирским движением (SNCF, HSPC, NS, DB, EJR) отличается от тех, что образуются на дорогах с грузовым (Spoornet, NH1, NH2) и смешанным движением (Branverket).

Следует отметить, что анализ представленных данных осложняет тот факт, что классификация дефектов в разных странах регламентируется своими нормативными документами.

Из полученных данных видно, что каждая из железных дорог имеет свои собственные проблемы, однако есть и много общих проблем. Так большой пробле-

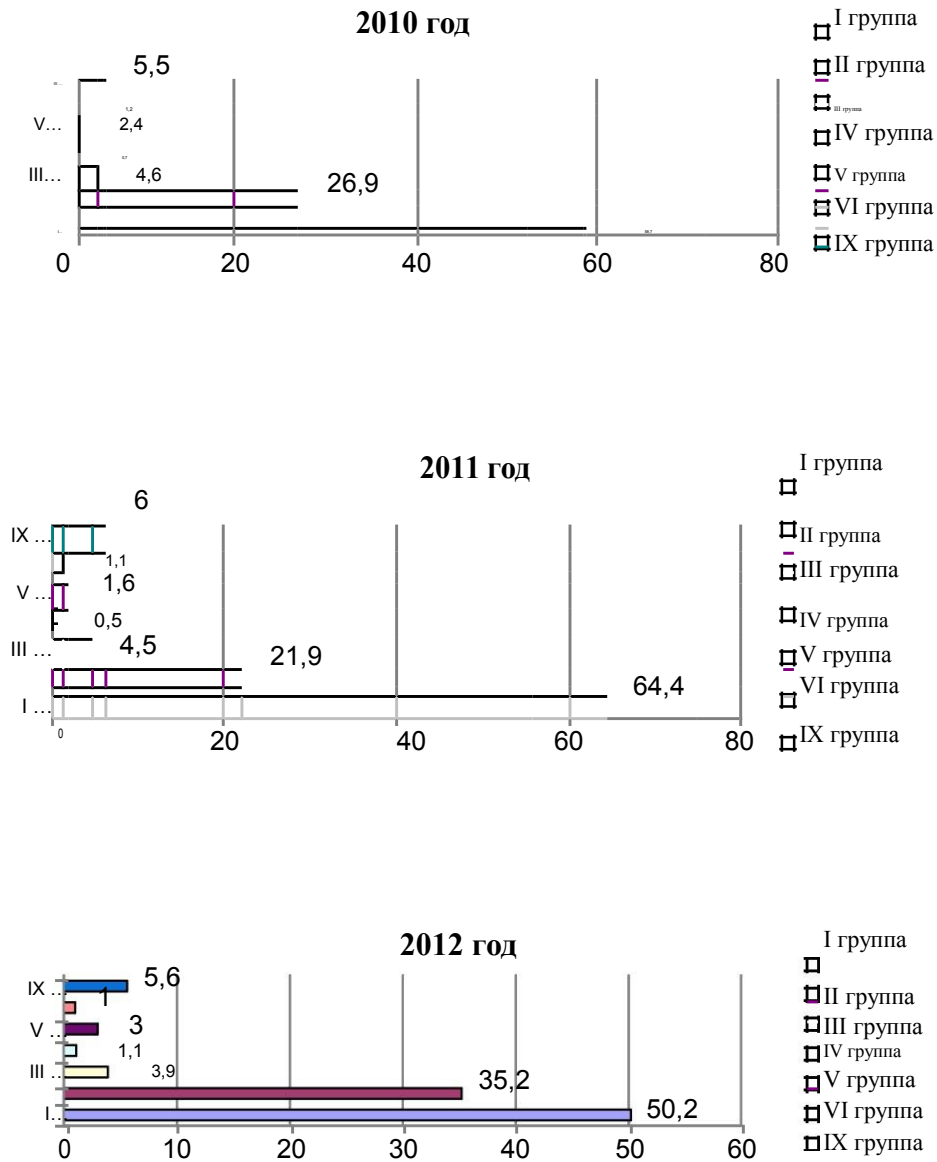
мой почти для всех железных дорог являются дефекты в сварных стыках. Это связано со сложностью выявления поперечных трещин в сварных стыках. В трех странах на железных дорогах с преимущественным пассажирским движением главной проблемой является повреждение, связанные с усталостью материала

---

*Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2015. Вип. 26-27*

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

(отслоение и выкрашивание). Это указывает на рост количества дефектов контактно-усталостного повреждения на железных дорогах со скоростным движением.



**Рис. 3. Статистика образования дефектов по группам, которые были выявлены на Юго-Западной железной дороге в 2010-2012 гг.**

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

*Таблиця 1. Основные виды дефектов на железных дорогах мира*

| Railway                          | Четыре основных вида дефектов железнодорожных рельс |  |  |   |
|----------------------------------|---|--|--|---|
|                                  | Первый  | Второй   | Третий   | Четвертый   |
| Railtrack (Англия) (99/00)       | Выкрашивание на головке рельса 21.7%                | Вертикальные/поперечные трещины 20.1%                      | Горизонтальные/продольные трещины 12.5%                                      | Трещины в болтовых отверстиях 9.6%                      |
| SNCF (Франция) (1999)            | Выкрашивание на головке рельса 23.4%                | Внутренние дефекты усталости 1.5%                          | Отслаивание 8.4%   | Дефекты в сварных швах 4.7%                             |
| HSPC (Северная Америка) (1999)   | Дефекты в сварных швах 31.5%                        | Ожоги колесами 17.2%                                       | Горизонтальное отслаивание головки 13.3%                                     | Трещины в болтовых отверстиях 11.3%                     |
| NS (1997) (Нидерланды)           | Дефекты в изостыках 59.4%                           | Поперечные изломы 18.0%                                    | Дефекты в сварных швах 15.0%   | Отслаивание, выкрашивание на рабочей грани рельса 5.2%  |
| EJR (Япония)                     | Отслаивание, выкрашивание на головке рельса 63.9%   | Трещины в головке 15.8%                                    | Поперечные изломы 6.7%   | Трещины на концах рельсов 6.1%                          |
| DB (1996) (Германия)             | Дефекты в сварных швах 29%                          | Излом рельсы без видимых дефектов Внезапное разрушение 18% | Отказ из-за усталости (выкрашивание на рабочей грани рельса и отслоения) 16% | Дефекты в местах приваривания рельсовых соединителей 4% |
| Banverket* (1998) (Швеция)       | Поперечный излом 55.1%                              | Дефекты в сварных стыках 32.7%                             | Горизонтальные дефекты 6.1%  | Вертикальное расслоение 2.0%                            |
| Spoornet (Recent) (Южная Африка) | Дефекты в сварных швах 59.2%                        | Трат при сварочных работах 17.7%                           | Горизонтальное отслаивание головки/шейки 16.1%                               | Поперечная трещина головки рельса 7.1%                  |
| НН1 (1999) (Северная Америка)    | Вертикальное отслаивание головки 34.7%              | Дефекты в сварных швах 20.3%                               | Частичные изломы 13.1%   | Трещины в болтовых отверстиях 12.2%                     |
| НН2 (1999) (Северная Америка)    | Поперечный излом 23.6%                              | Дефекты в сварных швах 15.5%                               | Ожоги колесами 13.2%   | Отслоение 9.6%  |

На дорогах с преимущественным грузовым движением виды дефектов на разных железных дорогах различаются между собой. Как видно, общими являются проблемы, связанные с поперечными изломами рельсов.

Следовательно, как на отечественных, так и на других железных дорогах мира дефекты контактно-усталостного происхождения представляют собой большую проблему как из-за значительных экономических потерь, связанных с необходимостью выявления этих дефектов с помощью специального оборудования и, в случае необходимости, замены острodefектных рельсов, так и из-за ухудшения безопасности движения поездов.

Для поиска эффективных методов увеличения срока службы рельсов, а также изучения влияния конструктивных особенностей пути на долговечность рельсов, необходимо создать эффективную модель прогнозирования образования дефектов контактно-усталостного повреждения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Даніленко Е.І. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України / За ред. Е.І. Даніленка, А.М. Орловського, Міністерство транспорту України. – 2000. – 148 с.
2. Рудюк А.С. Дефектность рельсов на дорогах Украины / Рудюк А.С., Азаркевич А.А., Восковец Ю.А. и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 28-32.
3. Бугаенко В.М. Отказы рельсов по видам повреждений / В.М. Бугаенко, В.С. Лысюк // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 8. – С. 7 – 11.
4. Sawley K. Rail failure assessment for the office of the rail regulator. An assessment of Rail-track's methods for managing broken and defective rails. P-00-070./ Sawley K., Reiff R. – 2000.

**Vasyl O. Katereschuk**  
*(Head of the Department of Economic Activity, State Enterprise Logistics Railway Transport of Ukraine «Ukrzaliznychpostach»)*

### STATYSTICAL RAIL DEFECTS ANALYSIS ON WORLD RAILWAYS

*Conducting the analysis of the defects of the world railway track rails, the further research directions are proposed in the paper. Object of the study – railway rail defects. Purpose of the study – to analyze the main defects of railway rails, establish the main types of defects and propose direction of the further study. Method of the study – the analysis of the statistics of world railways. The railway crack creation is the problem that hasn't been resolved until recent years. As statistics shows, the main part of defects are the rail crack fatigue defects. Among them the most dangerous are defects of the II group, which can be detected only by using defected equipment. To create effective method for the increasing the service life of the rail and understanding the influence of the different factors on the service life of rails it is necessary to invent a method of forecasting possible creation of the crack fatigue defects.*

*The results of the article can be used as a reasoning for the development of mathematical models in the rail sector of the railways and urban rail transport projects.*

**Keywords:** rail, defect, railway, contact fatigue failure, analyze.

### REFERENCES

1. Danilenko E. Classification and catalog of defects and damage elements of turnouts and rails railways Ukraine / Ed. EI Danilenko, AM Orlovsky, the Ministry of Transport of Ukraine. – 2000. – 148 p.
2. Rudiuk A.S. Defects on the Ukrainian Railways / Rudiuk A.S., Azarkevich A.A., Voskovets U.A. and oth. // Track and track facilities. – 2011. – № 7. – С. 28-32.
3. Bugaenko V.M. Rail failures by types of damage / V.M. Bugaenko , V.S. Lisuk // Track and track facilities. – 2005. – № 8. – С. 7 – 11.
4. Sawley K. Rail failure assessment for the office of the rail regulator. An assessment of Rail-track's methods for managing broken and defective rails. P-00-070./ Sawley K., Reiff R. – 2000.

УДК 629.463.001.63

*О. В. Фомін, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)  
А. В. Гостра, магістрант  
(студентка кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

### **ВАРІАЦІЙНЕ ОПИСАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ВИКОНАНЬ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

*У роботі представлені особливості та приклад застосування запропонованого методу формалізованих варіаційних описань конструктивних виконань вантажних вагонів у вигляді «І-АБО»-дерев.*

*Як приклад наведено варіаційне описання конструкцій балки хребтової універсальних напіввагонів, що включає існуючі та перспективні їх виконання. Використання запропонованого методу для розроблення варіаційних описань конструктивних виконань вантажних вагонів є доцільним та ефективним, а застосування створених описань при проведенні відповідних процедур проектування і удосконалення конструкцій вантажних вагонів є ефективним засобом генерування інноваційних технічних рішень.*

*Ключові слова:* вантажні вагони, формалізація, варіаційне описання, «І – АБО» – дерева.

*В работе представлены особенности и пример применения предложенного метода формализованных вариационных описаний конструктивных исполнений грузовых вагонов в виде «И-ИЛИ-деревьев».*

*Как пример приводится вариационное описание конструкций балки хребтовой универсальных полувагонов, включающий существующие и перспективные их выполнения. Использование предложенного метода для разработки вариационных описаний конструктивных исполнений грузовых вагонов является целесообразным и эффективным, а применение созданных описаний при проведении соответствующих процедур проектирования и совершенствование конструкций грузовых вагонов является эффективным средством генерирования инновационных технических решений.*

*Ключевые слова:* грузовые вагоны, формализация, вариационное описание, «И – ИЛИ» – дерева.

**Постановка проблеми.** На нинішній час за даними Головного інформаційного обчислювального центру Укрзалізниці парк універсальних та спеціалізованих вантажних вагонів України в своїй переважній більшості складається із зразків,

© Фомін О. В., Гостра А. В., 2015

які експлуатуються на грані призначеного терміну служби та моделей спроектованих за технологіями минулого сторіччя. З урахуванням зазначеного у відповідних вітчизняних наукових та виробничих транспортних організаціях активізуються науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, які спрямовані на створення конкурентоспроможних моделей вантажних вагонів з інноваційним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників. Необхідність розроблення інноваційних вантажних вагонів та основні вимоги до їх конструкції визначені в протоколі засідання Технічної ради Укрзалізниці від 30.09.2015 року. При цьому на сьогоднішній день процес розроблення нової моделі вантажного вагону є аналогоорієнтовним та вимагає значних капіталовкладень та годиновитрат [1]. І в результаті успішного розроблення нової моделі вагонів такий технічний проект є достатньо індивідуальним та не надає можливості перекриття постійно зростаючих потреб учасників їх життєвого циклу [2]. А модернізація чи розробка модифікацій вантажних вагонів конкретної моделі вимагає проведення додаткових процедур [1]: переробки та узгодження проектно-ї та технологічної документації, випробувань та сертифікації, зміни / підстроювання, а частіше переоснащення виробничої бази, що пов'язано з масштабними додатковими капіталовкладеннями та витратами робочого часу. Проте існуючі реалії транспортного ринку вимагають від вагонобудівників та організацій, пов'язаних із використанням вагонів, оперативного реагування на постійно змінювані вимоги замовників нових вагонів чи транспортних послуг. Така ситуація обумовлює доцільність створення проектів вантажних вагонів з можливістю оперативної їх адаптації під особливі умови замовника [1], що вимагає удосконалення методологічних основ проектування вантажних вагонів. Науковою основою створення технічного проекту вантажного вагона з найбільш широким спектром можливих конструктивних виконань може слугувати формалізоване варіаційне їх описання, як інтегроване відображення варіантів виконань його системних складових. Це забезпечить можливість оперативного комбінування, формування нових чи редагування існуючих їх конструктивно-функціональних схем. Що стане методологічною основою технічного проекту прийнятого для впровадження вантажного вагону з можливостями оперативної адаптації його до індивідуальних вимог замовника (наприклад ситуативних особливостей ринку металовиробів, виробничих та експлуатаційних умов вагоновиробників, ін.) і відповідно дозволить істотно скоротити ресурсовитрати, та більш широко застосовувати сучасні машинні методи досліджень і проектування транспортних конструкцій. Однак, результати аналізу [2-4] численних наукових та довідкових джерел, пов'язаних з досліджуваними питаннями вказали на відсутність інформації з вирішення такого важливого та актуального науково-практичного завдання.

**Метою статті** є представлення особливостей та прикладу застосування запропонованого методу формалізованих варіаційних описань конструктивних виконань вантажних вагонів у вигляді «І-АБО» – дерев.

Запропонований метод базується на принципах [1]: блочності, ієрархічності та варіантності. Принцип ієрархічності передбачає структурування опису конструкції вантажного вагона за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів, принцип декомпозиції, забезпечує розділення відповідних описів на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків (конструктивних модулів) з можливостями їхнього роздільного проектування та дослідження; принцип

варіантності обумовлює розроблення фонду варіантів конструктивних виконань, відповідно з прийнятими до уваги напрямками проектування (конструктивно-орієнтований, технологічно-орієнтований, ресурсно-орієнтований [3]) вантажних вагонів, з виділенням існуючих та перспективних технічних рішень виконання їх складових. Вищезазначені принципи в повній мірі віддзеркалюються у варіаційній блочно-ієрархічній моделі вантажного вагона яка найбільш інформативно відображається у вигляді «І-АБО» – дерева [5], та є виділенням функціональних [6, 7] елементів вантажних вагонів, їх конструктивних ознак. Зазначена модель представляє собою наочний, зручний засіб компактного представлення та зберігання інформації про великий фонд існуючих а також патентоспроможних виконань конструктивних складових вантажних вагонів. В окремих випадках може бути представлена у вигляді відповідної морфологічної таблиці [5].

Для описання конструкції одного вантажного вагона зручно використовувати відповідне «І» – дерево [1, 5]. Воно є сукупністю вершин (темні кола) і ребер, що їх пов'язують. Описання конструкції поділене на яруси (ієрархічні рівні), а вершини на кожному ярусі відображають відповідні складові вантажного вагона, що розглядається. Єдина вершина нульового ярусу називається кореневою – це сам проєктований вантажний вагон. Вона з'єднується ребрами з вершинами першого ярусу, кожна з яких з'єднується з вершинами другого ярусу (відповідними складовими). Нарешті вершини n-го ярусу – листя, відповідають базовим елементам (далі не діляться на складові). Для групування інформації про декілька конструкцій вантажних вагонів та їх складових в одному описанні доцільно використовувати «І-АБО»-дерева. На відзнаку від «І»-дерева в «І-АБО»-дереві кожний сусідній ярус складається з різнотипних вершин – вершин «АБО» (світлі кола) чи вершин «І» (темні кола). Використання вершин «АБО» в описанні вантажних вагонів дозволяє урахувати можливі альтернативні проєктні і конструктивні рішення їх складових. У «І-АБО»-дереві конструкцій вантажних вагонів доцільно виділяти: модулі, складові модулів, вузли, базові елементи та їх конструктивні особливості та ознаки. Глибина формування «І-АБО» – дерева визначається відповідним завданням.

Побудова загального «І-АБО»-дерева вантажних вагонів виконується у наступному порядку: множину обраних конструктивних виконань вантажних вагонів, для яких побудовані блочно-ієрархічні моделі («І»-дерева), розбивають на декілька груп, кожна з яких складається з найбільш близьких по побудові та функціям елементів; для кожної групи беруть окремі елементи, які відносяться до першого ієрархічного рівня, та будують для них свої «І-АБО»-дерева, де «І» – вершини (відображаються закрашеними колами на схемі) об'єднують обов'язкові елементи та конструктивні ознаки, а «АБО» – вершини (відображаються колами) – альтернативні елементи та ознаки. При цьому елементи та ознаки, що повторюються на «І-АБО»-дереві вказуються тільки один раз. «І-АБО» – дерева, побудовані для окремих складових вантажних вагонів, об'єднують в одне загальне «І-АБО» – дерево.

У загальному випадку при розробці «І-АБО» – дерева будь-якого вантажного вагона необхідно дослідити його проєкт, виділити основні функціональні елементи та їх істотні конструктивні ознаки і особливості. При цьому доцільно виділяти наступні конструктивні ознаки та особливості:

1. Конфігурації форми (позначається на схемі літерами – Ф) профілів / виконань, які можливо доповнювати зазначенням характеристик (моменти опору, маса, деталі / вузла та ін.).

2. Конструктивні матеріали (позначається на схемі літерами – КМ), в тому числі сталі які можливо використовувати з зазначенням їх характеристик (границя текучості, границя витривалості, корозійна стійкість та ін.)

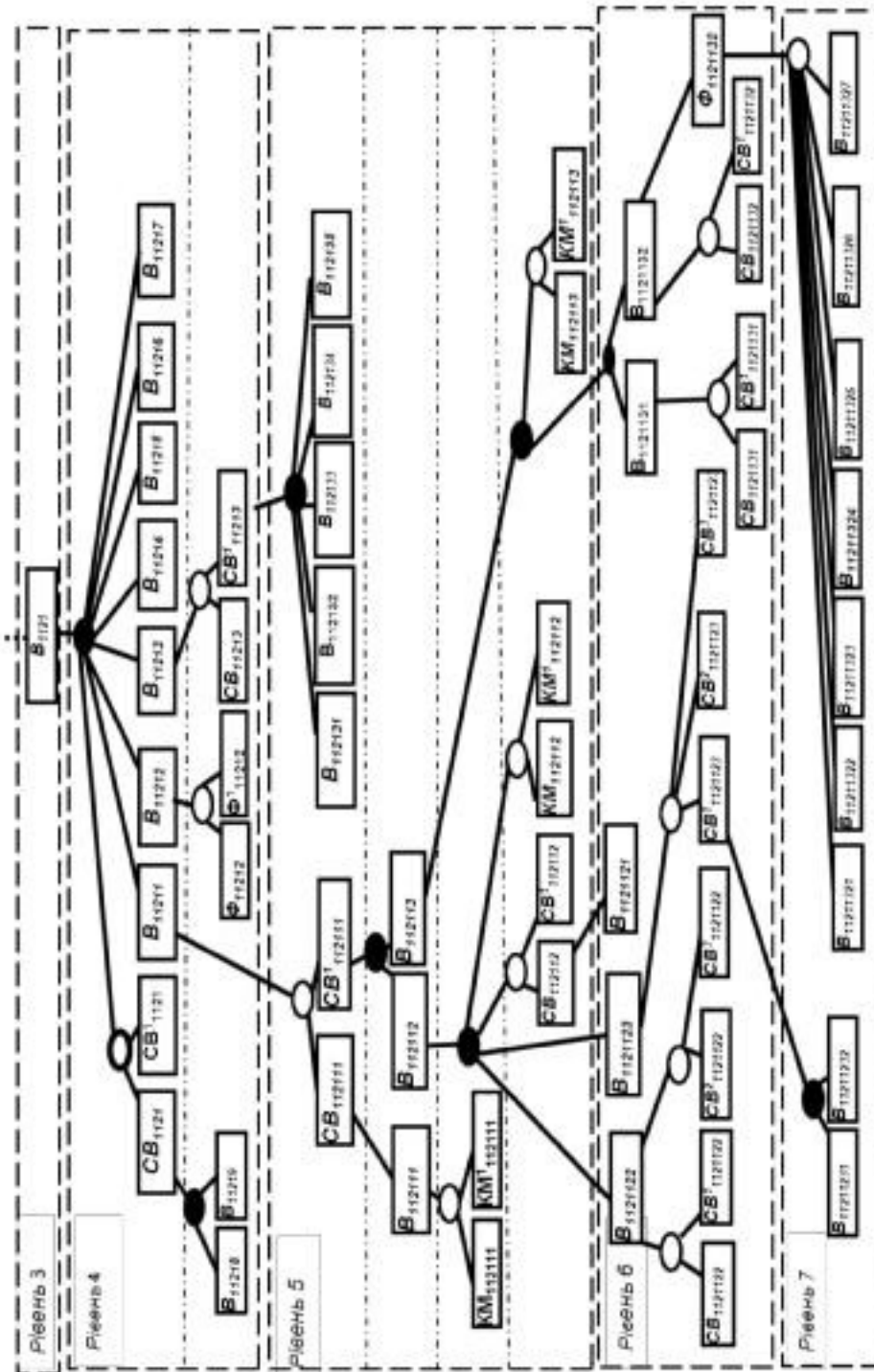
3. Спосіб виконання (позначається на схемі літерами – СВ), серед яких можна виділити: зварювальне з'єднання; болтове з'єднання; складально-зварювальне з'єднання; лиття; суцільний по довженні елемент; стиковий; суцільний по перерізу прокат; штамповка.

Після розроблення загального «І-АБО»- дерева необхідно проконтролювати його правильність його вбудови. При цьому слід керуватися тим, що «І-АБО» – дерево повинно забезпечувати зберігання всіх відомих технічних рішень відповідного типу вантажних вагонів. При такому контролі беруть будь яку модель відповідного типу вантажного вагона у вигляді «І» – дерева та визначають, чи можливо його отримати із загального «І-АБО»-дерева шляхом виключення «АБО»-вершин.

Реалізація запропонованого методу варіаційних описань конструктивних виконань вантажних вагонів нижче представлена на прикладі відповідного «І-АБО» – дерева (рис. 1) розробленого для хребтової балки універсальних напіввагонів на основі даних [1, 8-10]. Зазначений вибір несучого елемента пояснюється виключною несучою важливістю балки хребтової у загальній конструкції напіввагону. Позначені на рис.1 елементи «І-АБО» – дерева розшифровані в таблиці 1.

З рис. 1 видно, що на третьому рівні загального «І-АБО» – дерева конструктивних виконань універсальних напіввагонів виділяється вузловий елемент – балка хребтова (В<sub>1121</sub>). Яка на рівні 4 розділена на «АБО» – гілку по способу виконань (СВ<sub>1121</sub>, СВ<sup>1</sup><sub>1121</sub>), при цьому у випадку заклепкового з'єднання СВ<sub>1121</sub> в конструкцію включаються заклепки В<sub>11218</sub> та В<sub>11219</sub>. У сусідній гілці виділено наступні елементи (В<sub>11211</sub> балка, В<sub>11212</sub> діафрагма, В<sub>11213</sub> надп'ятник, В<sub>11214</sub> планка, В<sub>11215</sub> упор передній, В<sub>11216</sub> упор задній, В<sub>11217</sub> планка від стирання).

Елементи діафрагми В<sub>11212</sub>, можуть виконуватись різних форм, що зазначаються через Ф<sub>11212</sub> та Ф<sup>1</sup><sub>11212</sub>. До того ж надп'ятник (В<sub>11213</sub>) буває литого виконання (СВ<sub>11213</sub>) та складально-зварювального (СВ<sup>1</sup><sub>11213</sub>), що сформовано елементами В<sub>112131</sub>, В<sub>112132</sub>, В<sub>112133</sub>, В<sub>112134</sub>, В<sub>112135</sub>. (див. табл.1). Рівень 5 запропонованого описання представлено складовими елементами об'єктів четвертого рівня. Так виділено куц «АБО», який представляє варіанти виконань перерізу балки хребтової, а саме : перспективний суцільний по перерізу прокат (СВ<sub>11211</sub>), який зображено на рис. 2в. та існуючий складально-зварювальний варіант (СВ<sup>1</sup><sub>11211</sub>) – зображено на рис. 2а. До того ж в процесі формування представленого «І-АБО» – дерева було виділено патентоспроможне виконання перерізу балки хребтової із нарізаних листів рис. 2б. До того ж передбачено можливість виконання, суцільної по перерізу балки хребтової (В<sub>112111</sub>) із різних марок сталі (КМ<sub>112111</sub>, КМ<sup>1</sup><sub>112111</sub>) Складально-зварювальний варіант (СВ<sup>1</sup><sub>11211</sub>) передбачає виділення балки верхньої (В<sub>112112</sub>) та балки нижньої (В<sub>112113</sub>), що зображено на рис. 2а, а також на рис.3. При цьому передбачається можливість їх виконань із різних видів сталей (КМ<sub>112112</sub>, КМ<sup>1</sup><sub>112112</sub>, КМ<sub>112113</sub>, КМ<sup>1</sup><sub>112113</sub>).



## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

*Таблиця 1. Складові елементи «І-АБО» – дерево конструктивних виконань балки хребтової універсальних напіввагонів*

| <i>№ з/п</i> | <i>Позначення на схемі</i> | <i>Назва елемента</i>                |
|--------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 1            | V1121                      | Балка хребтова                       |
| 2            | CV1121                     | Заклепочне з'єднання                 |
| 3            | V11218                     | Заклепка 16*45                       |
| 4            | V11219                     | Заклепка 22*60                       |
| 5            | CV1121                     | Зварювальне з'єднання                |
| 6            | V11211                     | Балка                                |
| 7            | V11212                     | Діафрагма                            |
| 8            | F11212                     | З отвором                            |
| 9            | F11212                     | Без отвору                           |
| 10           | V11213                     | Надп'ятник                           |
| 11           | CV11213                    | Лиття                                |
| 12           | CV11213                    | Складально-зварювальний              |
| 13           | V112131                    | Основа                               |
| 14           | V112132                    | Діафрагма                            |
| 15           | V112133                    | Ребро поперечне                      |
| 16           | V112134                    | Ребро підсилююче                     |
| 17           | V112135                    | Ребро горизонтальне                  |
| 18           | V11214                     | Планка                               |
| 19           | V11215                     | Упор передній                        |
| 20           | V11216                     | Упор задній                          |
| 21           | V11217                     | Планка від стирання                  |
| 22           | CV112111                   | Суцільний по перерізу прокат         |
| 23           | CV112111                   | Складально-зварювальний              |
| 24           | V112111                    | Суцільна прокатна балка              |
| 25           | KM112111                   | Сталь 09Г2С, 09Г2Д, 295 кл. міцності |
| 26           | KM112111                   | Сталь 10ХНДП – 345                   |
| 27           | V112112                    | Балка верхня                         |
| 28           | KM112112                   | Сталь 09Г2С, 09Г2Д – 295             |
| 29           | KM112112                   | Сталь 10ХНДП 345кл.міцності          |
| 30           | V112113                    | Балка нижня                          |
| 32           | KM112113                   | Сталь 09Г2С, 09Г2Д – 295             |
| 32           | KM112113                   | Сталь 10ХНДП – 345                   |
| 33           | CV112112                   | З'єднання заклепками                 |
| 24           | CV112112                   | Зварювальне з'єднання                |
| 35           | V1121121                   | Заклепка 16*60.02                    |
| 36           | V1121122                   | Двогавр                              |
| 37           | CV1121122                  | Суцільний по довжині                 |
| 38           | CV1121122                  | Стиковий по довжині                  |
| 39           | CV21121122                 | Суцільно-прокатний                   |
| 40           | CV31121122                 | Складально-зварювальний              |
| 41           | V1121123                   | Державка                             |
| 42           | CV1121123                  | Складально-зварювальний              |
| 43           | CV1121123                  | Лиття                                |
| 44           | CV21121123                 | Штамповка                            |
| 45           | V11211231                  | Петля                                |
| 46           | V11211232                  | Ребро                                |
| 47           | V1121131                   | Петля                                |
| 48           | CV1121131                  | Лиття                                |
| 49           | CV11211232                 | Складально-зварювальний              |
| 50           | V1121132                   | Балка                                |
| 51           | CV11211232                 | Суцільний по довжині                 |
| 52           | CV11211232                 | Стиковий по довжині                  |
| 53           | F1121132                   | Форма                                |
| 54           | V11211321                  | 2 Z – подібних профілі               |
| 55           | V11211322                  | Суцільний омега подібний профіль     |
| 56           | V11211323                  | 2 швелери і накладки                 |
| 57           | V11211324                  | Прямокутна труба                     |
| 58           | V11211325                  | Шестигранний порожнистий профіль     |
| 59           | V11211326                  | D – подібна труба                    |
| 60           | V11211327                  | Кругла труба                         |

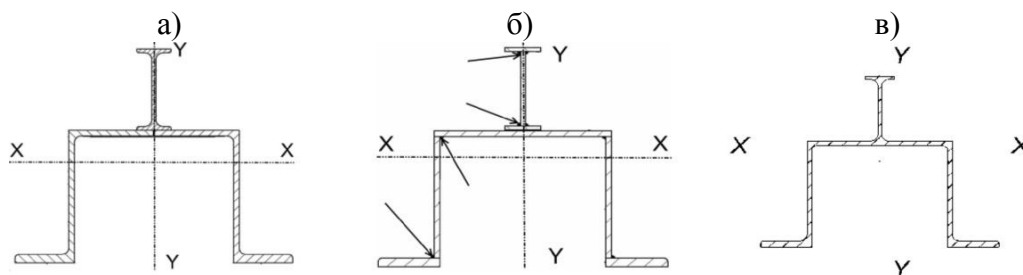


Рис. 2. Існуючі та перспективні варіанти перерізів балки хребтової універсального напіввагона

**а) існуюче виконання балки хребтової з балки верхньої  $V_{112112}$  та балки нижньої  $V_{112113}$ ; б) перспективне, визначене в процесі створення «І-АБО»-дерева виконання; в) суцільне по перерізу ( $СВ_{112111}$ ) виконання**

Також на рівні 5 виділяється можливість виконань балки верхньої з заклепковим з'єднанням ( $СВ_{112112}$ ) державок кришок люків та зварювальним ( $СВ^1_{112112}$ ) (рис.3)). Відповідно заклепки ( $V_{1121121}$ ) виділені для заклепкового з'єднання ( $СВ_{112112}$ ) на рівні 6. Також на рівні 6 знаходяться наступні складові для балки верхньої: двотавр ( $V_{1121122}$ ) та державка ( $V_{1121123}$ ). Двотавр в свою чергу пропонується виконувати у варіантах 36-40 з таблиці 1, а державку варіантами 42-44. У випадку виконання державки ( $СВ^1_{1121123}$ ) на рівні 6 передбачено елементи  $V_{1121131}$ , та  $V_{1121132}$ .

На рівні 6 балка нижня ( $V_{112113}$ ) включає петлю ( $V_{1121131}$ ), яка буває у виконаннях 48-49 табл. 1, та балку ( $V_{1121132}$ ) яка може виконуватись у виконаннях 51 та 52, та різної конфігурації  $\Phi_{1121132}$ . У якості існуючих та перспективних конфігурацій балки нижньої виділено елементи  $V_{11211321} - V_{11211327}$  (див. табл. 1) які знаходяться на заключному рівні 7 «І-АБО» – дерева. Для перевірки працездатності розробленого «І-АБО» – дерева його використано для відображення типової сучасної конструкції балки хребтової напіввагонів у вигляді «І»-дерева (рис. 3) з зазначенням основних елементів (рис.4) та їх конструктивних, функціональних ознак, що зазначено у таблиці 2.. Аналіз представленого описання існуючої конструкції балки хребтової засвідчило працездатність розробленого варіаційного описання та можливість подальшого його використання.

Одним із перспективних напрямів вирішення проблеми з підвищення ефективності використання вантажних вагонів за рахунок удосконалення їх конструкцій є впровадження у елементи їх несучих систем профілів, які будуть забезпечувати зниження загальної матеріалоемності їх конструкцій при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності. Результати аналізу перспективних для вагонобудування профілів [1], а також досвіду інших галузей машинобудування вказали на доцільність впровадження труб круглого перерізу в якості несучих складових вагонів. На основі розробленого та представленого у даній роботі «І-АБО» – дерева конструкцій напіввагонів було створено «І» – дерево хребтової балки напіввагону із круглих труб, на основі чого побудована у комп'ютерній середі та запатентована їх несуча конструкція (рис.5).

Таке виконання несучої системи напіввагонів [10] дозволяє знизити їх матеріалоемність на 1,2 т, що з урахуванням масовості їх парку дозволить досягти суттєвого економічного ефекту. Теоретична перевірка працездатності розробленої конструкції із круглих труб засвідчила ефективність та працездатність прийнятих технічних рішень.

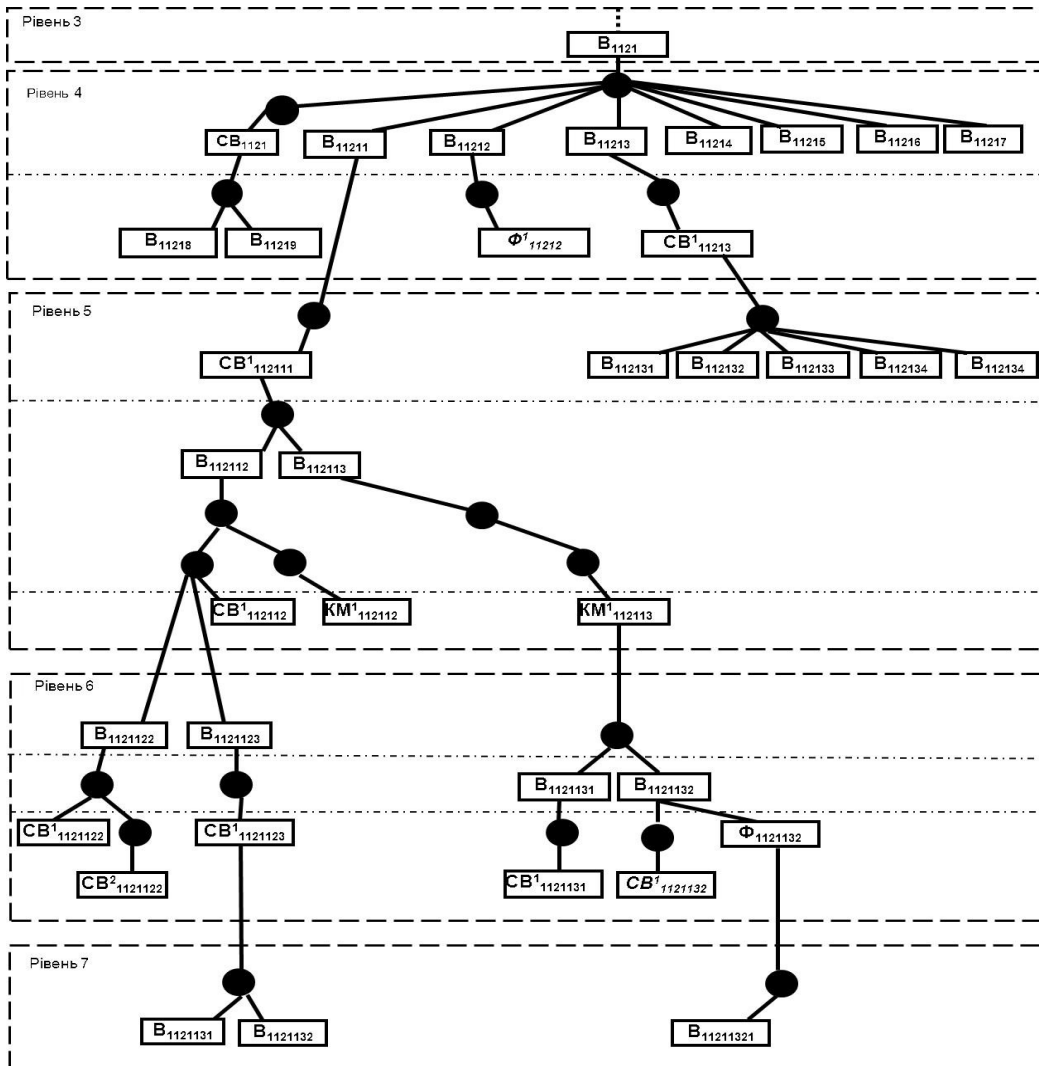
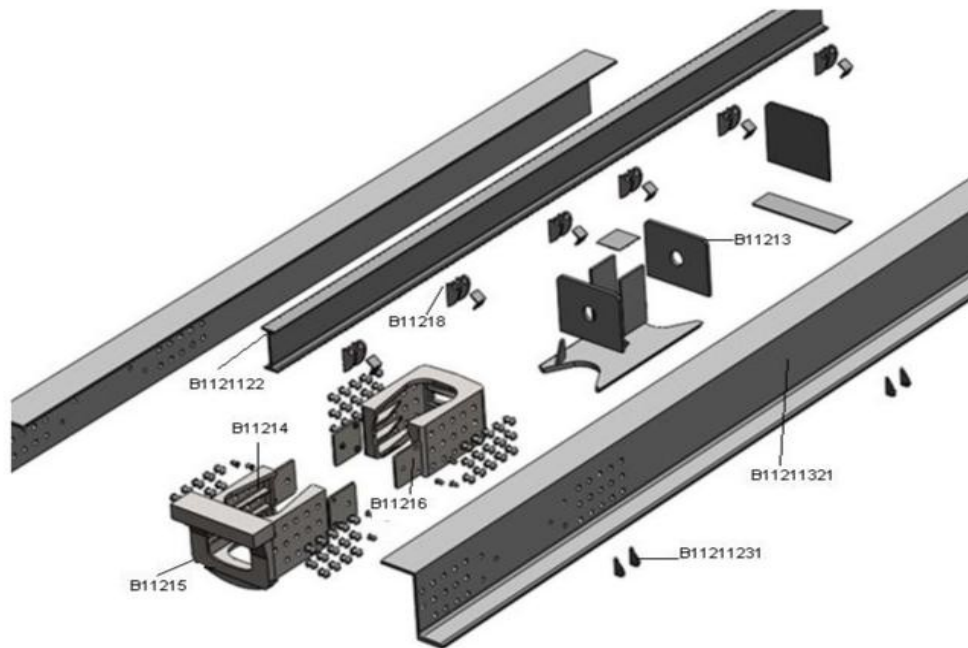
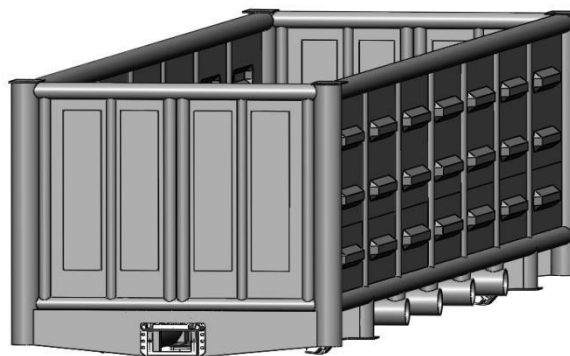


Рис.3. Конструктивне «І» – дерево складкових елементів балки хребтової універсальних напіввагонів типової сучасної конструкції



*Рис.4. Фрагмент балки хребтової універсальних напіввагонів типової сучасної конструкції з рознесеними у просторі елементам*



*Рис. 5. Несуча конструкція хребтової балки напіввагона із круглих труб*

**Висновки та рекомендації щодо подальшого використання.** Результати перевірки працездатності запропонованого методу варіаційних описань конструктивних виконань вантажних вагонів засвідчили його ефективність та доцільність застосування у відповідних предпроектних та проектних процедурах. Так розроблене та представлене у роботі варіаційне описання балки хребтової універсального напіввагону у вигляді «І-АБО»- дерева дозволило згенерувати нові патентоспроможні технічні рішення, впровадження яких дозволить значно поліпшити їх техніко-економічні та експлуатаційні показники.

Розроблене варіаційне описання може бути використане для проведення морфологічного аналізу, тобто за допомогою методів комбінаторики генерувати можливі варіанти вантажних вагонів з втіленою головною функцією (конструктивно-орієнтованою, технологічно-орієнтованою чи ресурсно-орієнтованою).

Запропонований метод надає достатні можливості для автоматизації процесів параметричного та функціонального синтезу ескізних та робочих проектів вантажних вагонів. Використання на практиці розроблених варіаційних описань вантажних вагонів та їх складових дозволяє значно розширити можливості проектувальників нових їх конструкцій, модернізації вже існуючих, а також пошуку альтернативних ремонтних рішень. Розширення фондів конструктивних виконань вантажних вагонів є важливою та актуальною задачею.

Додатково при розробленні варіаційних описань у вигляді «І-АБО» – дерев при формуванні складових з виділенням конфігурацій форми можливо зазначити основні масові та міцнісні характеристики виконань, що розширить їх інформативність та можливості застосування.

Розроблений метод можливо використовувати при проектуванні чи модернізаціях рухомого складу залізниць, а також інших засобів транспортного машинобудування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О. В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с.
2. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія/ О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
3. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонобудуванні [Текст]/ О.В. Фомін// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – № 3/7(57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
4. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст]/ О.В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvnngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
5. Половкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с. 1 ил.
6. Кельріх, М.Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст]/ М.Б. Кельріх, В.І.Мороз, О.В. Фомін // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2014. – № 2(210). – С. 94-103.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
8. Лукин, В.В. Конструирование и расчет вагонов [Текст]/ учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.В.Лукин, Л.А.Шадур, В.Н.Котуранов, А.А.Хохлов, П.С.Анисимов.; под общ. ред. В.В.Лукина. – М.: УМК МПС России, 2000. 731 с.
9. Грузовые вагоны: Учеб. пособие : В 2ч. Ч.1: Полувагоны и крытые вагоны/ М.И. Харитонов, В.Н. Панкин. – Хабаровск: Изд – во ДВГУПС, 2004.
10. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст]/ О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.

*O. V. Fomin, PhD (Technical Sciences)*

*(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)*

*A. V. Hostra*

*(Student for Master Degree of the Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)*

**VARIATSIYNE DESCRIPTION CONSTRUCTIVELY VIKONAN VANTAZHNIH VAGONIV**

*The paper presents the characteristics and an example of application of the proposed variational method formalized descriptions of designs of freight wagons in the form of «AND-OR-trees.*

*As an example, the variational description of structures of the spinal beams universal gondola cars, which includes existing and prospective for their implementation. The use of the proposed method for developing variational descriptions of designs of freight cars is feasible and effective, and the use of the created descriptions with the appropriate procedures of design and improving the design of freight wagons is an effective means of generating innovative technical solutions.*

**REFERENCES**

1. Fomin, O. V. (2013). Optymizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvagoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva. Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 251.
2. Fomin O. V. (2014) Doslidjenja defektiv ta poskodgen nesuchykh system zaliznychnykh napivvagoniv [Re-search Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine.
3. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wag-on building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
4. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text]/ A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvnngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnal/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
5. Polovinkin, A. I. (1988). Osnovy inzhenerenogo tvorchestva. Moscow: Mashinostroenie, 368.
6. Kelrikh, M. B., Structural-functional description of module design exterior modern universal gondola cars [Text]/ M.. Kelsh, Moroz V. I., Fomin A. // Scientific journal – Bulletin of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl. – Lugansk: the DREAM im. Dal, 2014. – № 2(210). – S. 94-103.
7. Normy dlia rascheta i proektirovaniia vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) i izmeneniia i dopolneniia. (1996). Moscow: GosNIIV VNIIZhT, 319.
8. Lukin, V. V. Design and calculation of cars [Text]/ student for high schools.-D. transp. / V. V. Lukin, L. A. Shadura, V. N. Koturanov, A. Khokhlov, P. S. Anisimov.; under the General editorship of V. V. Lukin. – M.: UMK Ministry of Railways of Russia, 2000.
9. Freight cars: Proc. allowance : In 2H. Part 1: Gondolas and boxcars/ M. I. Kharitonov, V. N. Pankin. – Kha-barovsk: Publishing house dvgups, 2004.
10. Fomin, O. V. Vprovadzheniia of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpeceny razvaliny pokaznikov mcnet [Text]/ O. In Fomn // [ the journal «Technology audit and production reserves». – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.

УДК 629.4.027

*М. І. Горбунов, д.т.н., професор (професор кафедри залізничного транспорту, СНУ ім. В. Даля) С. В. Кара*

*(аспірант кафедри залізничного транспорту, СНУ ім. В. Даля) О. С. Ноженко, к.т.н., доцент (доцент кафедри залізничного транспорту, СНУ ім. В. Даля) А. Д. Анофрієв (в.о. директора ДП «Укрспецвагон»)*

### ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ БОКОВИХ РАМ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

*Розглянуто проблему недостатньої міцності бокових рам візків типу 18-100 та аналогів в тому числі в зонах радіусних переходів R55 та основні гіпотези їх руйнувань, а саме високі повздовжні сили від ударів при скатуванні з горок, динамічні навантаження від незадовільного технічного стану ходової частини, дефекти матеріалу та недосконалість конструкції. Пропонується доповнити цей список динамічними навантаженнями від перекосів колісної пари при повздовжніх навантаженнях. Відмічено та розрахунково підтверджено, що перспективним напрямком є замикання буксового отвору по аналогії з конструкцією візка маневрового тепловоза ТЕМ2, для якого на досконалій опробованій кінцево-елементній моделі розраховано технічний ефект від використання буксової струнки. Представлено технічні рішення щодо підвищення міцності бокових рам візків вантажних вагонів шляхом замикання буксового отвору та методи створення попередньо напруженого стану в несучих конструкціях.*

*Ключові слова:* вантажний вагон, візок, бокова рама, міцність, буксова струнка, попереднє напруження.

*Рассмотрена проблема недостаточной прочности боковых рам тележек типа 18-100 и аналогов, в том числе в зонах радиусных переходов R55, основные гипотезы их разрушений, а именно высокие продольные силы от ударов при скатывании с горок, динамические нагрузки от неудовлетворительного технического состояния ходовой части, дефекты материала и недостатки конструкции. Предлагается дополнить этот список динамическими нагрузками от перекосов колесной пары при продольных нагрузках. Отмечено и расчетно подтверждено, что перспективным направлением является замыкание буксового проема по аналогии с конструкцией тележки маневрового тепловоза ТЭМ2, для которого на совершенной апробированной конечно-элементной модели рассчитан технический эффект от использования*

© Горбунов М. І., Кара С. В., Ноженко О. С., Анофрієв А. Д., 2015

*буксової струнки. Представлені технічні рішення по підвищенню прочності бокових рам тележок грузових вагонів путем замикавання буксового отворіття і методи створення попередньо напруженого стану в несущих конструкціях.*

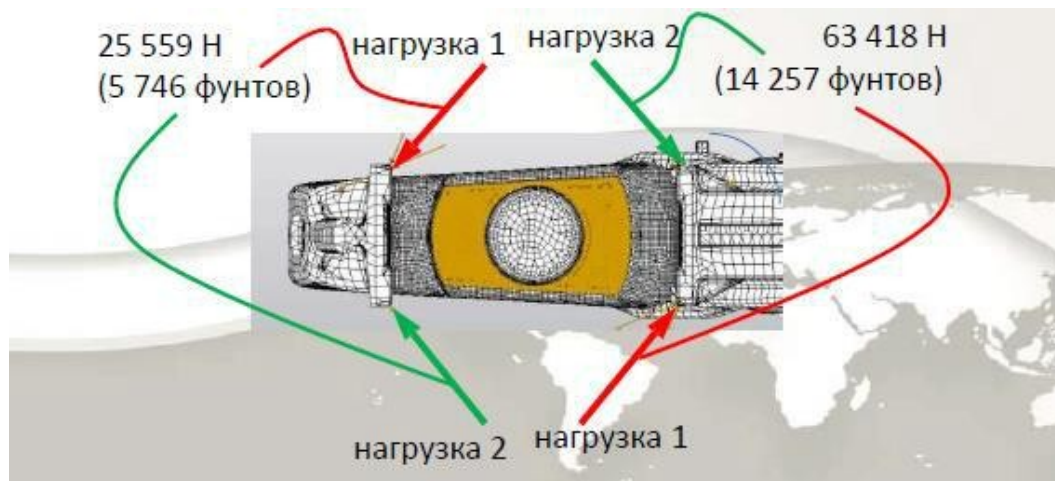
*Ключеві слова: грузовой вагон, тележка, боковая рама, прочность, буксовая старунка, предварительное напряжение.*

**Постановка проблеми.** Залізничний транспорт України має високу вантажо-напруженість та забезпечує більше половини вантажообігу країни, при цьому у останній час відмічається значний потік відказів бічних рам трьохелементних візків типу 18-100 та аналогів на коліях шириною 1520 мм, а в останній час саме в Україні (на коліях 1520 мм – від 20 до 25 зламів на рік при терміні служби візка від 1 до 8 років), що вимагає розроблення нових методів їх проектування [1-5]. Тому важливою задачею на сьогодні є підвищення міцності бокової рами візка вантажного вагону, особливо в зоні радіусного переходу R55.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що в останні роки проведено значну кількість науко-дослідних робіт з проблеми зламів бічних рам в зонах радіусних переходів R55. Виходячи з опрацьованих робіт авторами виділено основні гіпотези причини руйнувань:

1. Високі повздовжні сили від букс, що діють на зовнішні щелепи бічних рам при ударах після скатування з сортувальних гірок [6]. Величина повздовжньої сили може досягати 100 кН на одну щелепу.

2. Високі діючі моменти сил на зону буксового отвору внаслідок забігання бічних рам, які в свою чергу мають велике значення через незадовільний технічний стан візків (та колії). Дана гіпотеза була представлена компанією «Амстед-Рейл» (Протокол ЦЦТех №5/26). Навантаження від максимального забігання бічних рам показано на рис. 1.



**Рис. 1. Схема навантаження буксового отвору бічної рами згідно з гіпотезою компанії «Амстед-Рейл»**

3. Дефекти матеріалу [7]. Частою причиною зламів рам є ливарні чи інші дефекти в матеріалі, які пов'язані з порушенням технології виготовлення та недосконалістю методів дефектоскопії.

4. Зміна конструкції, яка полягає у переході до 18-100 типу 4 з квадратним профілем в небезпечній зоні замість двотаврового (рис. 2). Така гіпотеза описується різними науковцями, але на даний час немає чіткого наукового обґрунтування.

Слід відзначити, що незважаючи на значну кількість наукових робіт з даного напрямку не вирішена проблема підвищення міцності бічної рами, а саме не розроблено технічних рішень з підвищення міцності бічних рам чи запобіжних пристроїв.

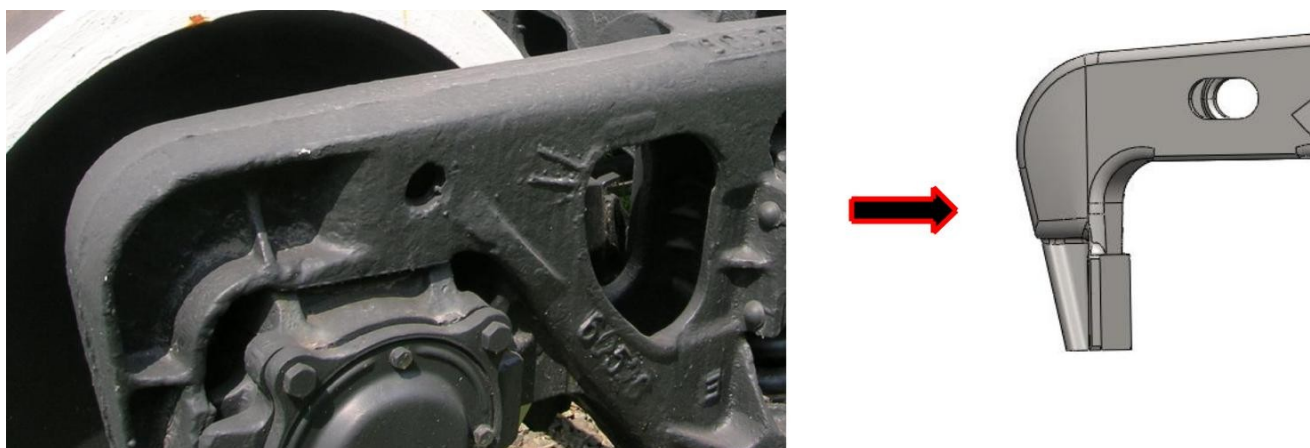


Рис.2. Зміна конструкції бічної рами

**Метою статті** є обґрунтування напрямків підвищення міцності бокових рам візків вантажних вагонів, які полягають у замиканні буксового отвору та створенні попередньо напруженого стану в несучих конструкціях візка.

**Викладення основного матеріалу.** Характер руйнувань та аналіз гіпотез цих руйнувань бокових рам вантажних візків типу 18-100 та їх аналогів показав, що необхідно дослідити причину руйнувань через перекіс колісної пари внаслідок великих значень зазорів між буксами та щелепами візка, що особливо впливає на навантаженість бічної рами під час формування рухомого складу на сортувальних горках. Супутнім негативним фактором при цьому буде відмінність значень цих зазорів з лівого та правого боків від колісної пари.

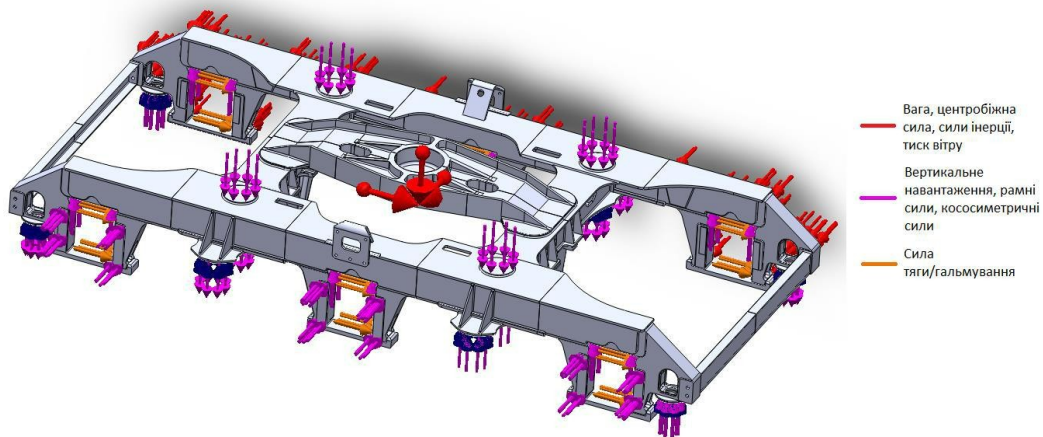
На думку авторів, внаслідок високої кількості ливарних та інших дефектів, високої динамічної навантаженості бічної рами слід вирішувати дану проблему вдосконаленням конструкції з метою значного зниження рівня напружень в небезпечному перетині R55. Дана зона конструкції по суті є ресурсовизначаючим елементом вагона, від цілісності цієї частини бічної рами залежить безпека руху всього рухомого складу. У якості прототипу авторами розглядається з'єднання щелеп буксового отвору буксовою стрункою по аналогії з локомотивами. Таке технічне рішення використовувалося ще при паровозобудуванні, потім для тепловозів (ТЕМ2, М62 та ін.). Розглянемо ефективність використання буксової струнки для тепловоза ТЕМ2. На рис. 3 представлено розроб-

лену модель рами візка TEM2 та схему навантаження в САПР «SolidWorks» згідно діючих норм розрахунків локомотивів на міцність. На рис. 4 приведено приклад розрахунку (епюру еквівалентних напружень).

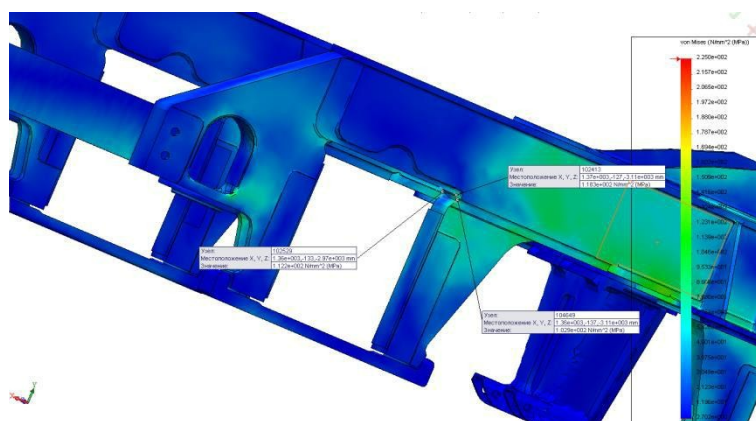
Для рами візка TEM2 з використанням буксової струнки та без неї проведено по 3 розрахунки з величинами повздовжніх сил від тяги та гальмування у розмірі 0 Н, 170 кН (згідно норм розрахунків) та 340 кН. Максимальні значення розрахункових напружень приведено на рис. 5 у вигляді залежності від повздовжніх сил.

Також проведено розрахунки для бічної рами візка типу 18-100 тип 4 з використанням буксової струнки перерізом 20 см<sup>2</sup> та без неї при максимальних повздовжніх силах (рис. 6 а) і б)). Використання такої буксової струнки знижує рівень максимальних еквівалентних напружень на 35%.

Перспективним напрямом підвищення міцності також є створення попередньо напруженого стану в конструкції візка, що знижує загальний рівень напружень під дією статичних та динамічних навантажень до 50%.



*Рис.3. Схема навантаження рами візка TEM2*



*Рис.4. Епюра напружень рами візка TEM2 (з використанням буксової струнки)*

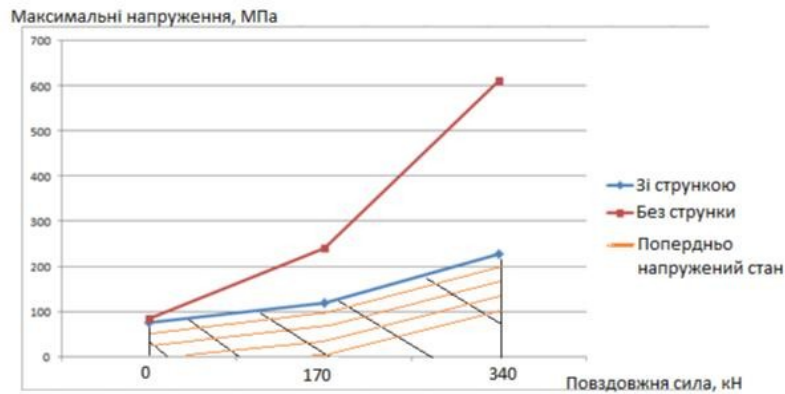


Рис.5. Залежність максимальних напружень від повздожньої сили для рами візка тепловоза ТЕМ2

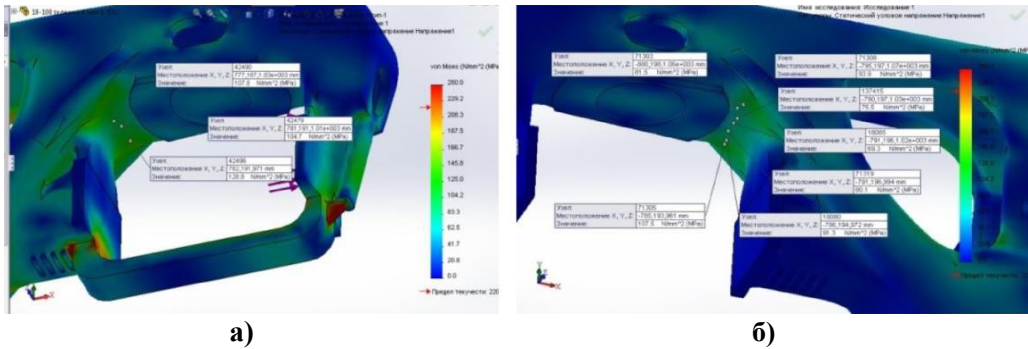
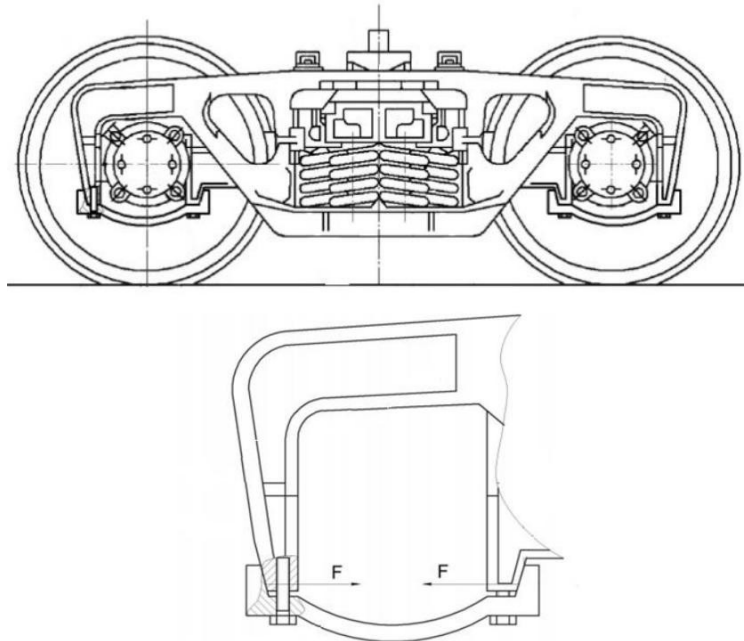


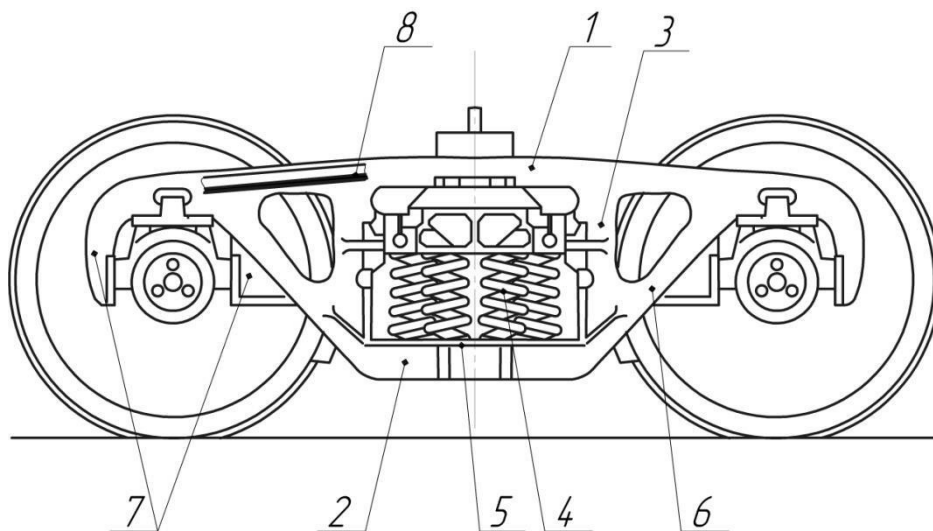
Рис.6. Розрахунок бічної рами візка типу 18-100 тип 4

Для бічної рами пропонується щонайменше три варіанта створення попередньо напруженого стану:

- 1) В буксовому отворі шляхом стягування щелеп буксовою стрункою (рис. 7).
- 2) В верхньому горизонтальному поясі (рис. 8, де 1 – верхній горизонтальний пояс, 2 – нижній горизонтальний пояс, 3 – вертикальні колонки, 4 – ресорний отвір, 5 – опорна поверхня для установлення пружин, 5 – похилі пояси, 7 – буксові щелепи, 8 – пруток). Метод полягає тому, що після виготовлення бічної рами у порожнину верхнього горизонтального поясу 1 встановлюється пруток 8 таким чином, що він стягує верхній горизонтальний пояс та створює в ньому попередні напруження протилежні за знаком тим, що виникають від динамічної сили вертикальних навантажень.



*Рис.7. Схема встановлення буксової струнки з використанням попередньо напруженого стану буксового отвору*



*Рис.8. Метод створення попередньо напруженого стану в верхньому горизонтальному поясі*

- 3) В нижньому горизонтальному поясі – по аналогії з п. 2.
- 4) Даний підхід також може бути використаний до створення попередньо напруженої надресорної балки.

Дані підходи можуть також бути впроваджені при проектуванні вантажних вагонів [1-3].

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Наведенні в статті результати роботи з підвищення міцності бічної рами мають суттєві переваги перед існуючою конструкцією. Попередні розрахунки свідчать про значне зниження рівня максимальних напружень до 35 % та до 50 % зниження максимальних напружень при використанні буксової струнки та створення попередньо напруженого стану відповідно. Всі представлені технічні рішення запатентовано. Ведеться робота з підготовки експериментальних досліджень.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕДУТ, 2014. – 299 с.
2. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонуванні [Текст] / О.В. Фомін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – № 3/7(57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст] / О.В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
4. Горбунов Н.И. К вопросу создания тележки грузового вагона / Н.И. Горбунов, С.Д. Мокроусов, Е.С. Ноженко, Е.А. Кравченко, С.В. Кара // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля 2013, №18 (207) – С. 91-97.
5. Горбунов М.І. Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення міцності візка вантажного вагона / Горбунов М.І., Ноженко О.С., Кара С.В. та ін. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 1 (218) Ч. 1. Вид-во СХУ ім. В. Даля м. Сєверодонецьк, 2015 – С. 200 – 203.
6. Сенько В.И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, М.И. Пастухов, С.В. Макеев, И.Ф. Пастухов // Вестник ГГТУ им. П.П.Сухого. – №4, 2010. – С. 13-18.
7. Огневой. В.Я. Фрактографические особенности разрушения литых боковых рам тележек грузовых вагонов / В.Я. Огневой // Ползуновский альманах. – 2011. – №4. – С. 36-41.

*Nikolay Gorbunov, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor (Professor of the Department of Railway Transport, East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)*

*Serhii Kara*

*(PhD student of the Department of Railway Transport, East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)*

*Olena Nogenko, PhD (Technical Sciences)*

*(Assistant professor of the Department of Railway Transport, East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)*

*Anofriyev Andrii*

*(Director of State Enterprise «Ukrspetsvagon»)*

**PERSPECTIVE DIRECTIONS OF INCREASING STRENGTH SIDE  
FRAMES FREIGHT WAGON BOGIE**

*Described the problem of strength of the side frame bogies type 18-100 and analogues in R55 zone, the main hypothesis of destruction, namely high longitudinal forces because of impacts, the dynamic loads from the poor technical condition of the bogies, material defects and construction, hypothesis may be supplemented distortions wheelsets. The calculation was performed for string like at the bogie of locomotive TEM2. Submitted technical solutions for bogies with strings and prestress.*

*Keywords: freight wagon, bogie, side frame, strength, axle string, prestress.*

**REFERENCES**

1. Fomin O. V. (2014) Doslidjenja defektiv ta poskodgen nesuchyh system zaliznychnyh napivvagoniv [Research Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine.
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text]/ A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
4. Gorbunov N.I. K voprosu sozdaniya telezhki gruzovogo vagona [The issue of establishing freight wagon bogie]/ N.I. Gorbunov, S.D. Mokrousov, E.S. Nozhenko, E.A. Kravchenko, S.V. Kara // VIsnik ShIdnoukraYin-skogo natslonalnogo unIversitetu ImenI Volodimira Dalya 2013, №18 (207) – S. 91-97.
5. Gorbunov M.I. Obruntuvannya tehnIchnih rIshen schodo pidvishchennya mltsnosti vIzka vantazhnogo vagona [Rationale technical solutions to improve the strength of freight wagon bogie] / Gorbunov M.I., Nozhenko O.S., Kara S.V. ta In. // VIsnik ShIdnoukraYinskogo natslonalnogo unIversitetu ImenI Volodimira Dalya # 1 (218) Ch. 1. Vid-vo SNU Im. V. Dalya m. SEvErodonetsk, 2015 – S. 200 – 203.
6. Senko V.I. Analiz prichin povrezhdeniya i vozmozhno-sti prodleniya sroka sluzhbyi bokovyih ram telezhek gruzovyih vagonov [Analysis of the causes of damage and the possibility of extending the life of the side frames of freight car bogies]/ V.I. Senko, M.I. Pastuhov, S.V. Makeev, I.F. Pastuhov //Vestnik GGTU im. P.P.Suhogo. – №4, 2010. – S. 13-18.
7. Ognevoy. V.Ya. Fraktograficheskie osobennosti raz-rusheniya lityih bokovyih ram telezhek gruzovyih vago-nov / V.Ya. Ognevoy // Polzunovskiy almanah. – 2011. – №4. – S. 36-41.

УДК 656.222

*В. К. Мироненко, д.т.н., професор (завідувач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*А. Ю. Андрейцев, к.ф.-м.н., доцент (доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*В. В. Габа, к.т.н., доцент (професор кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*Г. С. Висоцька, к.т.н (доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЕЛЕКТРИЧНОЇ АНАЛОГІЇ ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

*У статті наведена математична модель транспортного потоку, що базується на аналогії з протіканням електричного струму. З урахуванням технологічних та економічних умов перевезень характеристики транспортного потоку ставляться у відповідність до параметрів закону Ома, за аналогією з яким вводяться поняття «транспортного опору» і «транспортного потенціалу». У рамках даної моделі транспортний потік описано задачею Коші для звичайного диференціального рівняння першого порядку. Проведено графічний аналіз розв'язків для різних технолого-економічних параметрів.*

*Ключові слова:* теорія транспортних потоків, інтенсивність потоку, математична модель, теорія подібності, транспортний опір, транспортний потенціал.

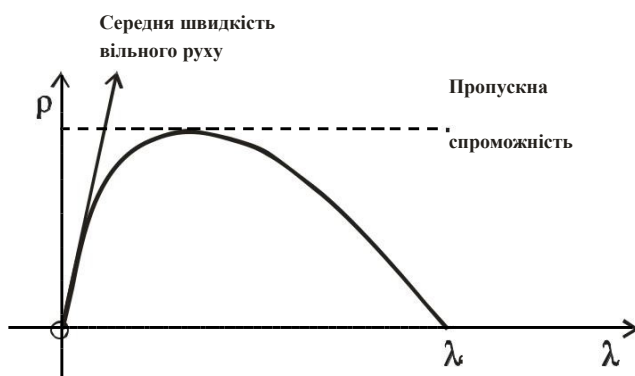
*В статье приведена математическая модель транспортного потока, основанная на аналогии с протеканием электрического тока. С учетом технологических и экономических условий перевозок характеристики транспортного потока ставятся в соответствие с параметрами закона Ома, по аналогии с которым вводятся понятия «транспортного сопротивления» и «транспортного потенциала». В рамках данной модели транспортный поток описан задачей Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Проведен графический анализ решений для различных технолого-экономических параметров.*

*Ключевые слова:* теория транспортных потоков, интенсивность потока, математическая модель, теория подобия, транспортное сопротивление, транспортный потенциал.

© Мироненко В. К., Андрейцев А. Ю., Габа В. В., Висоцька Г. С., 2015

Вивчення транспортних потоків з використанням математичного моделювання ведеться вже майже 100 років. Однак в цій галузі залишається багато невирішених питань.

Найбільшого розвитку та розповсюдження математична теорія транспортних потоків набула на автомобільному транспорті. В теорії транспортних систем потік транспортних засобів розглядається аналогічно потоку рідини чи газу. Транспортні засоби автомобільного транспорту не переміщуються так само вільно, як частинки при броунівському русі, проте й не мають обмежень графіком, як на залізничному транспорті. Крім того, потік автотранспортних засобів характеризується швидкістю, яка при збільшенні числа автомобілів зменшується. В теорії транспортних потоків розрізняють часові та просторові процеси. Співвідношення між просторовим та часовим розташуванням автомобілів відіграє винятково важливу роль в експериментальних дослідженнях потоку. Транспортний потік характеризується середніми параметрами: середня швидкість, щільність, інтенсивність.



**Рис. 1. Основна діаграма транспортного потоку**

Діаграма, наведена на рис. 1 відображає зміну інтенсивності потоку залежно від його щільності і називається основною діаграмою транспортного потоку [1]. Відповідно до фундаментальної діаграми, пропускна спроможність – це максимальна кількість автомобілів, яка може пройти через певну точку смуги руху або дороги за певний період часу при переважаючих дорожньо-транспортних умовах.

За способом отримання математичні моделі

поділяють на теоретичні та емпіричні. Для побудови емпіричних моделей необхідно обробити величезний масив результатів спостережень. Крім того отримання цих даних часто утруднене або й зовсім неможливе.

Теоретичні моделі отримують у результаті вивчення властивостей та характеристик об'єкта. При побудові теоретичних моделей перш за все прагнуть використовувати відомі фундаментальні закони збереження маси, електричного заряду, енергії; залучають визначальні співвідношення – рівняння стану, наприклад, закон Ома про зв'язок сили струму в провіднику і падіння електричної напруги, закон Гука про зв'язок деформації і механічної напруги в лінійно-пружному матеріалі та ін. [2].

Крім того потрібно також встановити зв'язки між розмірними параметрами моделей, що характеризують поведінку транспортного та електричного потоків. Розмірністю величини або параметра називають добуток степенів незалежних одиниць виміру фізичних величин, прийнятих як основних, стандартних – по

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Міжнародній системі СІ для довжини – метри (м), маси – кілограми (кг), часу – секунди (с), сили електричного струму – ампера (А) тощо.

При моделюванні транспортних потоків для зручності подальшого аналізу доцільно користуватися еквівалентними до основних одиницями виміру (наприклад, для довжини – кілометри, маси – тонни і т. п.). Крім того, треба додати і грошові одиниці виміру. Варто зазначити, що для прийнятої системи основних одиниць виміру розмірність будь-якої величини може бути представлена лише єдиним чином. При цьому розмірність всіх доданків, що входять до рівняння, має бути однаковою, а аргументи показникових, тригонометричних, зворотніх тригонометричних та інших функцій мають бути безрозмірними [2].

Уподібнимо інтенсивність транспортного потоку електричному струму, сила якого описується законом Ома:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1)$$

де  $I$  – сила струму, А;

$U$  – напруга (різниця потенціалів), В;

$R$  – електричний опір, Ом.

Подібно тому, як струм протікає по дротах, транспортний потік протікає по транспортних шляхах, наприклад залізничних лініях або автомобільних дорогах.

Аналогією сили електричного струму  $I$  в транспортному потоці приймемо інтенсивність транспортного потоку на напрямку  $Q$ . Розмірність інтенсивності транспортного потоку на напрямку  $Q$  будемо вимірювати у тоннах за добу.

Що може бути аналогією напрузі (різниці потенціалів)  $U$  і опору  $R$  в транспортному потоці? Від чого прямо залежить інтенсивність транспортного потоку  $Q$ ? Якою є для транспортного потоку його залежність від «транспортної різниці потенціалу» або просто «транспортного потенціалу»  $U_T$  і «транспортного опору»  $R_T$ , залежність, аналогічна закону Ома в електротехніці?

$$\left\{ I = \frac{U}{R} \right\} \Rightarrow \left\{ Q = \frac{U_T}{R_T} \right\} \quad (2)$$

Припустимо, що на певному товарному ринку існує попит на товар у розмірі  $D$  тонн за добу. Для транспорту, що доставляє на ринок цей товар, останній є вантажем, що може перевозитися у кількості  $0 < Q \leq D$ . Очевидно, що чим більшою є величина незадоволеного попиту

$$(D - Q) \geq 0, \quad (3)$$

тим більшими (інтенсивнішими) будуть перевезення на цей ринок. Однак лише за умови економічної доцільності перевезень. Цю доцільність можна виразити умовою

$$[P - (F + A)] \geq 0, \quad (4)$$

де  $P$  – максимально можлива ціна товару, доставленого на ринок, за якою він може бути проданий, умовних грошових одиниць за тону (наприклад, €/т);

$F$  – прямі транспортні витрати (тариф, фрахт і т.ін.), (у тих самих грошових одиниць за тону);

$A$  – інші витрати, пов'язані з транспортуванням та супутніми йому операціями.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Отже, величину «транспортного потенціалу», від якого прямо залежить інтенсивність транспортного потоку, можна записати як

$$U_T = (D - Q)[P - (F + A)] . \quad (5)$$

Величину «транспортного опору», від якої інтенсивність транспортного потоку залежить обернено, можна записати з таких міркувань.

Нехай на певному напрямку перевезення є наявний резерв перевізної спроможності  $G$  для додаткових перевезень даного вантажу (товару) у розмірі  $Q$  тонн за добу. Чим ближча величина  $Q$  до  $G$ , тобто  $Q \rightarrow G$ , тим менший залишається резерв і тим важче «проїхати» цим напрямком, зростає «транспортний опір» на ньому. Чим більшими будуть витрати  $(F + A)$ , пов'язані з перевезенням, чим більша тривалість перевезення  $T$  (в добах) на напрямку, тим менше він буде привабливим для перевезення, тим більший його «транспортний опір». Нарешті, чим більшою є частка неохоронних перевезень  $\varepsilon$  на напрямку, тим він також менш привабливий, зростає його «транспортний опір». Ці міркування дають підставу записати таке співвідношення для визначення «транспортного опору»:

$$R = \frac{1}{G - Q} \cdot (F + A) \cdot T \cdot \frac{1}{1 - \varepsilon} . \quad (6)$$

де повинні виконуватися умови  $G - Q > 0$  та  $1 - \varepsilon > 0$ .

Отже, з урахуванням співвідношень (2), (5) та (6), після перетворень можна записати:

$$Q = (D - Q)(G - Q)(1 - \varepsilon) \left( \frac{P}{F + A} - 1 \right) \frac{\alpha}{T} , \quad (7)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності.

З урахуванням визначених вище розмірностей величин, що входять до (7) доходимо висновку, що коефіцієнт пропорційності  $\alpha$  повинен мати розмірність  $[\alpha = \frac{\text{длина}^2}{\text{длина}}]$ . Цю «дивну», здавалось би, розмірність, подамо у вигляді:

$$[\alpha = \frac{\text{длина}^2}{\text{длина}} = \frac{1}{\frac{\text{длина}}{\text{длина}} \cdot 1} ] . \quad (8)$$

З аналізу розмірностей (8) можна зробити висновок, що коефіцієнт  $\alpha$  за розмірністю та величиною повинен співпадати з величиною, оберненою добовому (середньодобовому) приросту транспортного потоку  $Q'$ , тобто

$$\alpha = \frac{k}{Q'} , \quad Q' = \frac{dQ}{dt} \quad (9)$$

де  $k > 0$  – безрозмірний коефіцієнт масштабування.

З урахуванням (9) співвідношення (7) можна переписати так:

$$Q = (D - Q)(G - Q)(1 - \varepsilon) \left( \frac{P}{F + A} - 1 \right) \frac{k}{T \cdot Q'} . \quad (10)$$

Введемо позначення  $\beta = (1 - \varepsilon) \left( \frac{P}{F + A} - 1 \right)$ , тоді (10) набуває вигляду:



**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ**

$$Q = (D - Q)(G - Q) \frac{\beta \cdot k}{T \cdot Q} \quad (11)$$

Відокремивши змінні у даному нелінійному диференціальному рівнянні, отримаємо:

$$\frac{QdQ}{Q^2 - (D + G)Q + DGT} = \frac{\beta \cdot k}{T} dt \quad (12)$$

Проінтегруємо (12):

$$\int \frac{QdQ}{Q^2 - (D + G)Q + D \cdot G} = \int \frac{\beta k}{T} dt \quad (13)$$

1) Нехай  $D \neq G$ . Тоді перший інтеграл:

$$\int \frac{QdQ}{\left(Q - \frac{G+D}{2}\right)^2 + \left(\frac{D-G}{2}\right)^2} = \int \frac{\frac{2}{G+D} \left(Q - \frac{G+D}{2}\right) + \frac{2}{G+D} \left(\frac{D-G}{2}\right)}{\left(Q - \frac{G+D}{2}\right)^2 + \left(\frac{D-G}{2}\right)^2} dQ =$$

$$= \frac{1}{2} \left[ \ln \left| \frac{Q - \frac{G+D}{2} + \frac{D-G}{2}}{Q - \frac{G+D}{2} - \frac{D-G}{2}} \right| + \frac{2 \cdot (G-D)}{2 \cdot (G-D)} \frac{\frac{D-G}{2}}{Q - \frac{G+D}{2}} \right] \quad (14)$$

Інтеграл в правій частині:

$$\int \frac{\beta k dt}{T} = \frac{\beta k}{T} t + C \quad (15)$$

де  $C$  – стала інтегрування. Отже (14)=(15).

Нехай у початковий момент часу інтенсивність потоку дорівнює нулю ( $Q(0) = 0$ ). Тоді

$$C = \frac{1}{2} \ln(DG) + \frac{D+G}{2(D-G)} \ln D$$

2) Нехай  $D = G$ . Тоді

$$\frac{QdQ}{(Q-G)^2} = \frac{\beta k}{T} dt$$

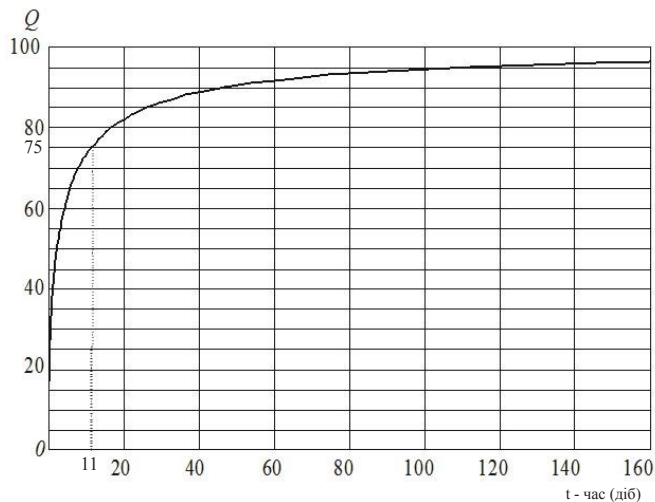
$$\frac{1}{2} \ln \frac{(G-Q)+G}{G-Q} = \frac{\beta k}{T} t + C$$

$$C = \frac{1}{2} \ln G + 1.$$

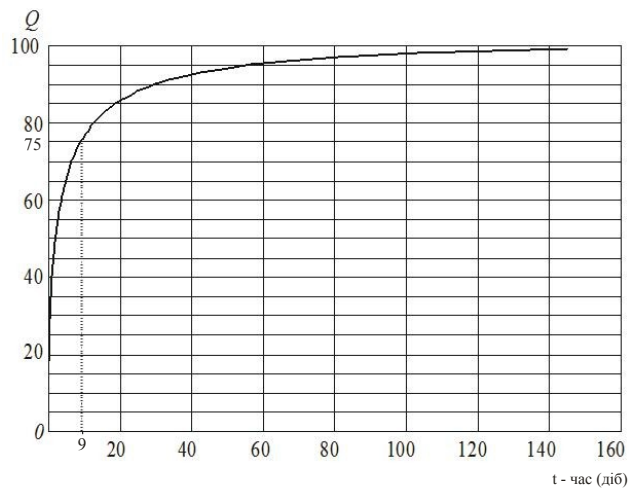
Покладемо  $G = 100$  (наприклад, це буде 100 тонн за добу) і побудуємо графіки залежності  $Q$  від  $t$  при різних значеннях  $D$ .  $T = 7$  (тривалість перевезення, діб),  $\beta = 1$ ,  $k = 1$  – деякі гіпотетичні значення (рис. 1 – 3).

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Ми бачимо, що при  $D = G$  обсяг перевезень  $Q$  зростає повільніше ніж при  $D \neq G$ . Якщо покласти, що граничний рівень завантаження транспортної системи, при якому забезпечується її надійна роботи становить 75 %, то побачимо, що при одній і тій самій перевізній спроможності системи ( $G = 100$  т/добу), але при різних потрібних обсягах перевезень ( $D = 90 ; 100$  та  $110$  т/добу) цей граничний рівень надійності (0,75) досягається системою при різних значеннях часу від початку перевезень у даній системі. Цей час складає відповідно 10,5; 8,8 та 15,9 діб або якщо виразити ці величини в умовних одиницях часу – поділивши ці значення на  $T = 7$  діб, отримаємо 1,50; 1,26 та 2,27 (рис. 1 – 3), що в середньому складає 1,67.



*Рис. 1. Графік залежності  $Q$  від  $t$  при  $G=D=100$*



*Рис. 2. Графік залежності  $Q$  від  $t$  при  $D=110, G=100$*

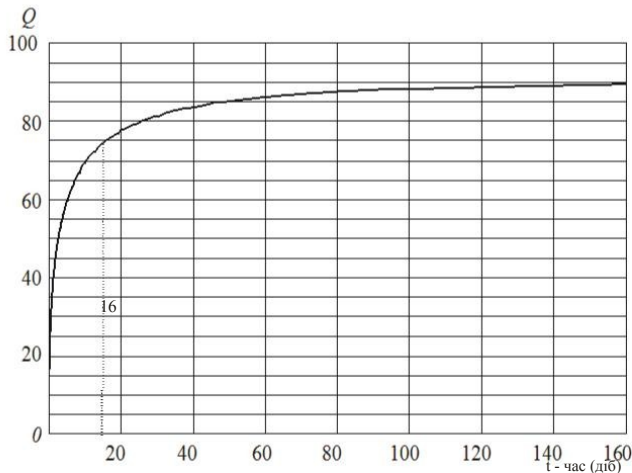


Рис. 3. Графік залежності  $Q$  від  $t$  при  $D=90, G=100$

Таким чином, для аналізу залежності  $Q$  від  $t$  доцільно ввести величину

$K = \min(D; G)$  – максимально можливий обсяг перевезень. Якщо пропускна спроможність більша за попит, то  $K = D$ . Якщо ж попит перевищує пропускну спроможність, то  $K = G$ . Поклавши тепер  $K = 100$  т/добу побудуємо графіки залежності  $Q$  від  $t$  при  $D = G = K$  та  $D = 110$  т/добу,  $K = G = 100$  т/добу, який співпадає з графіком при  $G = 110$  т/добу,  $K = D = 100$  т/добу (рис. 4). Тут  $D = 91,1(1) \%$  від  $G$ .

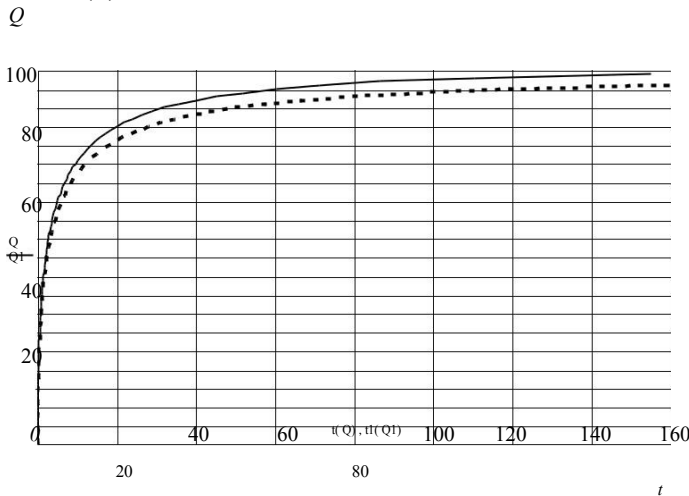
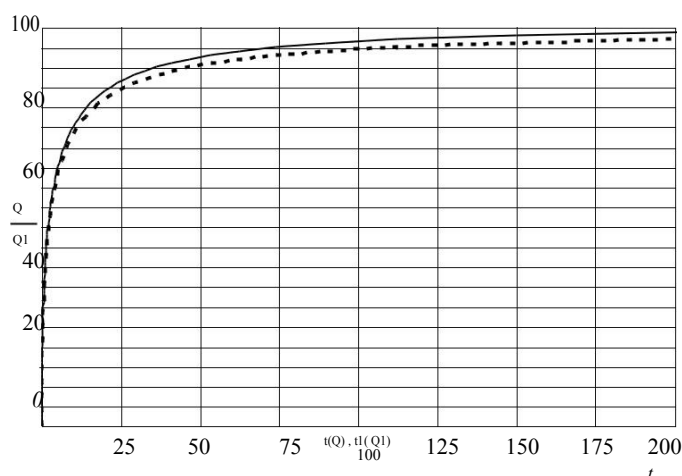


Рис. 4. Графік залежності  $Q$  від  $t$  при  $D = G = 100$  т/добу та при  $D = 110$  т/добу,  $G = 100$  т/добу або  $D = 100$  т/добу,  $G = 110$  т/добу

На рис. 5 наведено графіки при  $G = D$  та  $D = 105$  т/добу ( $G = 94,24$ ). По-

рівнюючи їх, ми бачимо, що чим менша різниця між  $G$  та  $D$ , тим повільніше зростає обсяг перевезень: при  $D = 105$  т/добу рівень 95 % від можливого обсягу перевезень досягається за 74 доби (при  $D = 110$  т/добу – за 56 діб).



*Рис. 5. Графік залежності  $Q$  від  $t$  при  $D = G = 100$  т/добу та при  $D = 100$  т/добу,  $G = 105$  т/добу або  $D = 105$  т/добу,  $G = 100$  т/добу*

Граничний рівень надійності транспортної системи (прийнятий для прикладу 0,75) досить тісно пов'язаний з середньою тривалістю перевезення  $T$ , яка в свою чергу може бути пов'язана з іншим технологічним параметром – часом обігу транспортного засобу. Наприклад, на залізничному транспорті коефіцієнт порожнього пробігу вагона по відношенню до навантаженого становить біля 63 %, а це означає, що розрахунковий час обігу вагона складатиме 1,63 від тривалості перевезення вантажу у вантажному рейсі.

Отже, застосування принципів теорії розмірності та транспортноелектричної аналогії до моделювання транспортних потоків дозволило встановити певні закономірності динаміки транспортного потоку, що задовільно кореспондують із технологічними показниками залізничного транспорту.

На завершення зазначимо, що величини  $D$ ,  $G$ ,  $T$  є відомими,  $\beta$ ,  $k$  можуть бути визначені за допомогою статистичних досліджень.

У подальших дослідженнях планується розглянути математичну модель, що включає можливості затримки вантажів (вагонів) у проміжних пунктах (аналогія з ємністю конденсатора).

### ЛІТЕРАТУРА

1. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков [Текст]: пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 288 с.
2. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике: Учеб. для вузов / Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 496 с.
3. Гухман А. А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.
4. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1987. — 423 с.
5. Клайн С. Дж. Подобие и приближенные методы. – М.: Мир, 1968. – 302 с.
6. Моделювання транзитних транспортних потоків / [Мироненко В.К., Мацюк В.І., Висоцька Г.С., Алексійчук Н.М.] // Автошляховик України. – 2012. – № 6. – С. 17–22
7. Базова математична модель транзитних вантажопотоків / [Мироненко В.К., Висоцька Г.С., Родкевич О.Г., Щербина Р.С.] // Зб. наук. праць ДЕТУТ, серія «Транспортні системи і технології». – Київ, 2012. – № 21. – С. 177–182.

*Viktor K. Myronenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Head of Operation of Transportation Processes Chair, State University for  
Transport Economy and Technologies)*

*Andriy Ju. Andreytsev, PhD (Physical and Math. Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of High Mathematics Chair, State University for Transport  
Economy and Technologies)*

*Vasul V. Gaba, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for  
Transport Economy and Technologies)*

*Galyna S. Vysotska, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor of Operation of Transportation Processes Chair, State Uni-  
versity for Transport Economy and Technologies)*

### APPLICATION OF TRANSPORTELECTRICAL ANALOGY FOR TRAFFIC FLOW MATHEMATICAL MODELS CONSTRUCTION

*The article presents the mathematical model of traffic flow, based on the analogy with the flow of electric current. Technological and economic conditions of transport traffic characteristics are in correspondence with the parameters of Ohm's law. Introduced the concept of «transport resistance» and «transport potential». Within this model the traffic flow is described by Cauchy problem for ordinary differential equation of the first order. A graphical analysis of solutions for a variety of technological and economical parameters was carrying out.*

**Keywords:** *theory of traffic intensity flow, mathematical model, similarity theory, the transport resistance, transportation potential.*

### REFERENCES

1. *Kheyf F.* Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov [The Mathematical Theory of Traffic Flow]: per. s angl. – Moscow: Mir Publ., 1966. – 288 p.
2. *Zarubin V.S.* Matematicheskoe modelirovanie v tekhnike [Mathematical Modeling in Engineering]: Ucheb. dlya vuzov / Pod red. V. S. Zarubina, A. P. Krishchenko. – Moscow: Publ. MGTU im. N. E. Baubana, 2001. – 496 p.
3. *Gukhman A.A.* Vvedenie v teoriyu podobiya [Introduction to the Theory of Similarity] – Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1973. – 296 p.
4. *Sedov L.I.* Metody podobiya i razmernosti v mekhanike [Methods of similarity and dimensionality in mechanics] — Moscow: Nauka, 1987. — 423 p.
5. *Klayn S. Dzh.* Podobie i priblizhennyye metody [Similarity and Approximate Methods]. – Moscow: Mir, 1968. – 302 p.
6. *Modeljuvannja tranzitnykh transportnykh potokiv [Modeling of Transit Traffic Flows]/ [Myronenko V.K., Macjuk V.I., Vysoc'ka G.S., Aleksijchuk N.M.] // Avtoshljahovyk Ukrainy. – 2012. – № 6. – P.17–22.*
7. *Bazova matematychna model' tranzitnykh vantazhopotokiv [Basic Mathematical Model of Transit Freight Traffic] / [Myronenko V.K., Vysoc'ka G.S., Rodkevych O.G., Shherbyna R.S.] // Zb. nauk. prac' DETUT, serija «Transportni systemy i tehnologii». – Kiev, 2012. – № 21. – P. 177–182.*

УДК 531.53:517.938

**В. В. Ковальчук, к.ф.-м.н., доцент (доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державного економіко-технологічного університету транспорту. м. Київ)**  
**О. В. Бамбура, к.ф.-м.н. (доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державного економіко-технологічного університету транспорту. М. Київ)**

### ПРО МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБУРЕНОГО РУХУ ОДНІЄЇ МАЯТНИКОВОЇ СИСТЕМИ

*Досліджена модель перевернутого математичного маятника з асиметричною слідкуючою силою на пружно закріпленому верхньому кінці. Складені рівняння збуреного руху в матричній формі. Розглянутий метод визначення кривої рівноважних станів і побудований періодичний розв'язок.*

*Ключові слова: перевернутий математичний маятник, слідкуюча сила, збурений рух.*

*Исследована модель перевернутого математического маятника с асимметричной следящей силой на упруго закреплённом верхнем конце. Составлены уравнения возмущённого движения в матричной форме. Рассмотрен метод определения кривой равновесных состояний и получено периодическое решение.*

*Ключевые слова: перевернутый математический маятник, следящая сила, возмущённое движение.*

**Постановка проблеми.** Перевернутий математичний маятник зі слідкуючою силою моделює конструктивні елементи опор залізничних споруд і мостів, колієукладальних зводів тощо. Дослідження особливостей динамічної поведінки зазначеного маятника дає можливість оптимізувати його параметри з метою уникнення порушень нормальних умов функціонування відповідних механічних систем і забезпечення міцності та стійкості її елементів. При цьому слід враховувати різноманітні конструктивні особливості стержневих елементів, що потребує розробки як аналітичних, так і числових методів проведення розрахунків. За наявності слідкуючої сили втрата стійкості положення рівноваги маятника може призвести до народження граничного циклу, який відповідає періодичному розв'язку рівнянь збуреного руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням розробки математичного апарату для вивчення особливостей динамічної поведінки багатоланкових маятників приділено багато уваги в науковій літературі.

© Ковальчук В. В., Бамбура О. В., 2015

Важливі практичні застосування об'єктів типу «перевернутий маятник» зумовили активне дослідження особливостей динамічної поведінки таких систем. Для побудови математичної моделі застосовують диференціальні рівняння Лагранжа 2-го роду, що зазвичай призводить до громіздких аналітичних розрахунків. В [1] запропонований метод автоматизованого синтезу цих рівнянь засобами системи комп'ютерної алгебри Maple для подвійного маятника. Чимало наукових публікацій присвячено аналізу проблем стійкості указаних неконсервативних систем ([2–4]) та особливостям динамічної поведінки при критичних та закритичних значеннях суттєвих параметрів системи ([5]). Однак автори переважно розглядають подвійний маятник. Триланкові маятники поки недостатньо досліджені, хоча така модель враховує дію опорної та верхньої ланок на середній елемент.

**Метою** роботи є застосування засобів теорії динамічних систем для розробки та аналізу аналітичних і числових методів дослідження особливостей поведінки перевернутого триланкового маятника, верхній кінець якого пружно закріплений і перебуває під дією слідкуючої сили (в загальному випадку асиметричної).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Об'єктом дослідження є маятникова система, узагальненими координатами якої вважаємо кути  $\varphi_1, \varphi_2$  та  $\varphi_3$ , які утворюють відповідно нижня, середня та верхня ланки із вертикаллю. Узагальненими швидкостями є величини  $\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3$ . Диференціальні рівняння руху складаємо у вигляді рівнянь Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T(\varphi, \dot{\varphi})}{\partial \dot{\varphi}_j} - \frac{\partial T(\varphi, \dot{\varphi})}{\partial \varphi_j} = Q_j(\varphi, \dot{\varphi}),$$

$$j = 1, 2, 3, \quad \varphi = \left\{ \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, t, \frac{d\varphi}{dt} \right\}$$

де  $T(\varphi, \dot{\varphi})$  – кінетична енергія системи,  $t$  – час,  $Q_j(\varphi, \dot{\varphi})$  – узагальнені сили.

До верхнього кінця маятника, який пружно закріплений, прикладена слідкуюча сила  $P$ , напрямком дії якої змінюється залежно від зміни конфігурації механічної системи, що викликана цією ж силою. Наявність сили  $P$  робить досліджувану динамічну систему неконсервативною. Відповідно, розглядаючи задачу про стійкість положення рівноваги застосовуємо методи Ляпунова.

Динаміку заданої механічної системи описують три нелінійних диференціальних рівняння другого порядку. Для зменшення кількості параметрів переходимо до безрозмірних величин. Систему диференціальних рівнянь руху маятника приводимо до нормальної форми Коші:

$$\dot{x}(t) = F(x(t), P, e), \quad x(0) = x_0 \in R^6. \tag{1}$$

Тут прийняті такі позначення:

$\bar{P}, e$  – суттєві параметри системи (безрозмірні значення модуля слідкуючої сили та коефіцієнта жорсткості пружини, що закріплює верхній кінець маятника),

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T = \{\varphi_1, \dot{\varphi}_1, \varphi_2, \dot{\varphi}_2, \dots, \varphi_n, \dot{\varphi}_n\}^T, \quad T$$

$$\{x_2, G_1, x_4, G_2, x_6, G_3\}^T.$$

При різних значеннях суттєвих параметрів спостерігаємо різні типи руху досліджуваної динамічної системи. На рис. 1 наведені результати інтегрування повної нелінійної моделі (1) засобами пакету прикладних програм Maple. Фазовий портрет на рис. 1, а побудований на площині  $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$  для маятника з жорсткими характеристиками пружних елементів у випадку, коли параметр орієнтації слідкуючої сили дорівнює  $k = 0,2$ , а модуль сили набуває докритичного значення, безрозмірне значення якого дорівнює  $\bar{P} = 0,7$ . Початкові умови руху відповідають значенням  $\varphi_{10} = \varphi_{10} = 0,1$ ,  $\varphi_{20} = \varphi_{30} = 0,2$ ,  $\varphi_{20} = \varphi_3 = 0$  (на рисунку старто-ва точка позначена S). При цьому часові залежності змінних стану прямують до нуля, а фазові траєкторії – до стійкого фокусу. Отже, збуджені коливання маятника згасають, і система повертається до вертикального положення рівноваги.

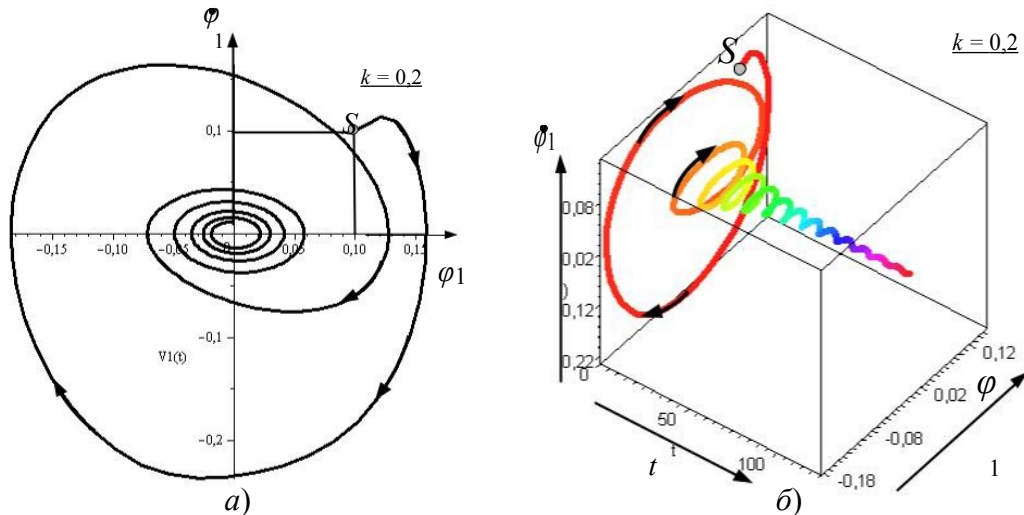


Рис. 1. Фазові траєкторії при докритичному значенні модуля слідкуючої сили ( $\bar{P} = 0,7$ )

При поступовому збільшенні суттєвого параметра  $\bar{P}$  і переході через критичне значення  $\bar{P}_{кр}$ , яке в теорії стійкості відповідає критичному випадку одного нульового кореня характеристичного рівняння, положення рівноваги маятника втрачає свою стійкість внаслідок дивергентних біфуркацій. Фазові траєкторії системи при закритичному значенні модуля слідкуючої сили ( $\bar{P} = \bar{P}_{кр}$ ) подані на рис. 2. При початкових умовах руху  $x(0) = (0, 0, 1; 0, 2; 0; 0, 2; 0)$  з плином часу зображуюча точка системи відходить від початку координат і прямує до іншої стійкої особливості точки. Фазові траєкторії, побудовані у просторі  $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1, \varphi_2, \dot{\varphi}_2)$  більш наочно демонструють поведінку системи (рис. 1, б та рис. 2, б).



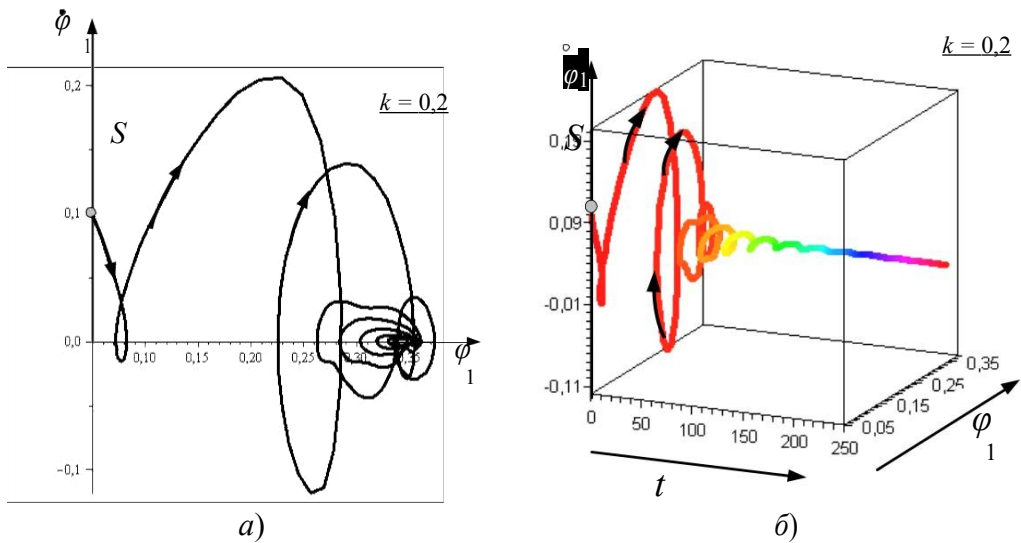


Рис. 2. Фазові траєкторії при закритичному значенні модуля слідкуючої сили ( $\bar{P} = 2,5$ )

Стійкий граничний цикл у фазовому просторі системи, до якого притягуються фазові траєкторії, поданий на рис. 3.

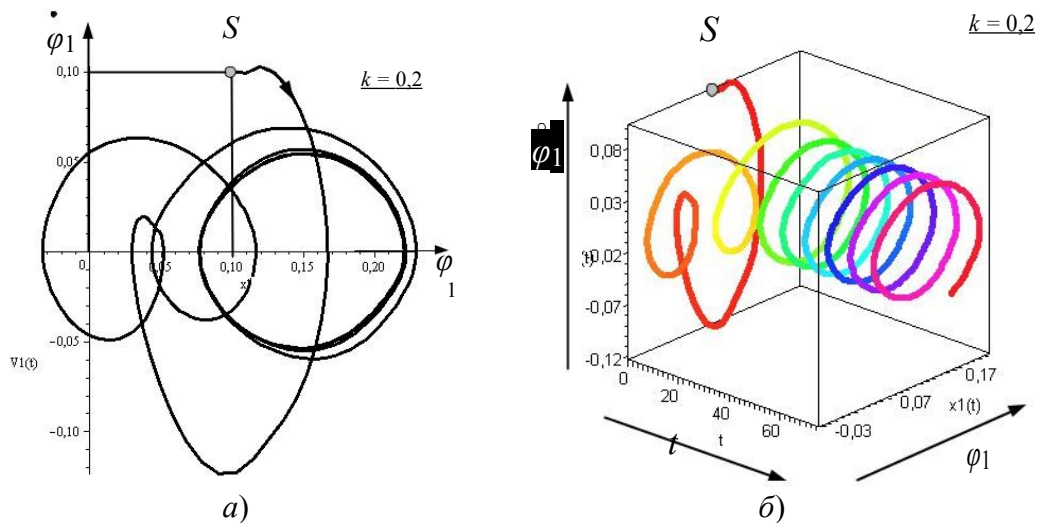


Рис. 3. Фазові траєкторії при закритичному значенні модуля слідкуючої сили ( $\bar{P} = 1,5$ ) в усталеному режимі коливань

Народження стійкого граничного циклу спостерігаємо тоді, коли при поступовому збільшенні модуля слідкуючої сили на площині суттєвих параметрів маятника (при фіксованих значеннях інших параметрів) відбувається перехід через границю  $\bar{P} = \bar{P}^*$  області стійкості, на якій пара коренів характеристичного рівняння стає суто уявною.

Для визначення біфуркаційних точок будують криву рівноважних станів маятника, застосовуючи метод продовження за параметром. Ідея цього методу полягає в тому, що, знаючи один із розв'язків  $x_0$  ( $\alpha_0$ ), знаходимо «близький до нього» розв'язок  $x_n$  ( $\alpha_n$ ). При цьому рухаємося вздовж кривої  $K$ , використовуючи на кожному кроці інформацію про розв'язок, знайдений на попередньому кроці. Для досліджуваної системи чисельна реалізація методу продовження за параметром виконувалася як кроковий процес за параметрами  $\varepsilon$  (лінійний ексцентриситет слідкуючої сили) та за параметром  $\delta$  (кутовий ексцентриситет). На побудованих кривих стаціонарних станів проаналізовані гілки, що відповідають різним характеристам стійкості неперпендикулярних положень рівноваги маятника.

Метод продовження за параметром можна також застосовувати для побудови аналітичного розв'язку системи рівнянь (1), що відповідає граничному циклу у фазовому просторі.

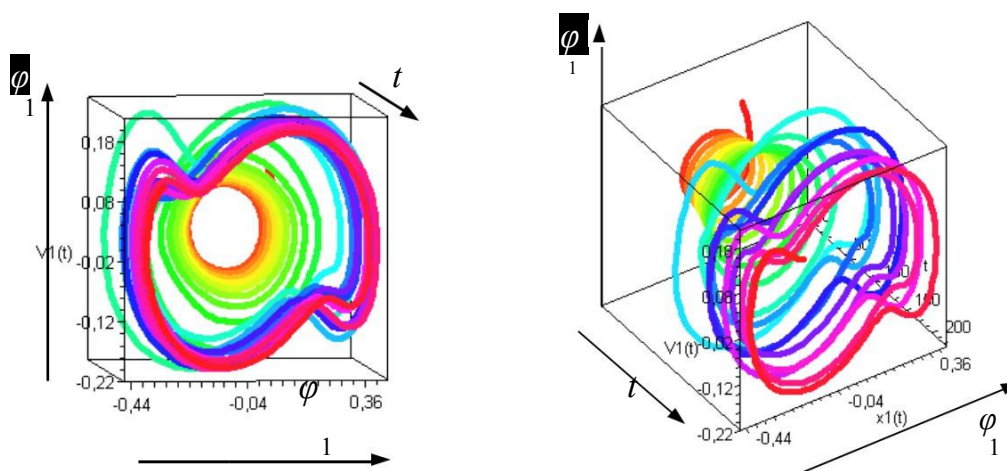


Рис. 4. Стійкий граничний цикл у фазовому просторі триланкового маятника

При зміні суттєвих параметрів маятника вертикальне положення рівноваги після біфуркації Пуанкаре – Андронова – Хопфа втрачає стійкість. На рис. 4 показаний стійкий граничний цикл, який обмежує область притягання фазових траєкторій маятника з лінійними характеристиками пружних елементів. Розв'язок диференціальних рівнянь (1) збуреного руху маятника, отриманий методом продовження за параметром, із достатньою мірою точності узгоджується з результатами безпосереднього інтегрування рівнянь, що підтверджує достовірність отриманих результатів.

**Висновки.** Метод продовження за параметром є ефективним засобом дослідження особливостей динамічної поведінки перевернутого маятника зі слідкуючою силою. Побудовані за цим методом криві рівноважних станів дозволяють визначити біфуркаційні точки та проаналізувати перехід досліджуваної системи до нового якісного стану при зміні її суттєвих параметрів. Застосування методу продовження за параметром при побудові періодичного розв'язку

рівнянь збуреного руху маятника дає граничні цикли як область притягування фазових траєкторій системи. У подальших дослідженнях доцільно розглянути можливості пакету прикладних програм Maple щодо візуалізації поведінки маятника та траєкторій його точок.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ларін О. М. Геометричне моделювання фазових портретів дії подвійного маятника з пружинною ланкою / Ларін О. М., Місюра М. І. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2007. – Вип. 17. – С. 145 – 152.
2. Циглер Г. Основы теории устойчивости конструкций: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 191 с.
2. Томпсон Дж. М. Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 256 с.
3. Байков А. Е. Об устойчивости потенциальной механической системы со следящими и диссипативными силами / Байков А. Е., Красильников П. С. // ESMC Lisbon 2009 Minisymposium MS-4 Kinetics, Control and Vibroheology KIN-CONVIB, 2009. – P. 81-96.
4. Гуськов А. М. Особенности динамики механических систем под действием неконсервативных (циркуляционных) сил: учеб. пособие по курсам «Основы прикладной теории механических колебаний», «Теория устойчивости движения механических систем» / Гуськов А. М., Панов-ко Г. Я. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 53 с.

**Victoria V. Koval'chuk, PhD (Physico-Mathematical Sciences)**  
(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

**Olga V. Bambura, PhD (Physico-Mathematical Sciences)**  
(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

### THE METHODS OF THE INVESTIGATION OF THE DISTURBED MOTION OF THE ONE PENDULUM SYSTEM REVISITED

*The inverted mathematical pendulum with the follower force simulates structural elements of bridges and railway building supports, etc. Research of one's dynamical behavior characteristics allows optimizing its parameters in order to avoid operation conditions of mechanical system violation.*

*Model of three-link inverted mathematical pendulum with asymmetric follower force have been investigated. The follower force is applied to the upper end of the pendulum. This end is attached to a horizontal spring. Equations of the disturbed motions have been composed in the matrix form. Phase trajectories of the dynamic system were built in Maple computer algebra system. Method for constructing the curved of stationary states is shown. Periodic solutions of the equations of perturbed motion have been built using the continuation method.*

**Keywords:** *inverted mathematical pendulum, follower force, disturbed motion.*

### REFERENCES

1. *Larin O. M.* Geometric simulation of the phase portraits of the influence of a double pendulum with a spring link / *Larin O. M., Misyura M. I.* // Geometric and computer simulation. – Kharkiv: KhSUFTT, 17 (2007), pp. 145 – 152.
2. *Zigler H.* Principles of structural stability. 2. Edition. Basel-Stuttgart (Lehr- u. Handbücher d. Ing.-wissenschaften 35). Birkhäuser Verlag. 1977. – 150 S.
3. *Thompson J. M. T.* Instabilities and Catastrophes in Science and Engineering. – New York: Wiley, 1982.
4. *Baikov A. E.* Stability of the potential mechanical systems with a follower and dissipative forces revisited / *Baikov A. E., Krasilnikov P. S.* // ESMC Lisbon 2009 Minisymposium MS-24 Kinetics, Control and Vibroheology KINCONVIB, 2009. – pp. 81-96.
5. *Guskov A. M.* Behavior of the mechanical systems under the influence nonconservative (circulartig) forces specialties: study guide / *Guskov A. M., Panovko G. J.* – Moscow: Publ. Bauman MSTU, 2013. – 53 p.

УДК 629.46

*С. В. Мямлін, д.т.н., професор (проректор з наукової роботи,  
Дніпропетровський національний  
університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна) Л.  
А. Мурадян, к.т.н., доцент (доцент, Дніпропетровський  
національний університет залізнично-  
го транспорту імені академіка В. Лазаряна)*

### **ЗАСТОСУВАННЯ ОСНОВНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВАГОНІВ**

*У роботі запропоновані вирази для знаходження величини зносу деталей вагонів, що будуються на законах розподілу випадкових величин. Дано визначення імовірнісних показників надійності вагонів. Також побудовані залежності величин зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 та зі сталі підвищеної твердості марки Т для різних законів розподілу випадкових величин.*

*Ключові слова: надійність, вагон, закони розподілу випадкових величин, величина зносу.*

*В работе предложены выражения для нахождения величины износа деталей вагонов, которые строятся на законах распределения случайных величин. Дано определение вероятностных показателей надежности вагонов. Также построены зависимости величин износа гребней цельнокатаных колес из стали марки 2 и из стали повышенной твердости марки Т для различных законов распределения случайных величин.*

*Ключевые слова: надежность, вагон, законы распределения случайных величин, величина износа.*

**Постановка проблеми.** Одним з найважливіших завдань, які висувуються до рухомого складу залізниць – підвищення надійності, збільшення ресурсу вузлів і деталей, що, в свою чергу, вимагає створення нових або вдосконалення старих зразків вагонної техніки [1].

Надійність контролюється на всіх етапах створення нових зразків вагонів, зокрема і під час експлуатаційних випробувань, при яких накопичуються статистичні дані про їх зносний стан, відмови і пошкодження [2].

Збір і первинна обробка інформації, з урахуванням подальшої повної математичної обробки про надійність вагонів повинна забезпечити [3]:

- отримання порівнянних і об'єктивних даних про надійність вагонів та їх складових частин;
- можливість узагальнення результатів обробки інформації про надійність.

**© Мямлін С. В., Мурадян Л. А., 2015**

Збір та обробка інформації про надійність вагонів повинна проводитися з метою отримання достовірних даних, що забезпечують можливість і проведення [2]:

- конструктивних удосконалень з метою підвищення надійності;
- удосконалень технології виготовлення, складання, контролю та випробувань, спрямованих на забезпечення необхідного рівня надійності;
- організаційно-технічних заходів, спрямованих на дотримання правил технічної експлуатації, підвищення ефективності технічного обслуговування, підвищення якості ремонту та оптимізації витрат на його проведення.

Статистична інформація про надійність і технічний стан вагонів повинна забезпечити можливість вирішення таких завдань [2, 4]:

- визначення причин виникнення відмов і несправностей;
- встановлення і коригування нормованих показників надійності;
- виявлення систем, агрегатів, вузлів і деталей, що лімітують надійність вагонів;
- визначення номенклатури та кількості запасних частин і матеріалів;
- виявлення впливу умов і режимів експлуатації на надійність;
- визначення економічної ефективності від підвищення надійності деталей і вузлів вагонів.

Знання теоретичних законів розподілу показників надійності вагонів дає можливість прогнозувати їх надійність на певний період з певною ймовірністю і з урахуванням цього будувати технічну політику в галузі експлуатації.

Найбільше значення для вирішення завдань щодо забезпечення надійності вагонів мають такі закони розподілу випадкових величин [2, 3]: експоненціальний, нормальний та закон Вейбулла-Гнеденка.

Проаналізуємо основні закони розподілу, що застосовуються при описанні та прогнозуванні параметрів надійності вагонів.

**Аналіз літературних джерел.** У роботах [2 – 7] показано, що надійність складових вагонів можна описати теоретичними законами розподілу випадкових величин, такими як експоненціальний, нормальний та закон Вейбулла-Гнеденка.

Розподіл значень багатьох показників надійності підпорядковується експоненціальному закону.

Експоненціальний закон в теорії надійності знайшов найширше застосування, оскільки він простий для практичного використання [5, 6]. Практично всі завдання, які вирішуються в теорії надійності, з використанням закону експоненціального розподілу виявляються набагато простіше, ніж при використанні інших законів розподілу. Цей закон описує надійність роботи вагона в період його нормальної експлуатації, коли поступові (зносні) відмови ще не проявляються і надійність характеризується раптовими відмовами. Ці відмови викликаються несприятливим поєднанням різних факторів, і тому мають постійну інтенсивність відмов  $\lambda$ . Суттєвою ознакою цього закону є те, що він має один параметр.

Експоненціальним законом розподілу випадкових величин описується час безвідмовної роботи складових вагона до появи поступових відмов [3]. Крім того, цей закон використовуються при вирішенні проблем, пов'язаних з технічним обслуговуванням і ремонтом вагонів. Експоненціальний розподіл можна застосувати для опису часу безвідмовної роботи вагона, як системи з великим числом послідовно з'єднаних елементів, за умови, що кожен з елементів окремо не впливає на відмови інших елементів вагона. Застосування експоненціального закону в багатьох випадках дозволяє істотно спростити розрахункові формули.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Умова  $\lambda(t) = \lambda = const$  достатня для використання експоненціального закону розподілу при описанні надійності вагонів [3, 5, 7].

Гіпотезу про експоненціальний розподіл напрацювання до відмови можна перевірити статистично. Тобто, якщо конструкція вагона спроектована і виготовлена без грубих помилок, то крива інтенсивності відмови  $\lambda(t)$  має вигляд [3, 5], що приведений на рис. 1.

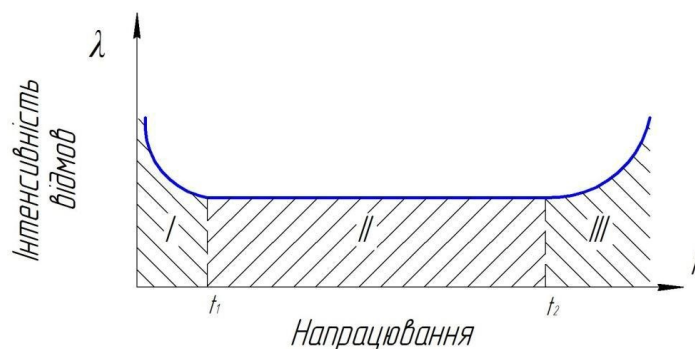


Рис. 1. Інтенсивність відмов вантажного вагона

Як бачимо з наведеної залежності, існує декілька часових інтервалів для інтенсивності відмов вагона. I зона для вагона характерна підвищеним значенням інтенсивності відмов. Пояснити таку ситуацію можна тим, що в будь-якій партії випущених вагонів чи їх складових при випробуваннях завжди присутні дефектні зразки, які утворюються внаслідок конструкторських, технологічних чи експлуатаційних помилок. Далі, ці зразки не беруть участі у випробуваннях. Тобто відбувається спадання інтенсивності відмов, що призводить до початку стану, що характерний II зоні, наведеній на рис. 1.

Дана зона відрізняється від інших постійністю інтенсивності відмов вагонів, тобто це є період нормальної експлуатації, який продовжується в інтервалі  $t_1 \dots t_2$  і, що є реальним терміном служби вагона.

Остання, III зона, характеризується поступовими втратою працездатності та накопиченням прихованих відмов у конструкції вагонів, тобто старінням. У цьому випадку, інтенсивність відмов вагонів підвищується через значні зміни властивостей: фізико-механічних, фізико-хімічних, трибологічних тощо.

Нормальний закон розподілу часто називають законом Гауса [5]. Цей закон займає важливе місце в описанні надійності вагонів і найчастіше використовується в теоретичних і практичних розрахунках в порівнянні з іншими законами розподілу.

Основна особливість цього закону полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближаються інші закони розподілу [6]. При описанні надійності вагонів нормальний закон розподілу використовують для опису поступових відмов, коли розподіл часу безвідмовної роботи на початку має низьку щільність, потім максимальну і далі щільність знижується, тобто нормальним розподілом описують напрацювання на відмову ходових частин вантажних вагонів внаслідок їх зносу і старіння.

Якщо на зміну значення випадкової величини (величини зносу) впливають багато, приблизно рівнозначних, чинників, то у такому разі розподіл завжди підкоряється нормальному закону.

Так, для вантажних вагонів в період їх старіння або прогресуючого зношування (рис. 1) напрацювання до відмови по зносному стану і, відповідно, періоди до капітального ремонту добре узгоджуються з нормальним законом розподілу.

Крива щільності розподілу нормального закону має симетричний, колоколоподібний вигляд. При цьому крива  $f(t)$  на 99,73% укладається в інтервал  $6\sigma$  [7]. Інакше кажучи, ймовірність влучення значення  $x$  в межі  $(t + 3\sigma)$  близька до одиниці.

Оскільки інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  монотонно зростає, то такий закон відносять до старіючих [6].

Серед існуючих безперервних розподілів закон Вейбулла-Гнеденка [7] один з найбільш вживаних в оцінці надійності вагонів за результатами випробувань та експлуатації, а також при вивченні розкидів у їх строках служби. Також його використовують для оцінки надійності вузлів, деталей і з'єднань вагонів. Таке широке використання цього закону пояснюється тим, що він являє собою двопараметричний розподіл. Слід зазначити, що за допомогою закону Вейбулла-Гнеденка можна описати випадковий процес утворення тріщин в різних матеріалах як в окремих частинах, так і у вагоні в цілому.

Також слід зазначити, що експоненціальний закон розподілу являє собою окремий випадок закону розподілу Вейбулла-Гнеденка (при  $a = 1$ ) [5-7]. Також існують й інші окремі випадки даного закону розподілу. Ця обставина надала можливість закону Вейбулла-Гнеденка широко застосовуватись при обробці значень показників надійності різної техніки, в т.ч. вантажних вагонів.

**Метою роботи** є визначення показників надійності вагонів із застосуванням основних законів розподілу випадкових величин та побудування залежностей величин зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 та зі сталі підвищеної твердості марки Т.

**Результати досліджень.** Запишемо основні ознаки, що властиві експоненціальному закону [5-7] для відповідних показників надійності вагона:

функція розподілу напрацювання до відмови:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0;$$

щільність розподілу:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0;$$

ймовірність відмов:

$$p(t) = \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0;$$

інтенсивність відмов:

$$\lambda(t) = \lambda = const.$$

Також пропишемо ознаки розподілу для нормального закону для відповідних показників надійності вагона.

Відповідно до [6], щільність розподілу нормального закону при описанні чи дослідженні надійності вагонів має вигляд:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right\},$$

де  $a$  і  $\sigma^2$  – математичне очікування і дисперсія розглядаємої випадкової величини.

Функція розподілу нормального закону при описанні чи дослідженні надійності вагона має вигляд [5]:

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \begin{array}{c} z \\ \sigma \end{array} \right)$$

Імовірність того, що значення випадкової величини  $\tau$  буде укладено в інтервалі  $t_1 \dots t_2$  підраховується за формулою:

$$P\{t_1 \leq \tau \leq t_2\} = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt = \Phi(z_2) - \Phi(z_1),$$

де  $\Phi(z_2)$  – функція, значення якої затабульовані [7].

У випадку, коли під випадковою величиною розуміється додатна величина  $\xi$  (наприклад, напрацювання до відмови ходової частини, тривалість ремонту вагона, його складових тощо), то необхідно використовувати зрізаний теоретичний розподіл [6]:

$$p(t) = P\{\xi \geq t\} = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \left( \begin{array}{c} (t-a) \\ 2\sigma^2 \end{array} \right) \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right) dt,$$

де множник  $c$  вибирається з умови  $P(0)=1$ . Оскільки середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  завжди значно менше, ніж величина  $a$ , то можна прийняти  $c = 1$ .

Пропишемо основні ознаки розподілу напрацювання до відмови за законом Вейбулла-Гнеденка відповідно до [5]:

функція розподілу має вигляд:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t^a),$$

де  $\lambda, a$  – параметри закону розподілу;

щільність розподілу описується залежністю:

$$f(t) = \lambda a t^{a-1} \cdot \exp(-\lambda t^a);$$

ймовірність відмови має наступний вигляд:

$$p(t) = \exp(-\lambda t^a);$$

інтенсивність відмов при використанні закону має таку залежність:

$$\lambda(t) = \lambda a t^{a-1}.$$

Величину зносу деталей або з'єднань вагонів можна визначити як експериментально, так і теоретично, спираючись на фізико-математичні засади [7, 8].

Але якщо відомі характеристики величини зносу деталей або з'єднань вагонів з відповідною ймовірністю, то розрахунок середньої величини зводиться до такого інтеграла [8, 9]:

$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot P \cdot dF, \tag{1}$$

де  $f(\Delta, F)$  – функціональна залежність величини зносу деталей або з'єднань вантажних вагонів від деякого параметра  $F$ .

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Оскільки були розглянуті закони розподілу для описання показників надійності, то запишемо залежності середньої величини зносу деталей або з'єднань вагонів.

Для нормального закону:

$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{F-\bar{F}}{2\sigma^2}\right) \cdot dF. \quad (2)$$

Для експоненціального закону:

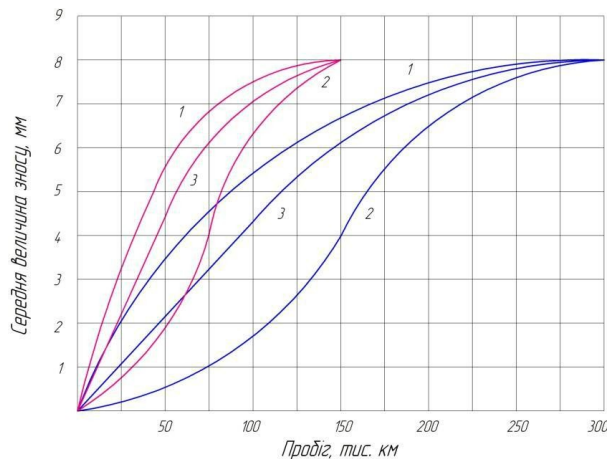
$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot \lambda \exp(-\lambda F) \cdot dF. \quad (3)$$

Для закону Вейбулла–Гнеденка:

$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot \lambda \alpha F^{\alpha-1} \exp(-\lambda F^{\alpha}) \cdot dF. \quad (4)$$

Тоді, покладемо, що параметр  $F$  являє собою пробіг вагона, а середню величину зносу покажемо на прикладі розподілення величини зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 та зі сталі підвищеної твердості марки Т, що виготовлені на ВАТ «Нижньодніпровський трубопрокатний завод». Останні призначені для збільшення міжремонтного пробігу і терміну служби коліс [10, 11].

Результати наведені на рис. 2.



**Рис. 2. Залежність середньої величини зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 (червоні лінії) та зі сталі підвищеної твердості марки Т (сині лінії) від пробігу для законів розподілу: 1 – експоненціального; 2 – нормального; 3 – Вейбулла-Гнеденка**

**Висновки.** На основі застосування основних законів розподілу випадкових величин: експоненціального, нормального та закону Вейбулла-Гнеденка дано визначення імовірнісних показників надійності вагонів. Запропоновані вирази для знаходження величини зносу деталей або з'єднань вантажних вагонів. Також побудовані залежності величин зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 та зі сталі підвищеної твердості марки Т для різних законів розподілу випадкових величин. Так, приведена залежність величин зносу гребенів суціль-

нокатаних коліс вказує, що використання нормального закону розподілу дає менш точні ознаки у порівнянні з експоненціальним законом, а закон Вейбулла-Гнеденка усереднює значення величини зносу, що вказує на прийнятність його застосування у описані відмов за зносом станом деталей та вузлів вагона.

### ЛІТЕРАТУРА

6. *Myamlin S.V.* The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing / Myamlin S.V., Baranovskiy D.M. // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». – 2014. № 7. – С. 61-66.
7. *Мурадян Л.А.* Определение количества объектов для проведения эксплуатационных испытаний вагонной техники / Л. А. Мурадян // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2013. – Вип. 139. – С. 83-86.
8. *Устич П.А.* Надежность рельсового нетягового подвижного состава / Устич П.А., Карпычев В.А., Овечников М.Н. – М.: УМЦ МПС России, 2004. – 416 с.
9. *Сирин Н.Ф.* Надежность технических систем. Вагоны / Сирин Н.Ф. – Екатеринбург, 2003. – 44 с.
10. *Бочаров П.П.* Теория вероятностей. Математическая статистика / Бочаров П.П., Печинкин А.В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 296 с.
11. *Булинский А.В.* Теория случайных процессов / Булинский А.В., Ширяев А.Н. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 408 с.
12. *Ивченко Г.И.* Введение в математическую статистику: Учебник / Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 600 с.
13. *Барановський Д.М.* Визначення залишкового ресурсу трибосистем / Барановський Д.М. // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – №4. – С. 127 – 129.
14. *Барановський Д.М.* Самоорганізація структур в процесі дисипації / Барановський Д.М. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. – № 8 (39). – С. 28 – 30.
15. *Мурадян Л. А.* Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес / Мурадян Л. А. Анофриев В. Г. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 206 – 210.
16. *Мямлин С.В.* Повышенный износ колес и рельсов – важнейшая проблема транспорта / Мямлин С.В., Блохин Е.П., Сергиенко Н.И. // Залізничний транспорт України: научно-практический журнал. – 2011. – № 1. – С. 10-14.

***S. V. Myamlin, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Vice-Rector On Scientific Work, Dnipropetrovsk National University of Railway  
Transport named after Academician V. Lazaryan)  
L. A. Muradian, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
named after Academician V. Lazaryan)***

### APPLICATION OF THE FUNDAMENTAL LAWS OF DISTRIBUTION OF RANDOM VARIABLES TO DETERMINE THE PARAMETERS OF RELIABILITY OF CARS

***Knowledge of theoretical laws of distribution reliability indices cars makes it possible to predict their reliability for a certain period with the corresponding probability and on the basis of technical policy in the build farm car. In this paper, on the basis of the basic laws of distribution of random variables: exponential, normal and Weibull and Gnedenko law defines probabilistic reliability indexes cars and offered expressions of values for wear or connections freight cars. Also built according to***

*the values of wear ridges rolled wheels of steel 2 and made of steel increased hardness grade T for different laws of distribution of random variables. The resulting dependence of wear ridges rolled wheels indicates that the use of normal distribution gives less accurate features compared to the exponential law, and the law Weibull and Gnedenko averages the values of wear, indicating the admissibility of its application in written refusals by the wear condition as parts and components car.*

**Keywords:** Reliability, the Car, the Laws of Distribution of Random Variables, Magnitude of Wear.

### REFERENCES

1. Myamlin S.V. & Baranovskii D.M. (2014) The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovskoho natsional'noho universytetu im. ak. V. Lazaryana «Problemy ekonomiky transportu», 7, 61-67 [in Ukraine].
2. Muradian L.A. (2013) Opredelenie kolichstva ob#ektov dlja provedenija jekspluatsionnyh ispytaniy vagonnoj tehniky [Determination of the number of facilities for the performance test wagon technology], Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'koï derzhavnoï akademii zaliznichnogo transportu. 139, 83-86 [in Ukraine].
3. Ustich P.A., Karpichev V.A., & Ovechnikov M.N. (2004) Nadezhnost' rel'sovogo netjagovogo podvizhnogo sostava [Reliability Non-tractive railway rolling stock]. Moscow: UMC MPS Russia [in Russian].
4. Sirina N.F. (2003) Nadezhnost' tehniceskikh sistem. Vagony [The reliability of technical systems. Carriages] Ekaterinburg, [in Russian].
5. Bocharov P.P., & Pechinkin A.V. (2005) Teoriya veroyatnostej [Matematicheskaja statistika Probability theory. Math statistics], Moscow: FIZMATLIT [in Russian].
6. Bulinskij A.V. & Shirjaev A.N. (2005) Teoriya sluchajnyh processov [The theory of stochastic processes]. Moscow: FIZMATLIT [in Russian].
7. Ivchenko G.I. & Medvedev Ju.I. (2010) Vvedenie v matematicheskiju statistiku: Uchebnik (Introduction to Mathematical Statistics: A Textbook) Moscow: Izdatel'stvo LKI [in Russian].
8. Baranovskii D.M. (2009) Vyznachennya zalyshkovoho resursu trybosystem [Determination of residual life tribosystems]. Problemy trybolohiyi, 4. 229-241 [in Ukraine].
9. Baranovskii D.M. (2009) Samoorhanizatsiya struktur v protsesi dysypatsiyi [Self dissipation structures in the]. Vostochno-Evropeyskyy zhurnalпередовыkh tekhnolohyy, 8 (39), 28-30 [in Ukraine].
10. Muradian L. A. & Anofriev V. G. (2010) Issledovanie dejstvujushhih uslovij jekspluatsii i analiz prichin sokrashhenija resursa raboty zheleznodorozhnykh koles [A study of existing conditions and analysis of the causes of reducing the service life of railway wheels]. Visnik Dnipropetrovskogo natsional'noho universitetu zaliznichnogo transportu im. akad. V. Lazarjana, 34, 206-210 [in Ukraine].
11. Myamlin S.V. Blohin E.P., & Sergienko N.I. (2011) Povyshennyj iznos koles i rel'sov – vazhnejshaja problema transporta [Increased wear of the wheels and rails - the most important problem of transport] Zaliznichnij transport Ukraïni: nauchno-praktichnij zhurnal, 1, 10-14 [in Ukraine].

УДК 629.4.067.4

*М. В. Ковтанець, к.т.н.*

*(старший викладач кафедри «Залізничний транспорт» Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля)*

### **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА И ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА**

*В работе рассматривается создание имитационной модели, описывающей процесс движения абразивного материала, которая позволяет установить влияние параметров системы подачи: углы наклона сопла в разных плоскостях, производительность системы, скорость движения и физико-механические характеристики абразивного сыпучего материала и т.п.) на динамику распределения его по ширине головки рельса в течение определенного времени.*

*Для реализации модели был разработан специальный моделирующий алгоритм, в соответствии с которым программно вырабатывается информация, описывающая элементарные процессы исследуемой системы с учетом взаимосвязей и взаимных влияний. Система подачи абразивного материала может одновременно содержать элементы непрерывного и дискретного действия, быть подверженной влиянию многочисленных случайных факторов, таких, как боковой ветер, завихрения воздуха в зоне контакта и другие, поэтому использование разработанной имитационной модели позволяет исследовать динамику функционирования процесса в течение определенного времени, легко изменять значения параметров исследуемого процесса и его начальные условия.*

*Проведенная серия численных экспериментов позволила установить, что наибольшую степень влияния на распределение абразивного материала по ширине головки рельса оказывает угол атаки струйно-абразивного потока и расстояние от сопла до поверхности рельса. Менее влияющими параметрами являются скорость потока частиц и диаметр сопла.*

*Ключевые слова: имитационная модель, моделирующий алгоритм, абразивный материал, колесо, рельс.*

*У роботі розглядається створення імітаційної моделі, яка описує процес руху абразивного матеріалу та дозволяє встановити вплив параметрів системи подачі: кути нахилу сопла в різних площинах, продуктивність системи, швидкість руху та фізико-механічні характеристики абразивного сыпучого матеріалу тощо) на динаміку розподілу його по ширині головки рейки протягом визначеного часу.*

© Ковтанець М. В., 2015

*Для реалізації моделі був розроблений спеціальний моделюючий алгоритм, відповідно до якого програмно виробляється інформація, що описує елементарні процеси досліджуваної системи з урахуванням взаємозв'язків і взаємних впливів.*

*Система подачі абразивного матеріалу може одночасно містити елементи безперервної і дискретної дії, підлягати впливу численних випадкових факторів, таких, як бічний вітер, завихрення повітря в зоні контакту та інші, тому використання розробленої імітаційної моделі дозволяє досліджувати динаміку функціонування процесу протягом визначеного часу, легко змінювати значення параметрів досліджуваного процесу і його початкові умови.*

*Проведена серія чисельних експериментів дозволила встановити, що найбільший ступінь впливу на розподіл абразивного матеріалу по ширині головки рейки надає кут атаки струминно-абразивного потоку і відстань від сопла до поверхні рейки. Параметрами, що менш впливають, є швидкість потоку частинок та діаметр сопла.*

*Ключові слова: імітаційна модель, що моделює алгоритм, абразивний матеріал, колесо, рейка.*

**Постановка проблеми.** Значительную роль в обеспечении жизнедеятельности многоотраслевой экономики Украины занимает железнодорожный транспорт, как один из важнейших составляющих транспортной системы страны. Эффективность эксплуатации железнодорожного транспортного средства в значительной степени зависит от реализуемой силы тяги. Изменяющийся в широких пределах коэффициент сцепления колеса с рельсом существенно ограничивает эффективное использование мощности локомотива в режимах тяги и торможения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На сегодняшний день проведен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований по разработке различных методов и устройств повышения эффективности подвижного состава [1, 2], в том числе реализуемой силы тяги и торможения [3 – 5]. Известны различные методы активного воздействия на фрикционный узел «колесо-рельс», которые обеспечивают значительное повышение тягово-сцепных и тормозных качеств локомотива за счет увеличения коэффициента сцепления, но по разным причинам они не получили широкого распространения.

В реальных условиях эксплуатации надежная работа железнодорожного транспорта достигнута исключительно за счёт применения кварцевого песка. Подача песка на рельсы перед колесами локомотива широко используется во всем мире, но наряду с неоспоримыми преимуществами (высокая эффективность, удобство использования, относительная дешевизна) имеет и явные недостатки [6]. Эти недостатки заставляют ученых и инженеров совершенствовать применяемые методы подачи песка (электризация песка, подача песчаной пасты, использование брикетов и др.) и разрабатывать новые устройства для их реализации, которые бы уменьшали негативные последствия его использования. Одним из возможных способов повышения эффективности использования песка является струйно-абразивное воздействие (САВ) на поверхности рельса (или колеса и рельса) [7 – 10]. В этом случае абразивный материал (песок) под действием сжатого воздуха направлено подается на поверхность рельса, оказывая воздействие на фрикционное состояние контакта «колесо – рельс».

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**Цель статьи.** Изучение процесса движения абразивных частиц из сопла с учетом различных факторов, обусловлено высокой сложностью получения и анализа результатов при проведении стендовых и натурных экспериментов. Поэтому целью статьи является создание имитационной модели, описывающей процесс движения абразивного материала, которая позволяет установить влияние параметров подачи (углы наклона сопла в разных плоскостях, производительность системы подачи, скорость движения и физико-механические характеристики абразивного сыпучего материала и т.п.) на динамику распределения его по ширине головки рельса в течение определенного времени.

**Изложение основного материала исследования.** Для реализации модели был разработан специальный моделирующий алгоритм, блок-схема, которого представлена на рис. 1. В соответствии с ним программно вырабатывается информация, описывающая элементарные процессы исследуемой системы с учетом взаимосвязей и взаимных влияний. При этом моделирующий алгоритм построен в соответствии с логической структурой системы, с сохранением последовательности протекающих в ней процессов и отображением основных состояний системы.

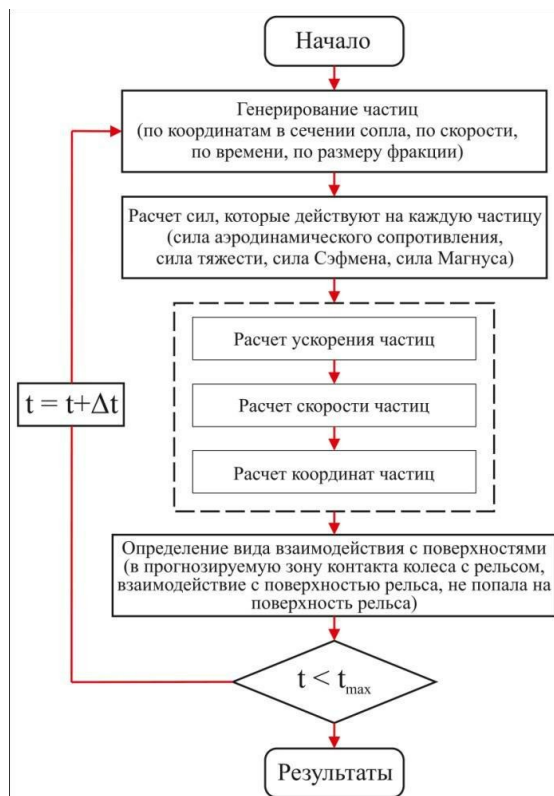


Рис. 1. Блок-схема алгоритма имитационной модели

Основными этапами работы разработанной модели являются:

1. Моделирование входных и внешних воздействий.
2. Воспроизведение работы моделируемого процесса (моделирующий алгоритм).
3. Обработка результатов моделирования и их интерпретация.

На основании созданной имитационной модели была разработана компьютерная программа «Моделювання руху абразивного матеріалу в зазорі «сопло – поверхня колеса та рейки», на которую получено свидетельство о регистрации

авторского права №47808. Данная программа основана на использовании алгоритмических моделей, реализуемых на персональном компьютере, для исследования процесса движения абразивных частиц [11 – 13].

Исследуемая система может одновременно содержать элементы непрерывного и дискретного действия, быть подверженной влиянию многочисленных случайных факторов (боковой ветер, завихрения воздуха в зоне контакта и т.д.), поэтому использование разработанной имитационной модели позволяет исследовать динамику функционирования процесса в течение определенного времени, легко изменять значения параметров исследуемого процесса и его начальные условия.

Результаты имитационного моделирования являются важным фактором для принятия решений при проверке новой идеи, так как это позволяет исследовать большое число альтернатив (вариантов решений), проигрывать различные сценарии при любых входных данных. Имитационное моделирование позволяет прогнозировать результаты, когда речь идет о проектируемой системе или исследуемых процессах в тех случаях, когда в реальности это приводит к экономическим затратам.

Так как данный метод моделирования является численным, то результаты, полученные по завершению моделирования, соответствуют фиксированным значениям параметров исследуемого процесса и его начальных условий. Для анализа разработанного метода приходится многократно моделировать процесс его функционирования, варьируя исходными данными, набирая, таким образом, статистику результатов, которую затем можно аппроксимировать.

В основе разработанной имитационной модели лежит метод частиц (дискретно-элементный), предполагающий вычисление положения и соответствующих параметров, каждой моделирующей частицы в различные моменты времени, а также важной особенностью данного метода является возможность учета влияния большого числа разнообразных по природе факторов. Это позволяет получить детальную пространственно-временную картину распределения потока частиц на исследуемой поверхности. Модель движения двухфазного потока описывает движение частиц, учитывая столкновения частиц в потоке и их отражение от поверхности рельса или колеса. Выполняя численное моделирование движения потока частиц – распределение по размерам, скорости, времени и их пространственное расположение по сечению сопла (координаты каждой частицы), в начальный момент времени определяется условиями задачи, а также технологическими параметрами подающего устройства. Каждая моделирующая частица ставится в соответствие с одной реальной частицей, число которых в вычислительном эксперименте определяется исходя из объемной концентрации потока, заданного в начальных условиях. Частицы моделируются твердыми шарами с заданной плотностью. Расчетная схема модели движения частиц представлена на рис. 2.

При описании двухфазного потока (твердых абразивных частиц в воздушном потоке) использован дискретно-траекторный подход (Эйлер-Лагранж). Это обосновано выбором метода частиц для создания модели и тем обстоятельством, что такой подход используется для моделирования двухфазных потоков с твердой фазой. При этом для частиц используется метод Лагранжа, а для воздушной фазы – метод Эйлера [14, 15, 16].

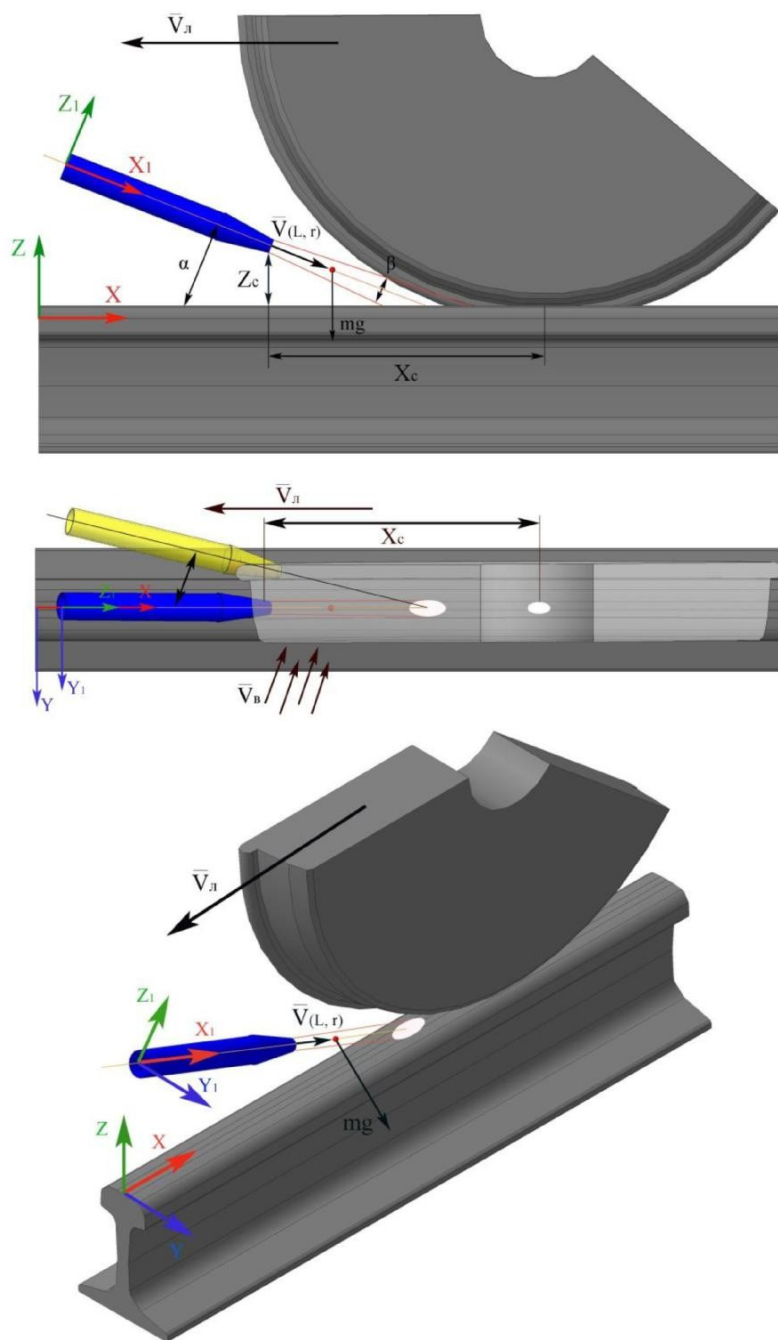


Рис. 2. Расчетная схема модели движения абразивных частиц

Для моделирования исследуемой системы на компьютере в качестве компьютерной программы, моделирующий алгоритм (рис. 1) был записан на входном универсальном алгоритмическом языке C++ в среде Borland C++ Builder 6.0 [12]. Реализация разработанной модели производилась на персональном компьютере с высокой производительностью. В окне интерфейса программы производится ввод исходных данных для выполнения моделирования (рис. 3).



Рис. 3. Расчетная схема модели движения абразивных частиц

Алгоритм работы имитационной модели движения абразивного материала от сопла до поверхности контакта колеса и рельса (рис. 1) представляет собой следующую последовательность действий:

1. По заданному расходу песка  $Q_n$  и математическому ожиданию размера абразивных частиц определяется производительность системы подачи песка (количество частиц в единицу времени). Затем, используя модель пуассоновского потока, каждой частице «назначается» время появления  $t_i$  в интервале  $0 \dots t_{\Sigma}$ . Кроме того, каждой частице случайным образом задаются:

- начальные координаты  $(y_i, z_i)$  в сечении сопла;
- скорость движения на выходе из сопла в диапазоне  $V_i = V_0 \pm \Delta V$ , где  $\Delta V = 0,05 \cdot V_0$ ;
- ориентацию скорости  $V_i$ ;
- угол  $\beta \cdot r/r_c$  к оси потока;
- размер частиц в соответствии с распределением.

2. На каждом шаге интегрирования, по сгенерированной последовательности появления частиц, проверяется необходимость включения в расчет частиц по условию  $t \geq t_i$ , где  $t$  текущее расчетное время. Если условие  $t \geq t_i$  выполняется, то частица включается в список частиц, находящихся в полете.

3. Для каждой частицы, находящейся в полете, определяются силы, действующие на частицу. Используя алгоритм Верле, осуществляется вычисление положения частицы по ее предыдущему  $r(t - \Delta t)$  и настоящему  $r(t + \Delta t)$  место-

положению. Учитывая, что первая производная по времени есть скорость  $v(t)$ ,

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

---

а вторая – ускорение  $a(t)$ , численное интегрирование уравнений движения можно записать в виде:

$$r(t + \Delta t) = r(t) + v(t)\Delta t + \frac{1}{2} a(t)\Delta t^2 + \frac{1}{6} b(t)\Delta t^3 + O(\Delta t^4), \quad (1)$$

$$r(t - \Delta t) = r(t) - v(t)\Delta t + \frac{1}{2} a(t)\Delta t^2 - \frac{1}{6} b(t)\Delta t^3 + O(\Delta t^4), \quad (2)$$

где  $t$  – время;

$\Delta t$  – шаг интегрирования по времени;

$t$

$r(t)$  – положение частицы в момент времени  $t$ ;

$v(t)$  – скорость частицы;

$a(t)$  – ускорение частицы.

Сложив эти два уравнения и выразив  $r(t + \Delta t)$ , получим: (3)

$$r(t + \Delta t) = 2r(t) - r(t - \Delta t) + a(t)\Delta t^2 + O(\Delta t^4).$$

Поскольку интегрируем уравнения Ньютона, ускорения частиц легко считаются через силу, которая в свою очередь есть функция положения  $r(t)$ :

$$a(t) = \frac{F(r(t))}{m} = -\frac{1}{m} \nabla U_p(r(t)), \quad (4)$$

где  $m$  – масса частицы;

$U_p$  – потенциальная энергия частицы.

Выражение для скорости может быть получено путем вычитания уравнения (1) из уравнения (2):

$$v(t) = \frac{1}{2\Delta t} [r(t + \Delta t) - r(t - \Delta t)] + O(\Delta t^2). \quad (5)$$

В результате определяются новые значения ускорений, скоростей и координат частиц.

4. Используя новые координаты частиц, осуществляется проверка взаимодействия частицы с поверхностью рельса (колеса). Возможны несколько вариантов взаимодействия:

– частица движется в направлении поверхности рельса → не предпринимается никаких дополнительных действий;

– частица достигла поверхности → определяются параметры взаимодействия частицы с поверхностью (скорость частицы в момент удара, угол атаки, координаты точки поверхности, скорость с которой частица отразилась от поверхности), информация о взаимодействии вносится в статистику взаимодействий частиц с поверхностью;

– частица попала в зону контакта колеса с рельсом → информация вносится в статистику частиц попавших в контакт и частица исключается из дальнейшего рассмотрения;

– частица пересекла границы пространства, в котором возможно столкновение с поверхностью рельса (колеса) → частица исключается из дальнейшего рассмотрения.

5. Если время расчета не превысило  $t_{\Sigma}$ , то вычисления продолжают, начиная со второго пункта данного алгоритма.

---

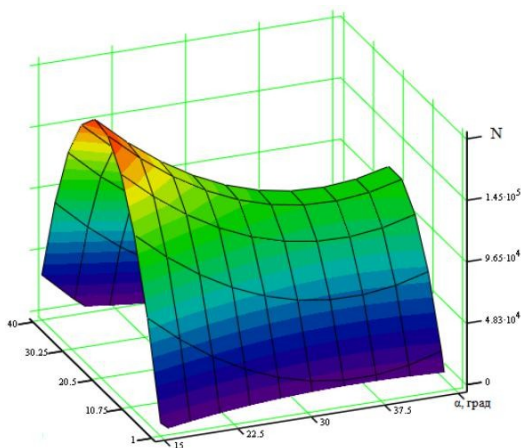


## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

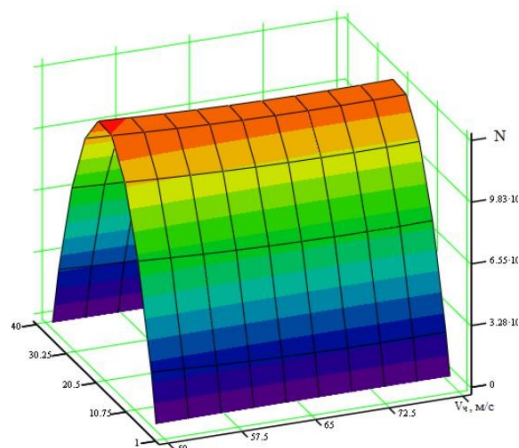
6. После окончания расчетов происходит обработка статистической информации о взаимодействиях частиц с поверхностью, а так же о частицах, попавших в контакт колеса с рельсом.

С помощью разработанной имитационной модели движения абразивного материала и компьютерной программы для ее реализации, проведена серия численных экспериментов с целью определения влияния параметров системы подачи абразивного материала на его распределение по ширине головки рельса [17].

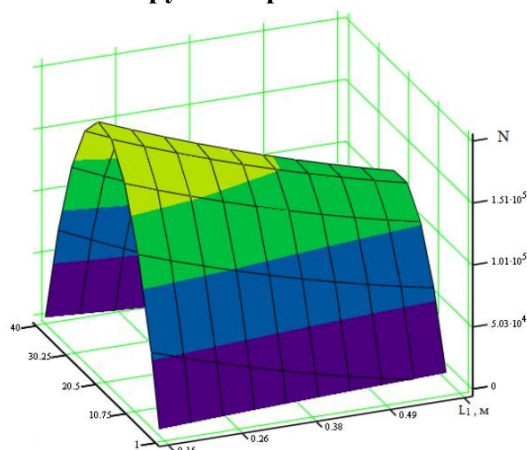
Для удобства определения координат каждой частицы, ширина головки рельса разбивалась на 40 участков, результаты моделирования представлены на рис. 4 – 7.



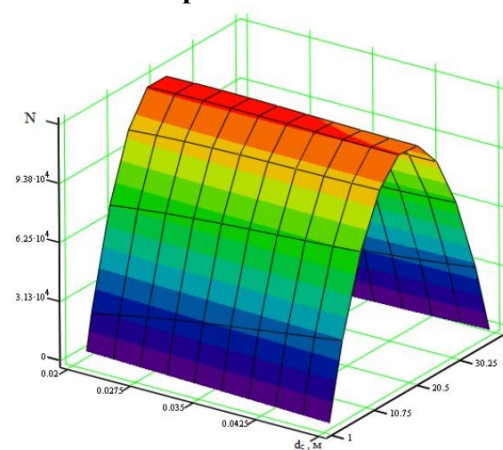
**Рис. 4. Зависимость распределения абразивного материала по ширине головки рельса при изменении угла атаки струйно-абразивного потока**



**Рис. 5. Зависимость распределения абразивного материала по ширине головки рельса при изменении скорости потока**



**Рис. 6. Зависимость распределения абразивного материала по ширине головки рельса при изменении расстояния от сопла до поверхности рельса**



**Рис. 7. Зависимость распределения абразивного материала по ширине головки рельса при изменении диаметра сопла**

**Выводы и перспективы дальнейшего использования.** Проведенная серия численных экспериментов позволила установить, что наибольшую степень влияния на распределение абразивного материала по ширине головки рельса оказывает угол атаки струйно-абразивного потока и расстояние от сопла до поверхности рельса. Менее влияющими параметрами являются скорость потока и диаметр сопла.

Полученные результаты дают возможность оценить влияние конструкционных параметров подающего устройства системы САВ на распределение абразивного материала по ширине головки рельса, а также учитывать в процессе моделирования эксплуатационные условия.

Полученные данные позволяют спрогнозировать характеристики подающего устройства системы САВ при его конструировании и управлять им в процессе эксплуатации локомотива.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Фомін, О.В.* Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О.В.Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с
2. *Фомін, О.В.* Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
3. *Хлебников В.Н.* Исследование способов увеличения коэффициента сцепления колес с рельсами / В.Н. Хлебников // Железнодорожный транспорт за рубежом. – М.: ЦНИИТЭИ МПС, №4(174), 1976. – С. 18 – 34.
4. *Ковтанец М.В.* Применение экспертного оценивания для принятия технического решения [Электронный ресурс] / М.В. Ковтанец, Е.А. Кравченко, Н.Н. Горбунов, Г.А. Бойко, О.В. Просвинова // Наукові вісті Давіського університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 7. – Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_7/Tehno/12kmvptr.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/Tehno/12kmvptr.pdf). – Назва з екрану.
5. *Gorbunov N.* Clutch control in the system of «wheel-rail»/ N. Gorbunov, M. Kovtanets, O. Prosvirova, E. Garkushin // Silesian University of Technology Faculty of Transport(Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440
6. *Kovtanets M.* Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / Maksim Kovtanets, Nicholas Gorbunov, Olga Prosvirova, Sergei Sosnovenko, Vitali Astakhov // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2012. – Vol. 12, No.4. – P. 90-96.
7. *Патент* на корисну модель №48516 Спосіб підвищення зчеплення в зоні контакту колеса з рейкою МПК (2009) В61С 15/00 / Голубенко О.Л., Горбунов М.І., Кашура О.Л., Костюкевич О.І., Кравченко К.О., Попов С.В., Ковтанець М.В., Крисанов М.А.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – u200908745; заявл. 20.08.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6. – 4 с.
8. *Патент* на корисну модель №69853 Система підвищення коефіцієнта зчеплення в зоні контакту колеса з рейкою МПК (2011) В61С 15/10 / Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Кравченко К.О., Могила В.І., Петренко В.О., Ноженко В.С., Ноженко О.С.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – № u201114163, заявл. 30.11.2011 р.; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 5 с.
9. *Патент* на корисну модель №77313, кл. В61С 15/10 Спосіб підвищення зчеплення в зоні контакту колеса з рейкою / заявник і власник Мокроусов С.Д., Горбунов М.М., Ковтанець М.В., Щербаков В.П., Могила В.І., Найш Н.М. – u201208878; заявл. 18.07.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 5 с.
10. *Ковтанец М.В.* Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / М.В. Ковтанец; ВНУ им. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.
11. *Gorbunov N.* Simulation model of abrasive material motion / Nicholay Gorbunov, Maksim Kovtanets, Rostislav Demin // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2014. – Vol. 14, No.1. – P. 60-72.
12. *Ковтанец М.В.* Работа имитационной модели движения абразивного материала из сопла / М.В. Ковтанец, Н.И. Горбунов // Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: тезисы 3-й Международной научно-практической конференции (27 – 28 февраля 2014 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 45 – 47.

13. *Свідчення* про реєстрацію авторського права на твір № 47808 від 14.02.2013. Комп'ютерна програма «Моделювання руху абразивного матеріалу в зазорі «сопло-поверхня колеса та рейки» / М Горбунов, М.В. Ковтанець, О.І. Костюкевич, К.О. Кравченко, О.В. Просвірова.
14. *Хокни Р.* Численное моделирование методом частиц: Пер. с англ. / Р. Хокни, Дж. Иствуд – М.: Мир, 1987. – 640 с.
15. *Вараскин А.Ю.* Турбулентное течение газа с твердыми частицами / А.Ю. Вараскин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 192 с.
16. *Белоцерковский О.М.* Метод крупных частиц в газовой динамике / О.М. Белоцерковский, Ю.М. Давыдов. – М.: Наука, 1982. – 392 с.
17. *Горбунов Н.И.* Моделирование распределения абразивного материала по поверхности рельса при различных условиях подачи / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, О.В. Просвірова // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 4-6 листопада 2014 р., м. Северодонецьк. – СНУ ім. В. Даля, 2014. – С. 18-20.

*Maksim V. Kovtanets, PhD (Technical Sciences)*  
*(Senior lecturer of Railway Transport Chair of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University)*

### **SIMULATION MODELING OF THE ABRASIVE MATERIAL MOVEMENT PROCESS AND ITS DISTRIBUTION OVER THE RAIL HEAD SURFACE**

*The paper discusses the creation of a simulation model that describes the movement process of abrasive material, which allows to determine the influence of system parameters: the inclination angles of the nozzle in different planes, system performance, speed, physical and mechanical properties of abrasive granular material, etc. on the dynamics of distribution across the width of the rail head within a certain time. The modeling algorithm for the implementation of the model has been developed, in accordance with which information describing the elementary processes of the studied system taking into account the interactions and mutual influences is gained. The supplying system of abrasive material may simultaneously contain elements of continuous and discrete actions as it is influenced by many random factors such as wind, air turbulence in the contact zone and the other, therefore the use of the developed simulation model allows to investigate the dynamics of the functioning of the process within a certain time, it is easy to change the values of the parameters of the studied process and its initial conditions. A series of numerical experiments has allowed to establish that the highest degree of influence on the distribution of the abrasive material across the width of the rail head has the angle of attack of the jet-abrasive flow and the distance from the nozzle to the surface of the rail. Less influencing parameters are the flow rate of particles and the diameter of the nozzle.*

*Keywords: simulation model, simulation algorithm, abrasive material, wheel, rail.*

### **REFERENCES**

1. *Fomin, O. V.* (2013). Optymizatsiine proektuvannya elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvagoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva. – Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 251.
2. *Fomin O. V.* (2014) Doslidzenja defektiv ta poskodgen nesuchykh system zaliznychnykh napivvagoniv [Research Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine. – 299 pp.

3. *Hlebnikov V.N.* Issledovanie sposobov uvelichenija koeficienta sčeplenija koles s relsami [Study ways to increase the coefficient of friction of the wheels with the rails]. *Zheleznodorozhnyj transport za rubezhom – Railway transport overseas.* – Moscow, 1976, issue 4(174), pp. 18 – 34.
4. *Kovtanets M.V., Kravchenko E.A., Gorbunov N.N., Bojko G.A., Prosvirova O.V.* Primenenie jekspertnogo ocenivanja dlja prinjatija tehničeskogo reshenija (The use of expert estimation for adoption of the technical solution). *Naukovi visti Dalivskogo universitetu – Science news Dahl University. 2012. issue 7.* Available at: [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_7/Tehno/12kmpvptr.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/Tehno/12kmpvptr.pdf)
5. *Gorbunov N.* Clutch control in the system of «wheel-rail»/ N. Gorbunov, // Silesian University of Technology Faculty of Transport(Poland). // *Transport Problems*, 2011, p. 432 – 440.
6. *Kovtanets M.* Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / Maksim Kovtanets, Nicholas Gorbunov, Olga Prosvirova, Sergei Sosnovenko, Vitali Astakhov // TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2012. – Vol. 12, No.4. – P. 90 – 96.
7. *Golubenko O.L., Gorbunov M.I., Kashura O.L., Kostjukevich O.I., Kravchenko K.O., Popov S.V., Kovtanets M.V., Krisanov M.A.* Sposib pidvishhennja zčeplennja v zoni kontaktu kolesa z rejkoju [The method of improving grip in the contact zone of the rail wheels]. Patent UA, no. u200908745, 2010.
8. *Gorbunov M.I., Kovtanets M.V., Kravchenko K.O., Mogila V.I., Petrenko V.O., Nozhenko V.S., Nozhenko O.S.* Sistema pidvishhennja koeficientu zčeplennja v zoni kontaktu kolesa z rejkoju [The system of enhanced grip in the contact zone of the rail wheels]. Patent UA, no. u201114163, 2012.
9. *Mokrousov S.D., Gorbunov M.M., Kovtanets M.V., Shherbakov V.P., Mogila V.I., Najsh N.M.* Sposib pidvishhennja zčeplennja v zoni kontaktu kolesa z rejkoju [The method of improving grip in the contact zone of the rail wheels]. Patent UA, no. u201208878, 2013.
10. *Kovtanets M.V.* Uluchshenie sčepnyh harakteristik lokomotiva strujno-abrazivnym vozdejstviem na zonu kontakta dvizhushhego kolesa s relsom PhD Diss. [Improving the cohesion characteristics of the locomotive with the jet-abrasive impact on the contact zone of the driving wheel and rail PhD Diss.]. – Severodonetsk, 2015. – 206 p.
11. *Gorbunov N.* Simulation model of abrasive material motion / Nicholay Gorbunov, Maksim Kovtanets, Rostislav Demin // TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2014. – Vol. 14, No.1. – P. 60-72.
12. *Kovtanets M.V., Gorbunov N.I.* Rabota imitacionnoj modeli dvizhenija abrazivnogo materiala iz sopla [Work simulation model of the movement of the abrasive nozzle]. Tezisy 3-j Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii (27.02-28.02.2014) «Perspektivy vzaimodejstvija zheleznyh dorog i promyshlennyh predpriyatij» [Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference (27.02-28.02.2014) «Prospects of cooperation of railways and industrial enterprises»]. – Dnepropetrovsk, 2014, pp. 45 – 47.
13. *Gorbunov M.M., Kovtanets M.V., Kostjukevich O.I., Kravchenko K.O., Prosvirova O.V.* Modeljuvannja ruhu abrazivnogo materialu v zazori «soplo-poverhnja kolesa ta rejki» [Modeling the movement of abrasive material in the gap «nozzle-surface wheels and rails»]. The certificate of registration of copyright, no. 47808, 2013.
14. *Hokni R., Istvud Dzh.* Chislennoe modelirovanie metodom chastic [Numerical simulation by particles]. – Moscow, Mir Publ., 1987. – 640 p.
15. *Varaskin A.Ju.* Turbulentnoe tečenie gaza s tverdymi chasticami [Turbulent flow of gas and solid particles]. – Moscow, FIZMATLIT Publ., 2003. – 192 p.
16. *Belocerkovskij O.M., Davydov Ju.M.* Metod krupnyh chastic v gazovoj dinamike [The method of large particles in the gas dynamics]. – Moscow, Nauka Publ., 1982. – 392 p.
17. *Gorbunov N.I., Kovtanets M.V., Prosvirova O.V.* Modelirovanie raspredelenija abrazivnogo materiala po poverhnosti relsa pri razlichnyh uslovijah podachi [Modeling the distribution of the abrasive material on the rail surface at various feed conditions]. Zbirnik naukovih prac (04.11-06.11.2014) «Logistichne upravlinnja ta bezpeka ruhu na transporti» [Collected Works (04.11-06.11.2015) «Logistics management and traffic safety in transport»]. – Severodonetsk, 2014. – pp. 18 – 20.

УДК 620.9:658.011.56

- Ю. В. Черняк, к.т.н, доцент (доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ) М. О. Ревчук (асистент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ) В. М. Олійник (аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ) С. В. Малюк (аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ) О. С. Волосюк (магістрант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРО-МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ІЗ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ В СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK MATLAB**

*У статті розглянута математична модель широтно-імпульсного регулювання напруги двигуна постійного струму, визначено параметри двигуна і перехідні процеси в широтно-імпульсному перетворювачі. За допомогою розробленої моделі були отримані графіки перехідних процесів при пуску двигуна постійного струму послідовного збудження пид час його роботи на навантаження, яким є генератор з незалежним збудженням. Наведено результати моделювання в Simulink Matlab і експериментів на стенді.*

*Ключові слова:* двигуни постійного струму, широтно-імпульсне регулювання напруги, модель електроприводу, математичне моделювання, Simulink Matlab, перенапруга, IGBT транзистор.

*В статье рассмотрена математическая модель широтно-импульсного регулирования напряжения двигателя постоянного тока, определены параметры двигателя и переходные процессы в широтно-импульсном преобразователе. С помощью разработанной модели были получены графики переходных процессов при пуске двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при его работе на нагрузку, которой является генератор с независимым возбуждением. Приведены результаты моделирования в Simulink Matlab и экспериментов на стенде.*

*Ключевые слова:* двигатели постоянного тока, широтно-импульсное регулирование напряжения, модель электропривода, математическое моделирование, Simulink Matlab, перенапряжение, IGBT транзистор.

© Черняк Ю.В., Ревчук М.О., Олійник В.М., Малюк С.В., Волосюк О.С., 2015

**Вступ.** У даний час на залізницях України експлуатуються електровози постійного струму, в яких пуск, а також регулювання напруги на тягових двигунах здійснюється за допомогою використання реостатів. Суть використання реостатів полягає у тому, що в момент пуску і розгону електровоза для збільшення напруги на затискачах тягових двигунів і підтримання необхідного струму і сили тяги, виводять ступенями пускові реостати, тобто здійснюють реостатний пуск. В період реостатного пуску, якорі тягових двигунів розвивають частоту обертання від нуля до значення, що відповідає виходу на безреостатну характеристику. Як наслідок, при такому способі регулювання існує лише три ходових позиції, на яких допускається довготривала робота. На позиціях, коли включений реостат, не допускається довготривала експлуатація, для запобігання перегріву реостатів [1]. Таким чином, існує два значних недоліки реостатного регулювання напруги:

- мала кількість ходових позицій;
- значні втрати електричної енергії на реостатах.

У пускових резисторах втрачається велика кількість електричної енергії в період пуску електровоза. Так, наприклад, в пускових реостатах електровоза ВЛ8 втрачається близько 25 – 30 % всієї електричної енергії, що витрачається на живлення двигунів до виходу на безреостатну позицію. За один пуск електропоїзда ЕР1 в пускових реостатах витрачається близько 4,6 кВт\*год. електричної енергії. Розрахунки і дослідні поїздки свідчать, що із зменшенням часу розгону і зниженням швидкості руху при виході на безреостатну позицію зменшуються втрати електричної енергії в пускових реостатах [2]. Але це не дає можливості усунути ці втрати.

На кафедрі «Тяговий рухомий склад залізниць» був розроблений і виготовлений діючий стенд «Модель тягового електроприводу з широтно-імпульсним регулюванням напруги двигунів постійного струму», за допомогою якого можна емітувати процеси пуску і перегрупування тягових двигунів електровозів постійного струму. Під час дослідження стенду тягового електроприводу, живлення якого здійснювалося від джерела постійної напруги, були досліджені перехідні процеси на ключовому елементі (IGBT-транзистор) та на електродвигуні.

**Побудова моделі широтно-імпульсного регулювання напруги на двигуні постійного струму послідовного збудження в Simulink Matlab.**

При проведенні випробувань стенду «Модель електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів» виникли проблеми пов'язані з перенапругами на ключовому елементі. Схема стенду зображена на рис. 1. Для подальших досліджень було створено математичну модель широтно-імпульсного регулювання напруги в програмному середовищі Simulink Matlab, модель зображена на рис. 2.

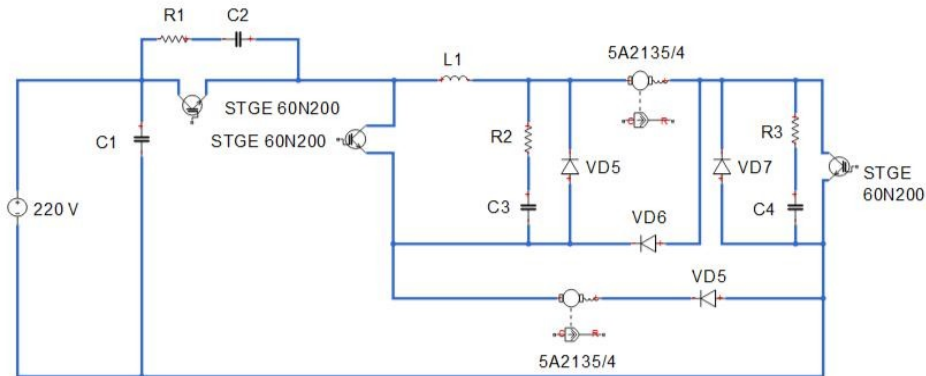


Рис. 1. Схема електрична принципова «Модель електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів»

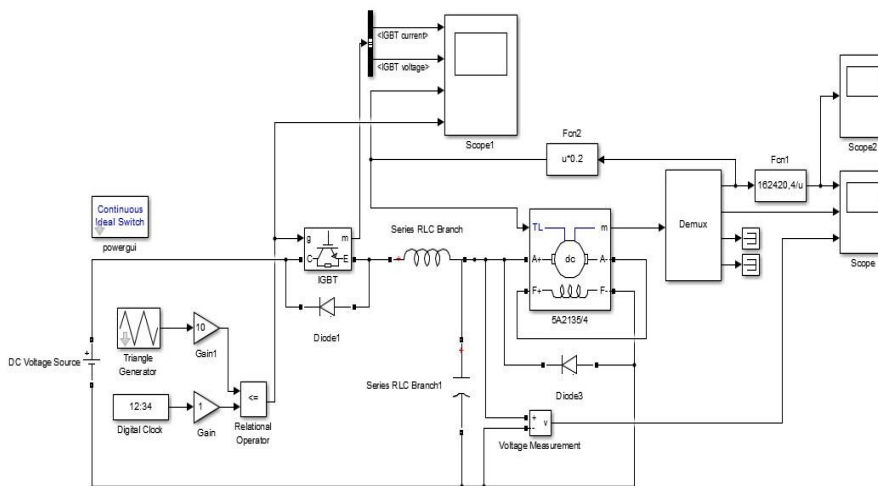


Рис. 2. Схема моделі стенду «Модель електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів»

Схема складається із: джерела живлення постійної напруги (DC Voltage Source), IGBT-транзистор (IGBT), дросель (Series RLC Branch), двигун (5A2135/4), осцилографи (Scope, Scope1).

Для реалізації моделювання процесу пуску двигуна шляхом зміни скважності імпульсів перетворювача використана схема поетапного розширення широти імпульса з кроком в 10% кожну секунду. Цей процес забезпечується схемою, що складається з: генератора пилоподібної напруги (Triangle Generator), цифрового годинника (Digital Clock), які призначені для регулювання ширини імпульсів керування транзистором; підсилювача (Gain, Gain1), компаратора (Relational Operator), вимірювача напруги (Voltage Measurement), демультимплектора (Demux). Всі елементи взяті з бібліотеки SimPowerSystems. Параметри елементів моделі відповідають реальним. При створенні стенду «Модель електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

---

двигунів» були використанні такі елементи: двигун – 5A2135/4 (рис. 3), який має параметри зображені на рис. 7, IGBT-транзистор – STGE60N200 (рис. 4).

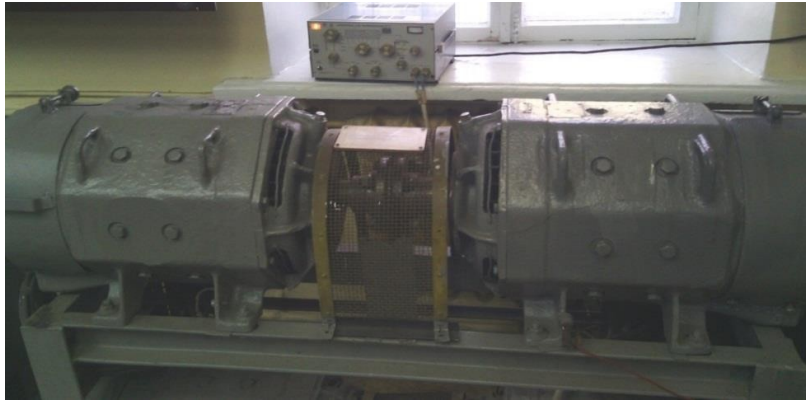


Рис. 3. Двигун 5A2135/4

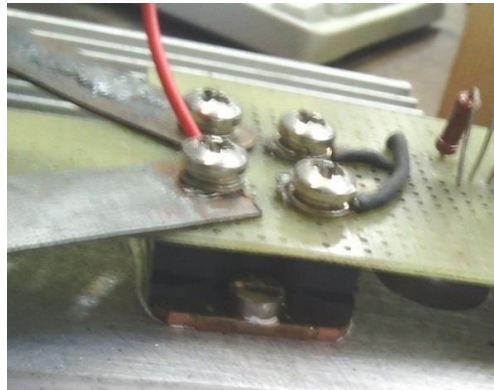


Рис. 4. IGBT транзистор STGE60N200

Для забезпечення точності моделі двигуна в Simulink були проведені виміри параметрів двигуна на стенді. Результати вимірів були внесені в математичну модель рис. 2.

Для захисту від перенапруг ключового елемента (IGBT транзистора STGE 60N200) були підібрані параметри снаберного ланцюга. На рис. 6 зображено всі параметри транзистора.

Опис параметрів IGBT транзистора STGE 60N200 (рис. 6):

Resistance  $R_{on}$  (Ohms) – внутрішній опір, Ом. Параметр опору  $R_{on}$  не може бути встановлений 0, якщо параметр індуктивності  $L_{on}$  має значення 0.

Inductance  $L_{on}$  (H) – внутрішня індуктивність, в Генрі, Н. Параметр індуктивності  $L_{on}$  зазвичай встановлюють 0, за виключенням, якщо параметр внутрішньо-го опору  $R_{on}$  встановлений 0.

Forward voltage  $V_f$  (V) – пряме падіння напруги IGBT пристрою, в Вольтах, В.

Current 10% fall time  $T_f$  (s) – поточний час падіння струму, в секундах, с. Цей параметр не моделюється, якщо увімкнене використання ідеальних перемикаючих пристроїв параметра блоку PowerGUI.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Current tail time  $T_f$  (s) – повний час падіння струму, в секундах, *s*. Цей параметр не моделюється, якщо увімкнене використання ідеальних перемикаючих пристроїв параметра блока PowerGUI.

Initial current  $I_c$  (A) – початковий струм, в Амперах, *A*. Можливо вказати початковий струм в IGBT, який, як правило, встановлений 0. Якщо початковий параметр  $I_c$  встановлений значенням, яке більше 0, тоді при моделюванні початковий стан IGBT вважається закритим.

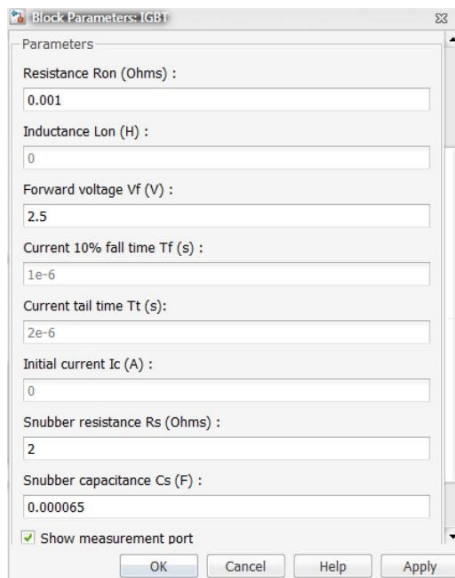


Рис. 6. Параметри транзистора

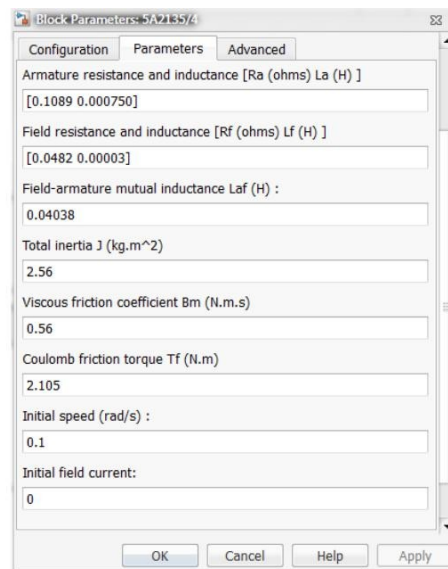


Рис. 7. Параметри двигуна

Snubber resistance  $R_s$  (Ohms) – опір демпфера, в Омах, *Ом*. Встановивши параметр опору демпфера  $R_s$  в *inf*, означає усунути демпфер від моделі.

Snubber capacitance  $C_s$  (F) – демпфер ємність, в Фарадах, *F*. Встановивши параметр демпфер  $C_s$  в 0, щоб увімкнути демпфер, або *inf* – резистивний демпфер.

Опис параметрів двигуна 5A2135/4 (рис. 7):

Armature resistance and inductance [ $R_a$  (Ohms)  $L_a$  (H)] – активний опір якоря, в Омах, *Ом*, та індуктивність якоря, в Генрі, *H*.

Field resistance and inductance [ $R_f$  (ohms)  $L_f$  (H)] – активний опір обмотки збудження двигуна, в Омах, *Ом*, та індуктивність обмотки збудження двигуна, в Генрі, *H*.

Field-armature mutual inductance  $L_{af}$  (H) – взаємна індуктивність обмотки якоря та обмотки збудження, в Генрі, *H*.

Total inertia  $J$  ( $\text{kg.m}^2$ ) – загальна інерція машини постійного струму, в кілограмах метр квадратний, *кг. м<sup>2</sup>*.

Viscous friction coefficient  $B_m$  (N.m.s) – загальний коефіцієнт тертя машини постійного струму, в Ньютон метр секунда, *Н.м.с*.

Coulomb friction torque  $T_f$  (N.m) – загальний Кулонівський момент тертя, постійний коефіцієнт машини постійного струму, в Ньютон метрах, *Н.м*.

Initial speed (rad/s) – початкова швидкість обертання машини постійного струму, в радіанах за секунду, *рад/с*.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Двигун стенду навантажений на ідентичну електричну машину, яка є генератором незалежного збудження. Дана машина створює момент опору двигуну (1):

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (1)$$

де  $P$  – потужність, Вт;  
 $\omega$  – кутова швидкість, рад/с; Кутову швидкість можна привести до радіан за секунду через оберти за хвилину тривіально:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (2)$$

Звідси момент опору:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 60}{2\pi \cdot n} \quad (3)$$

Результат підстановки даних в формулу зображений в блоці Fcn2 (рис. 2).

У результаті проведеного моделювання були отримані такі осцилограми (рис. 9, 10) та графік швидкості обертання (рис. 8).

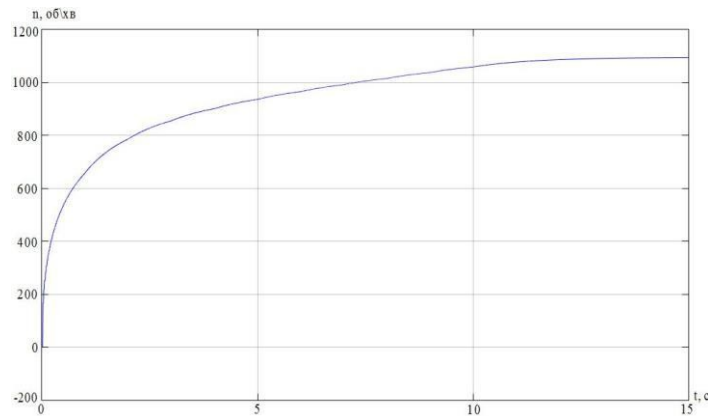


Рис. 8. Графік швидкості обертання від 0 до 15 секунд симуляції

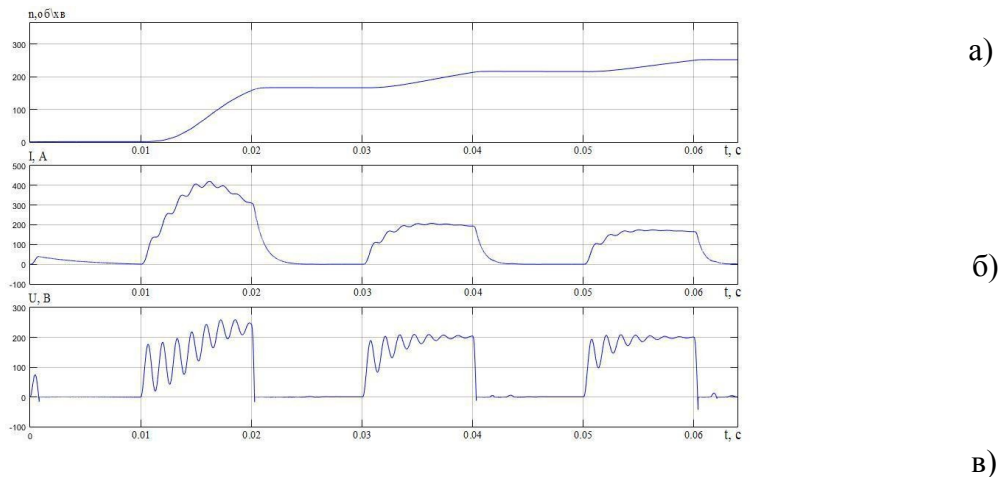


Рис. 9. Осцилограми: а) графік швидкості обертання від 0 до 0,6 секунд симуляції; б) струм на двигуні; в) напруга на двигуні

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

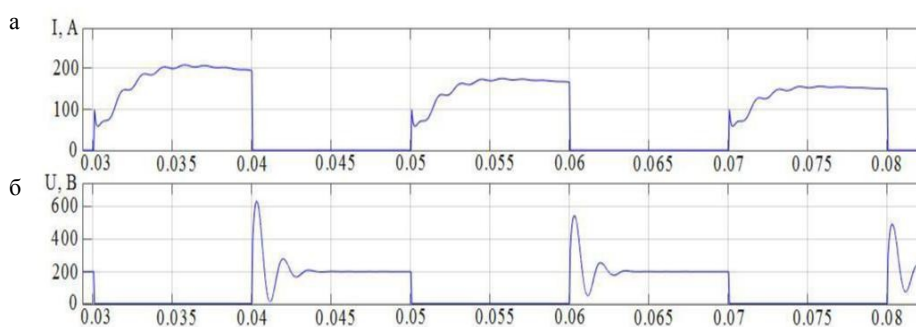


Рис. 10. Осцилограми: а) струм транзистора;  
б) напруга транзистора

**Висновок.** У результаті проведеного дослідження була створена математична модель широтно-імпульсного регулятора напруги, підбрано номінали елементів снаберних ланцюгів для зменшення перенапруг до допустимого значення, визначено оптимальну індуктивність дроселя схеми, а також отримано осцилограми перехідних процесів на IGBT транзисторі та двигуні постійного струму. Отримані дані моделювання були використанні при розробці і виготовленні стенду «Модель електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів». Дане дослідження можна використати для електровозів постійного струму, оскільки графіки математичної моделі адекватні з осцилографами, отриманими на стенді.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Черних И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink. – М., 2008.
2. В.Б. Терехин «Моделирование систем электропривода в Simulink MATLAB». – Томск: Томский политехнический университет, 2010.
3. Wenbin Yan<sup>a</sup>, Dada Wang<sup>b</sup>, Pengfei Jia<sup>c</sup>, Weiguo Li<sup>c</sup>. «The PWM speed regulation of DC motor based on intelligent control». *The 2<sup>nd</sup> International Conference on Complexity Science & Information Engineering. Systems Engineering Procedia 3 (2012) 259-267.*
4. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в Matlab.: Учебный курс. – СПб.: Питер; К.: Издательская группа BHV. – С. 205 – 512.
5. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем.: Специальный справочник». – СПб: Питер, 2001. – 448 с.
6. В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/SIMULINK.: Учебное пособие для студентов и аспирантов / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова. – К.: НАН Украины, 2008. – 91 с.

- Yuri V. Chernyak, PhD (Technical Sciences)**  
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)
- Mykhailo. O Revchuk**  
(assistant of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)
- Volodymyr M. Olejnik**  
(Graduate Student of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)
- Serhiy V. Malyk**  
(Graduate Student of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)
- Alexander S. Volosyuk**  
(Master Student of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

### ELECTROMECHANICAL PROCESSES SIMULATION ENGINE CONSTANT CURRENT PULSE WIDTH VOLTAGE REGULATION IN THE ENVIRONMENT SIMULINK MATLAB

*In the article the mathematical model of pulse-width control voltage DC motor, the parameters of the engine and transients in pulse-pulse converters. With the developed model were obtained graphics transients at start DC motor excitation consistent with his work load, which is the generator with independent excitation. The results of the simulation in Simulink Matlab and experiments on the stand.*

**Keywords:** DC motors, pulse width regulation voltage electric models, mathematical modeling, Simulink Matlab, overstrain, IGBT transistor.

### REFERENCES

1. Chernuh I.V. *Modelirovanie elektricheskikh ystroystv v MATLAB SimPowerSystems u Simulink*. – Moskva, 2008.
2. V.B. Terehin. *Modelirovanie sistem elektroprivoda v Simulink MATLAB*. – Tomsk: Tomskiy politehnicheskij universitet, 2010.
3. Wenbin Yan<sup>a</sup>, Dada Wang<sup>b</sup>, Pengfei Jia<sup>c</sup>, Weiguo Li<sup>c</sup>. *The PWM speed regulation of DC motor based on intelligent control*. *The 2<sup>nd</sup> International Conference on Complexity Science & Information Engineering. Systems Engineering Procedia 3 (2012)*, 259–267.
4. Lazarev Y. *Modelirovanie procesov i sistem v Matlab. Uchebnyy kurs*. – SPB.: Piter; Kiev: Izdatelskaya hrupa BHV. – S. 205 – 512
5. Dyakonov V.P., Kruhlov V.V. *MATLAB. Analiz, identifikaciya i modelirovanie sistem. Specialnyy spravochnik*. –SPb.:Piter, 2001. – 448 s.
6. V.V. Vasilev, L.A. Simak, A.M. Rubnikova. *Matematicheskoe i kompyuternoe modelirovanie procesov i sistem v srede MATLAB/SIMULINK. Uchebnoe posobie dlya studentov i aspirantov / V.V. Vasilev, L.A. Simak, A.M. Rubnikova*. – K.: NAN Ykrainu, 2008. – 91 s.

УДК 656.2

*М. В. Грисенко, к.ф.-м.н., доцент (доцент кафедри «Загальна математика» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ)*

*Т. В. Крижановська, к.ф.-м.н., доцент (завідувач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТА УТВОРЕННЯ СТРУКТУРИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ

*У статті розглянуто математичні моделі диференціальних систем, в яких можуть виникати просторові неоднорідні структури внаслідок розвитку нестійкості в однорідному середовищі.*

*Ключові слова:* математична модель, диференціальні системи.

*В статье рассмотрены математические модели дифференциальных систем, в которых могут возникать устойчивые пространственные неоднородные структуры в результате развития неустойчивости в однородной среде.*

*Ключевые слова:* математическая модель, дифференциальные системы.

Математичне моделювання в сучасних наукових дослідження є важливою частиною наукової діяльності. Математична модель – це наближене описання будь-якого класу явищ зовнішнього світу, виражене за допомогою математичної сим-волики. Зазвичай розрізняють такі типи математичних моделей:

1. Пряма задача, коли за заданими локальними законами (фізичними, хімічними, біологічними, економічними і т.п.), які діють всередині системи, яку досліджують, потрібно відповісти на питання, як буде вести себе система в цілому. В цьому випадку всі параметри системи відомі і вивчається поведінка моделі в різних умовах.

2. Обернена задача – визначення параметрів моделі шляхом співставлення спостережувальних даних та результатів моделювання. Дуже часто реальні процеси, які відбуваються в об'єкті, який досліджують, невідомі, але є непрямі спостереження. За результатами спостережень намагаються визначити, які процеси керують поведінкою об'єкта, та знаходять параметри, які визначають модель. В оберненій задачі потрібно визначити значення параметрів моделі по відомій поведінці системи як єдиного цілого.

3. Проектування систем, які знаходяться під управлінням. Це зовсім особлива область моделювання, яка має справу з автоматизованими інформаційними системами управління.

Багато моделей в фізиці, хімії, соціології, економіці, управлінні та в інших галузях описуються диференціальними рівняннями. Більшість з них не має аналітичного

**© Грисенко М.В., Крижановська Т.В., 2015**

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

розв'язку, але важливі риси поведінки систем можуть бути досліджені на якісному рівні, без допомоги обчислювальної техніки. Розглянемо якісний аналіз дослідження диференціальних систем

Розглянемо систему двох диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = P(x, y), \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y). \end{cases} \quad (1)$$

Обмежимося розглядом тільки стаціонарних (автономних) розв'язків систем, тобто систем, в яких  $P(x, y)$  і  $Q(x, y)$ .

У найпростішому випадку це лінійні функції

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax + by, \\ \frac{dy}{dt} = cx + dy. \end{cases} \quad (2)$$

Особливими точками системи (1) називають точки, в яких  $P(x, y)$  і  $Q(x, y)$  перетворюються одночасно в нуль.

Очевидно, що система (2) має єдину особливу точку  $(0,0)$ . Розв'язки системи шукають у вигляді  $x = Ae^{\lambda t}$ ,  $y = Be^{\lambda t}$ . Підставивши в систему (2) та скоротивши на спільний множник  $e^{\lambda t}$ , отримаємо

$$\begin{cases} a - \lambda A + bB = 0, \\ cA + (d - \lambda) B = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Система (3) має нетривіальний розв'язок, якщо її визначник дорівнює нулю, тобто отримаємо характеристичне рівняння

$$\lambda^2 - (a+d)\lambda + ad - bc = 0. \quad (4)$$

Розв'язками рівняння (4) будуть

$$\lambda_{1,2} = \frac{a+d}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a+d}{2}\right)^2 + bc - ad} = \frac{\text{tr}M}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\text{tr}M}{2}\right)^2 - \det M}.$$

Тут матриця  $M$  – матриця коефіцієнтів системи (2). Якщо корені характеристичного рівняння не дорівнюють нулю, то розв'язок системи має вигляд

$$\begin{cases} x = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}, \\ y = C_1 \chi_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 \chi_2 e^{\lambda_2 t}. \end{cases} \quad (5)$$

Заміною змінних можна звести систему до системи вигляду

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}}{dt} = S_1 \tilde{x}, \\ \frac{d\tilde{y}}{dt} = S_2 \tilde{y} \end{cases} \quad (6)$$

або диференціального рівняння

$$\frac{d\tilde{y}}{d\tilde{x}} = \frac{S_2 \tilde{y}}{S_1 \tilde{x}} \quad (7)$$

де

$$\begin{cases} \tilde{x} = \alpha x + \beta y, \\ \tilde{y} = \gamma x + \delta y. \end{cases} \quad (8)$$

$\tilde{y}$

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

---

Щоб знайти сталі  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  продиференціюємо систему рівнянь (8)

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta \frac{dy}{dt}, \\ \frac{dy}{dt} = \gamma \frac{dx}{dt} + \delta \frac{dy}{dt}. \end{cases} \quad (9)$$

і підставимо із системи (2) вирази  $\frac{dx}{dt}$  і  $\frac{dy}{dt}$ , дістанемо

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \alpha(ax + by) + \beta(cx + dy), \\ \frac{dy}{dt} = \gamma(ax + by) + \delta(cx + dy). \end{cases} \quad (10)$$

Враховуючи систему (6), маємо

$$\begin{cases} \alpha(ax + by) + \beta(cx + dy) = S_1(\alpha x + \beta y), \\ \gamma(ax + by) + \delta(cx + dy) = S_2(\gamma x + \delta y). \end{cases} \quad (11)$$

Рівності повинні виконуватись при всіх значеннях  $x$  і  $y$ , отже коефіцієнти при змінних в лівій і в правій частині рівняння повинні співпадати.

$$\begin{cases} \alpha(a - S_1) + c\beta = 0, & \alpha a - S_1\alpha + c\delta = 0, \\ b\alpha + (d - S_1)\beta = 0, & b\gamma + (d - S_2)\delta = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Ми отримали системи лінійних алгебраїчних однорідних рівнянь відносно  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ . Система має нетривіальний розв'язок, якщо її визначник дорівнює нулю, тобто коефіцієнти  $S_i, i=1,2$  повинні задовольняти рівняння

$$(a - S_i)(a - S_i) = 0, \quad i = 1, 2, \quad (13)$$

яке збігається з рівнянням (4). Таким чином,  $S_i, i=1,2$  є коренями характеристичного рівняння (4), тобто  $S_1 = \lambda_1, S_2 = \lambda_2$ . При цьому  $\alpha^2 + \beta^2 > 0$  і  $\gamma^2 + \delta^2 > 0$ .

Розв'язок рівняння (7) має вигляд

$$y = C x^{\lambda_1} \quad (14)$$

Тип особливої точки автономної системи (2) визначається характеристичним рівнянням (4). Якісний аналіз результатів для динамічних систем:

1. Корені дійсні, різні та одного знаку  $0 < \det M < \frac{(trM)^2}{2}$  : рівняння (14)

визначає сімейство парабол. Якщо корені характеристичного рівняння додатні, то розв'язки будуть необмежено зростати і фазові траєкторії прямують до нескінченності. У випадку від'ємних коренів розв'язки із зростанням часу будуть необмежено зменшуватись, фазові траєкторії прямують до нуля. Якщо корені додатні ( $trM < 0$ ), то особлива точка – стійкий вузол. Якщо корені від'ємні ( $trM > 0$ ), то особлива точка – нестійкий вузол.

2. Корені дійсні, однакові і відмінні від нуля: особлива точка – або вроджений вузол або дикритичний вузол. Він можливий тільки у випадку, коли

$$\frac{dy}{dx} = \frac{ay}{ax}.$$


---



3. Корені дійсні, різних знаків ( $\det M < 0$ ): рівняння (14) визначає сімейство гіпербол, особлива точка – сідло.

4. Корені комплексно спряжені (але не чисто уявні)  $\left\{ \begin{matrix} \det M < 0 \\ \left( \frac{trM}{2} \right)^2 \end{matrix} \right\}$ . Якщо дійсна частина від’ємна ( $trM < 0$ ), то особлива точка – стійкий фокус. Якщо дійсна частина додатна ( $trM > 0$ ), то особлива точка – нестійкий фокус.

5. Корені чисто уявні ( $trM = 0, \det M > 0$ ), тоді особлива точка центр.

6. Один з коренів дорівнює нулю, тоді особливі точки повністю заповнюють одну з координатних осей.

Для аналізу нелінійної системи проводять її лінеаризацію. Для цього визначають особливі точки системи. Заміною змінних вихідну систему зводять до вигляду

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax + by + p(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = cx + dy + q(x, y) \end{cases} \quad (15)$$

Причому  $\lim_{\substack{x \rightarrow x_0 \\ y \rightarrow y_0}} \frac{p(x, y)}{ax + by} = 0, \lim_{\substack{x \rightarrow x_0 \\ y \rightarrow y_0}} \frac{q(x, y)}{cx + dy} = 0$ , якщо  $(x_0, y_0)$  – особлива точка. Харак-

тер особливих точок лінеаризованої та вихідної системи збігаються, окрім таких випадків: якщо особлива точка лінеаризованої системи або центр, або фокус. Якщо хоча б один з коренів лінеаризованої системи дорівнює нулю, то для аналізу особливої точки вихідної системи потрібно додаткове дослідження.

Далі ми розглянемо системи, в яких можуть виникати стійкі просторові неоднорідні структури, які виникають в результаті розвитку в однорідному дисипативному середовищі. Такі структури називають дисипативними. Основи теорії дисипативних структур заклад у 1952 р. Алан М. Тюринг, а сам термін запропонував Нобелівський лауреат І.Р. Пригожин. Основні результати в дослідженні властивостей розподілених систем отримані на так званих «базових моделях» з двома змінними

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = P(x, y) + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2} \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y) + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2} \end{cases} \quad (16)$$

Рівняння (16) – це рівняння дифузійного типу. Ця проста модель може якісно описати процеси самовільного виникнення хвиль і структури в розподілених системах, тобто процеси самоорганізації. Вони здійснюються, коли в системі виникає нестійкість, що приводить до втрати вихідного розподілу речовини в часі та просторі. Замість цього встановлюється новий тип розподілу речовини в часі і в просторі, тобто відбувається самоорганізація системи. Наприклад, втрата стійкості стаціонарного просторового однорідного розподілу речовини в хімічній реакції може привести до того, що замість нього в системі з’являються автохвилі – періодичні самопідтримуючі хвилі хімічної активності.

Залежно від виду функцій  $P(x, y)$  і  $Q(x, y)$  і коефіцієнтів дифузії  $D_i$  в системах можуть виникати такі типи поведінки змінних або види самоорганізації:

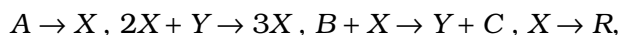
1. Розповсюдження збурення у вигляді імпульсу.
2. Сталі хвилі

3. Синхронні автоколивання різних елементів у просторі.
4. Квазістохастичні хвилі, які виникають при випадкових різницях фаз автоколивань в двох точках простору.
5. Стаціонарні неоднорідні розподіли змінних в просторі – дисипативні структури.

6. Генерація хвиль автономними джерелами імпульсної активності. Як джерело хвиль можуть бути, наприклад, локальні короточасні флуктуації змінних.

Загальною умовою розвитку процесів самоорганізації є поява нестійкості у вихідній розподіленій системі. Такі нестійкості виникають, якщо відхилення від стану рівноваги перевищує критичне значення. Зокрема, поява нестійкості типу сідло викликає дисипативні структури, а поява нестійкого вузла може викликати хвилі скінченної амплітуди або стоячих хвиль. Дисипативна структура, яка виникає в результаті нестійкості в розподіленій системі, підтримується за рахунок сталої хвилі енергії і речовини і може спостерігатись тільки у відкритих системах. У цьому її відмінність від звичайних рівноважних структур. Для виникнення дисипативних структур треба, щоб рівняння, які описують процеси в системі, були нелінійними. Крім того, процеси в системі повинні відбуватись узгоджено. Остання вимога дала можливість Г. Бакену назвати синергетикою (від грецького – сумісний, узгоджено діючий) нову галузь міждисциплінарної науки, яка займається вивченням процесів утворення структур. Стрибокподібний перехід між дисипативними структурами різної форми. Утворення такого роду дисипативних структур лежить в основній диференціювання тканин при морфогенезі.

Брюселятор або тримолекулярна модель була запропонована Пригожином і Лефевром в 1968 р. і являє собою найдослідженішу систему, яка при різних значеннях параметрів може мати різноманітну поведінку в часі та в просторі. На цій моделі вдається виявити умови виникнення типів самоорганізації в біологічних та хімічних системах, і в цьому розумінні дана модель є базовою. Брюселятор являє собою таку схему гіпотетичних хімічних реакцій, які відбуваються в тонкій і довгій трубці:



де  $A$  і  $B$  – вихідні задані речовини, розподілені в трубці рівномірно, і їхній запас великий; речовини  $R$  і  $C$  випадають у вигляді осаду. Речовини  $X$  і  $Y$  дифундують вздовж труби бурють участь у хімічному процесі. Цю систему реакцій автоколивних хімічних реакцій. З урахуванням дифузії система рівнянь приймає вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a + x^2 y + (b + 1)x + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2}, \\ \frac{dy}{dt} = bx - x y + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2}. \end{cases} \quad (17)$$

Наведемо результати дослідження типів моделі (17) залежно від співвідношень параметрів  $(a, b, D_x, D_y)$ . Точкова модель  $(D_x = D_y = 0)$  має стаціонарну

точку  $x \sim a, y \sim \frac{b}{a}$ . При  $b < 1 + a^2$  ця точка є стійкий вузол або фокус, а при  $b > 1 + a^2$  – нестійкий фокус або вузол, навколо якого в точковій системі утворюється граничний цикл.

В розподільчій системі (17) можлива поява нестійкості такого сідлового типу, яка приводить до розвитку збурення в просторово однорідній системі і встановленню в ній просторово неоднорідних стаціонарних режимів. При певних розмірах труби і довжини хвиль, які визначають характер неоднорідності простору, в системі можливе виникнення періодичних дисипативних структур, які не залежать від часу. Для їхньої появи необхідно, щоб коефіцієнти  $D_x, D_y$  були суттєво різні, а параметри не зовсім далекі від своїх біфуркаційних значень. Крім того, в бруселяторі можливі також автохвильові процеси типу стоячої хвилі та хвилі, що рухається.

Лінеаризована система має вигляд

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a y + (b+1)x + D_x \Delta x \\ \frac{dy}{dt} = b y - a x + D_y \Delta y \end{cases} \quad (18)$$

Будемо шукати розв'язок системи (18) у вигляді концентричних хвиль

$$\begin{cases} x \sim = A \exp \{pt - ikr\} \\ y \sim = B \exp \{pt - ikr\} \end{cases} \quad (19)$$

де  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – хвильове число,  $\lambda$  – довжина хвилі. Підставимо розв'язок у вигляді

концентраційних хвиль в лінеаризоване рівняння. Запишемо дисперсійне рівняння – це рівняння залежності довжини хвилі від частоти

$$p^2 - \Theta p + \Delta = 0, \quad (20)$$

де  $\Theta = b - 1 - a^2 - k^2 (D_x + D_y)$ ,  $\Delta = k^4 D_x D_y + k^2 a^2 D_x - k^2 D_y (b - 1) + a^2$ .

Якщо стаціонарний (який не залежить від часу) однорідний розв'язок стійкий, то концентраційні хвилі будуть затухати з часом. Це відбудеться, якщо  $p$  – комплексна величина з від'ємною дійсною частиною. Якщо дійсна частина додатна або розв'язком рівняння (20) будуть два дійсних числа з різними знаками, то коливання концентрації будуть зростати. Нестійкість сідлового типу виникає, якщо  $\Delta < 0$ .

Крім того, в бруселяторі можуть виникати стійкі просторові структури і тоді, коли співвідношення параметрів відповідає наявності граничного циклу в точковій системі.

Одновимірний модель може бути узагальнена і на випадок більшої кількості просторових змінних. В цьому випадку система має вигляд

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a + x^2 y + (b + 1) x + D_x \Delta x \\ \frac{dy}{dt} = b x - x y + D_y \Delta y \end{cases} \quad (21)$$

де  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \dots$  – оператор Лапласа. Комп'ютерне моделювання двовимір-

ного випадку показує, що в системі можуть виникати різноманітні структури: соти, смуги та ін.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

---

### ЛІТЕРАТУРА

1. Эрроусмит Д, Плейс К. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Качественная теория с приложениями: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
2. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. – Изд. 6-е. – М.:URSS, 2009.
3. Дулов В.Г., Цибаров В.А. Математическое моделирование в современном естествознании.: Учеб. пособие. – СПб.:Изд. Санкт-Петербургского университета, 2001.
4. Самарский Ф.Ф., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи, методы, примеры. – М.:Физматлит, 2001.

**Maryna Grysenko, PhD (Physical and Math. Sciences), Associate Professor (Associate Professor of Chair of General Mathematics of Mechanics and Mathematics Faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv)**  
**Tetiana Kryzhanovska, PhD (Physical and Math. Sciences), Associate Professor (Head of High Mathematics Chair, State University for Transport Economy and Technologies)**

### MATHEMATICAL MODELS OF SELFORGANIZATION AND CREATION OF DIFFERENTIAL SYSTEMS STRUCTURE

*The article deals with mathematical models of differential systems within which stable spatial heterogeneous structures may appear in the result of development of instability in homogeneous sphere. Main results in investigation of characteristics of devided systems are obtained upon the basic models of differetintial systems with two variables.*

*Results of the research determine the conditions of existance of selfcontrolled types in biological and chemical systems*

*Keywords: mathematical model, differential system.*

### REFERENCES

1. Errousmi D, Pleys K. Obyknovennye differentsial'nye uravneniya. Kachestvennaya teoriya s prilozheniyami: Per. s angl. – М.: Mir, 1986.
2. Malinetskiy G.G. Matematicheskie osnovy sinergetiki: Khaos. Struktury. Vychislitel'nyy eksperiment. – Izd. 6-e. – М.:URSS, 2009.
3. Dulov V.G., Tsibarov V.A. Matematicheskoe modelirovanie v sovremennom estestvoznanii.: Ucheb. Posobie. – SPb.:Izd. Sankt-Peterburskogo universiteta, 2001.
4. Samarskiy F.F., Mikhaylov A.P. Matematicheskoe modelirovanie: Idei, metody, primery. – М.: Fizmatlit, 2001.

УДК 621.395.74

*О. А. Герцій, к.т.н, доцент (доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»),  
Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

### КРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

*Розробка і впровадження ефективних методик та засобів забезпечення якості зв'язку є актуальним завданням сьогодення. В роботі проведено аналіз проблем забезпечення якості зв'язку в сучасних телекомунікаційних мережах та розглянуто методи їх вирішення. Для оцінки і порівняльного аналізу різних методів організації доступу до даних проведено їх критеріальний аналіз.*

*Ключові слова:* мультисервісна мережа, якість обслуговування, оцінка параметрів якості.

*Разработка и внедрение эффективных методов и средств обеспечения качества связи является актуальной задачей. В работе проведен анализ проблем качества связи в современных телекоммуникационных сетях и рассмотрены методы их решения. Для оценки и сравнительного анализа различных методов организации доступа к данным проведен их критериальный анализ.*

*Ключевые слова:* мультисервисная сеть, качество обслуживания, оценка параметров качества.

**Постановка проблеми.** При проектуванні мультисервісних мереж прагнуть знайти такий варіант побудови їх оптимальної структури, який би задовольняв необхідну потребу в зв'язку при найменших загальних витратах, обслуговуванні та наступному розвитку мережі. При цьому просте нарощування обсягів інфокомунікаційних послуг мережі може негативно позначитися на показниках якості обслуговування базових послуг зв'язку і роботи мережі взагалі. До того ж, покращення функціонування мережі шляхом нарощування її структурних елементів не є економічно доцільним, що в умовах сучасного економічно-орієнтованого підходу є визначальним. Все це вимагає проведення детального аналізу структури та майбутніх функцій самої мережі при її проектуванні чи модернізації в напрямку мультисервісності, а поява нових властивостей мережевого трафіку та необхідність забезпечення високої якості обслуговування різних категорій додатків, роблять необхідним розробку сучасних механізмів забезпечення якості роботи таких мереж.

© Герцій О. А., 2015

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

**Метою роботи** є розробка та дослідження механізмів, що охоплюють моделювання і оптимізацію структурних рішень при проектуванні мультисервісної мережі для забезпечення її ефективного використання.

**Виклад основного матеріалу.** Характер інформації, що передається пакетними мережами, сьогодні дуже швидко змінюється. Крім передачі даних, сучасні мультисервісні мережі використовуються для прослуховування музики, перегляду відео, обміну голосовою інформацією, проведення конференцій, оперативного контролю та інших додатків реального часу. Тобто, на відміну від мереж з комутацією каналів, у тому самому інформаційному потоці може передаватися різномірний трафік. При цьому кожний з типів трафіка характеризується різними параметрами, значення яких і повинна забезпечувати мережа.

Зокрема якість доставки в сучасних мультисервісних мережах базується на використанні IP-протоколу [1], що працює за принципом так званої «найкращої можливості» (Best Effort). Дана концепція передбачає пропорційне розділення всіх доступних ресурсів мережі між абонентами та забезпечення максимально можливої швидкості передачі за даних умов, проте не забезпечує доставку пакетів в правильному порядку, не гарантує ніяких значень часу доставки пакетів.

Транспортні протоколи, що реалізовані в устаткуванні користувачів, також не забезпечують необхідної якості обслуговування трафіка, чутливого до затримок. Зокрема протокол TCP, хоч і гарантує достовірну доставку інформації, але переносить її з непередбаченими затримками. Протокол UDP, який, як правило, використовується для переносу інформації в реальному часі, забезпечує менший, у порівнянні із протоколом TCP, час затримки, але не містить ніяких механізмів підтримки якості обслуговування.

Таким чином, ні у вузлах МСМ, ні у обладнанні користувачів не передбачалося ніяких механізмів забезпечення необхідного рівня якості обслуговування. Як наслідок, довгий час телекомунікаційні мережі існували без таких механізмів. Це пояснюється в основному двома причинами.

По-перше, більшість додатків, що використовувалися мережею, були «невимогливими». Тобто для таких додатків затримки пакетів або зміна середньої пропускну здатності в досить широкому діапазоні не приводили до значної втрати функціональності. Прикладами «невимогливих» додатків є найпоширеніші в мережах минулого століття додаток електронної пошти E-mail або віддалене копіювання файлів.

По-друге, сама пропускну здатність мереж у багатьох випадках не була дефіцитом. Так, розподілений сегмент мережі, до якого було підключено невелика кількість абонентських станцій, що зрідка передавали невеликі файли, обсяг яких не перевищує кілька сотень кілобайт, дозволяв трафіку кожної пари взаємодіючих абонентів поширюватись мережею так швидко, як це необхідно було цим додаткам.

З появою трафіку реального часу підхід до організації роботи мережі був змінений. Зокрема це було обумовлено іншим характером профілю навантаження. Так, на відміну від короткочасних сплесків активності, що були характерні звичайним додаткам, трафік реального часу характеризувався неперервним та відносно рівномірним характером проходження. Такий трафік є досить чутливим до затримок передачі, що у звичайних пакетних мережах могла досягати недопустимих значень. Все це зумовило необхідність розробки додаткових ме-

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

тодів оптимізації роботи мережі, які б дозволили реалізувати так звану політику забезпечення якості обслуговування – QoS (Quality of Service).

- До основних переваг QoS-обслуговування трафіку належать [1, 2]:
- підтримка існуючих та нових мультимедійних служб і додатків;
- передача контролю над ресурсами мережі операторові;
- забезпечення гарантії обслуговування та диференціювання трафіка;
- можливість надання додаткових послуг поряд зі стандартними послугами негарантованої доставки даних.

Механізми підтримки якості обслуговування самі по собі не забезпечують збільшення пропускної спроможності. Отже фактична пропускна спроможність каналів зв'язку й транзитного комунікаційного обладнання є відправною точкою для роботи механізмів QoS. Однак QoS дозволяє управляти розподілом наявної пропускної спроможності відповідно до вимог додатків і налаштуваннями мережі.

При цьому функції якості обслуговування полягають у забезпеченні гарантованого й диференційованого обслуговування мережевого трафіка шляхом передачі контролю над використанням ресурсів і завантаженістю мережі її операторові. QoS забезпечує наскрізну гарантію передачі даних і основана на системі правил контролю над засобами підвищення продуктивності IP-мережі, такими як механізми розподілу ресурсів, комутація, маршрутизація, механізми обслуговування черг і механізми відкидання пакетів.

### **Параметри та норми оцінки якості мультисервісних мереж**

Необхідність нормування та забезпечення параметрів якості знайшло своє відображення в діяльності Міжнародного союзу електрозв'язку. Зокрема сектор стандартизації в 2002 році опублікував рекомендацію ITU-T Y.1540, у якій представив перелік найбільш значимих показників, що задають стандарти якості передачі пакетів в IP-мережах [3].

- Так до основних параметрів пакетних мереж зв'язку були віднесені:
- пропускна спроможність;
- надійність мережевих елементів;
- величина затримки;
- варіація затримки (джитер);
- величина втрат пакетів.

Пропускна спроможність мережі визначається як ефективне значення швидкості передачі даних в бітах за секунду і залежить від параметрів тієї чи іншої служби. Можливість забезпечення ефективного функціонування певного набору служб визначає загальну пропускну спроможність мережі. Параметри пропускної спроможності кожної зі служб можуть бути визначені на основі рекомендацій ITU-T Y.1221. Значення основних з них подані в табл. 1.

Надійність мережевих елементів визначається низкою параметрів, серед яких найчастіше використовують коефіцієнт готовності обладнання [4], що являє собою відношення часу дієздатності об'єкта до загального часу експлуатації. В ідеальному випадку коефіцієнт готовності повинен відповідати 1, що відповідає 100% готовності мережі. На практиці коефіцієнт готовності оцінюється числом дев'яток після коми у записі коефіцієнта (табл. 2).

Затримка доставки пакета IPTD (IP packet Transfer Delay) визначається як різниця часу між двома подіями – введенням пакета у вхідну точку мережі в момент T1 і виводом пакета з вихідної точки мережі в момент T2. Загалом, пара-

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

метр IPTD визначається як час доставки пакета між джерелом і одержувачем для всіх пакетів – як успішно переданих, так і спотворених помилками. Середня затримка доставки пакета IP специфікована у Рекомендаціях Y.1540 і визначається як середня арифметична величина затримок пакетів в обраному наборі переданих і прийнятих пакетів. Значення середньої затримки залежить від переданого в мережі трафіка й доступних мережевих ресурсів, зокрема, від пропускної спроможності останньої. Ріст навантаження й зменшення доступних мережних ресурсів ведуть до росту черг у вузлах мережі і як наслідок до збільшення середніх затримок доставки пакетів.

*Таблиця 1. Параметри основних служб IP-мереж*

| Служби           |        | Параметри                  |                   |        |             |
|------------------|--------|----------------------------|-------------------|--------|-------------|
|                  |        | Швидкість передачі, Кбіт/с | Навантаження, Ерл | Кпач   | КефектIP    |
| Послуги Internet | WWW    | 4,8...128                  | *                 | 5...50 | 0,9         |
|                  | E-mail | 2,4...64                   | **                | 2...5  | 0,9         |
|                  | FTP    | 64...2048                  | ***               | 2...5  | 0,9         |
| Інші послуги     | IP-Tlf | 6,4...64                   | 0,1/канал         | 2...10 | 0,25...0,75 |
|                  | FAX    | 9,6...64                   | 0,15/канал        | 2...10 | 0,6...0,8   |
|                  | V/Tlf  | 128...384                  | 0.03/канал        | 5...50 | 0,4...0,8   |
|                  | V/Conf | 512...2048                 | ****              | 5...20 | 0,4...0,8   |

*Таблиця 2. Коефіцієнти готовності обладнання та відповідні періоди простою*

| Коефіцієнт готовності <i>K</i> | Час простою обладнання |
|--------------------------------|------------------------|
| 0,9                            | До 36 днів за рік      |
| 0,99                           | До 89 годин за рік     |
| 0,999                          | До 9 годин за рік      |
| 0,9999                         | До 53 хвилин за рік    |
| 0,99999                        | До 5,3 хвилин за рік   |

Варіація затримки пакета IPDV (IP PacketDelayVariation) характеризує як різниця часу між абсолютною величиною затримки при доставці пакета з індексом та певною еталонною (або опорною) величиною затримки доставки пакета IP, для тих самих мережевих точок (еталонна затримка доставки пакета IP, між джерелом і одержувачем визначається як абсолютне значення затримки доставки першого пакета IP між даними мережевими точками). Варіація затримки пакета, або джитер, проявляється в тому, що послідовні пакети прибувають до одержувача

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

в нерегулярні моменти часу. У цифрових системах IP-телефонії це, наприклад, веде до викривлень звуку, в результаті чого мова стає нерозбірливою.

Коефіцієнт втрати пакетів IPLR (IP PacketLossRatio) визначається як відношення сумарного числа загублених пакетів до загального числа прийнятих в обраному наборі переданих і прийнятих пакетів. Втрати пакетів у мережах IP виникають у тому випадку, коли значення затримок при їхній передачі перевищує певне нормоване значення. Втрата пакетів при передачі інтерактивного трафіку веде до спотворення прийнятих даних, адже при цьому відсутня можливість повторної передачі. Серед причин, що викликає втрати пакетів, слід відзначити ріст черг у вузлах мережі, що виникають при перевантаженнях.

Коефіцієнт помилок пакетів IPER (IP PacketErrorRatio). Коефіцієнт IPER визначається як сумарне число пакетів, прийнятих з помилками, до суми успішно прийнятих і пакетів, прийнятих з помилками.

Перераховані параметри є основними характеристиками роботи IP-мереж на міжнародних трактах зв'язку. Їх значення нормуються відповідно до рекомендацій ITU-T Y.1541 і подані табл. 3 [1, 2, 5]. Вони являють собою, відповідно, верхні границі для середніх затримок, джитера, втрат та помилково прийнятих пакетів. При цьому норми на параметри розподілені по різних класах QoS, що визначаються залежно від вимог додатка.

*Таблиця 3. Норми характеристик IP-мереж з розподілом по класам QoS*

| Мережеві характеристики                 | Класи QoS         |                   |                   |                   |                   |   |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
|   | 0                 | 1                 | 2                 | 3                 | 4                 | 5 |
| Затримка доставки пакету IP (IPTD)      | 100 мс            | 400 мс            | 100 мс            | 400 мс            | 1 с               | Н |
| Варіація затримки пакету IP (IPDV)      | 50 мс             | 50 мс             | Н                 | Н                 | Н                 | Н |
| Коефіцієнт втрат пакетів IP (IPLR)      | $1 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | Н |
| Коефіцієнт спотворень пакетів IP (IPER) | $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | Н |

*Примітка.* Н – не нормовано.

На основі проведеного аналізу поставленого питання, можна виділити два основних аспекти, що пов'язані з забезпеченням якості роботи мультисервісних мереж, а саме:

- конструктивні особливості мережі;
- особливості організації роботи мережі.

Конструктивні аспекти визначаються вибором топології мережі, використовуваних технологій транспортної мережі та мережі доступу, технічних характеристик обладнання та ін., що у свою чергу, залежать від загального абонентського навантаження, підтримки відповідних сервісів, необхідної швидкості передачі, безвідмовності роботи того чи іншого обладнання. Всі ці фактори враховуються на початкових етапах проектування мережі з врахуванням на найближчу перспективу. Під час експлуатації мережі їх вплив на якість обслуговування в середньому залишається незмінним. Як наслідок вирішення цих завдань відносять до питань проектування мережі і як механізми забезпечення якості викори-

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

стовуюють лише при наступній модернізації структури мережі. До того ж, покращення функціонування мережі шляхом нарощування структурних елементів мережі не є економічно доцільним, що в умовах сучасного економічно орієнтованого підходу є визначальним.

Організаційні аспекти роботи мережі включають контроль за ресурсами мережі, управління даними абонентів та використання менеджменту. Вони безпосередньо визначають якість зв'язку в процесі експлуатації мережі і тому саме їх виділяють як основні механізми забезпечення QoS. Такий класифікаційний підхід оснований на рекомендаціях Y.1291. Структура механізмів забезпечення QoS подана на рис. 1.

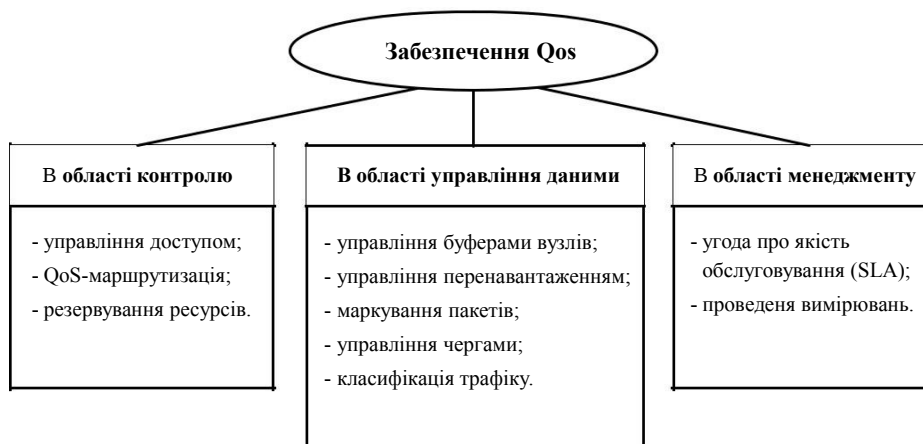


Рис. 1. Механізми забезпечення QoS в мультисервісних мережах

При цьому запропонована класифікація враховує той факт, що мультисервісні мережі є IP-орієнтованими, а отже, представлені механізми повною мірою можуть бути застосовані лише в IP-мережах.

Серед основних з них треба відмітити метод управління доступом до ресурсів мережі шляхом контролю подання нових заявок, метод маркування пакетів відповідно до класу обслуговування, метод забезпечення вибору оптимального маршруту за параметром QoS, алгоритм своєчасного виявлення перенавантаження RED задля запобігання переповнення буферів у вузлах мережі, метод організації черг реалізований механізмом зваженої справедливої буферизації WFQ та механізмом буферизації за класом обслуговування CBQ, механізм укладання «Угоди про якість обслуговування» SLA, що дозволяє встановити однозначну відповідність між показниками якості зі сторони користувача та показниками функціонування мережі [6].

Приведена структура відображає всю різноманітність методів та підходів щодо реалізації забезпечення якості, кожен з яких забезпечує вирішення того чи іншого завдання у забезпеченні QoS. Проте сучасні темпи розвитку вимагають більш досконалих механізмів, які б дозволяли одночасно вирішувати декілька проблем. Прикладом такої реалізації можуть бути моделі представлені RSVP, DiffServ та MPLS [1, 3].

Зокрема модель надання інтегрованих послуг, передбачає використання протоколу RSVP, згідно з яким відбувається резервування та управління частиною ресурсів мережі з метою «жорсткого» забезпечення якості. Проте таке ре-

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

зервування вимагає значних затрат ресурсів мережі, що накладає обмеження на її використання.

Більш досконалий механізм забезпечується моделлю надання диференційованих послуг, що реалізується протоколом DiffServ. Він передбачає організацію передачі пакетів між вузлами мережі на основі присвоєного класу обслуговування. Як наслідок розподіл ресурсів відбувається більш «м'яко».

Третя модель передбачає використання механізму багатопротокольної комутації по мітках – MPLS, що полягає в значному спрощенні процесу маршрутизації пакету, що стало можливим за рахунок відмови від аналізу IP-адреси в його заголовку.

Для оцінки і порівняльного аналізу різних методів організації доступу до даних, як найбільш універсальний доцільно використовувати критерій «ефективність-вартість» [7].

Під ефективністю  $E$  в даній задачі мають на увазі деякий функціонал швидкості передачі запитів  $V_q$  і достовірності передачі, яка виражається через помилки першого і другого роду з відповідними ймовірностями  $P_I$  і  $P_{II}$  [5, 7]:

$$E = \psi(V_q, P_I, P_{II})$$

Вартість визначається за формулою:

$$C = a_1 V_{inf} + a_0.$$

1. При обмеженнях на час займання каналу при гарантованій якості обслуговування QoS:

$$t_3 \leq T_{max}, \quad \text{при } t_3 > T_{max} \quad C = a_2 V_{inf}, \quad \text{де } a_1 \text{ і } a_2 \text{ – вагові коефіцієнти, що}$$

підбираються експериментально, за результатами аналізу стану каналів передачі.

Якщо  $a > a_0$ , де коефіцієнт  $a_i$  визначається методом експертних оцінок на основі результатів обробки статистичних даних, тоді, в цьому випадку, як перше наближення пропонується лінійно-ламанна залежність (рис. 2).

Завдання вибору точки зламу носить суб'єктивний характер, тому розглянемо іншу функцію вартості:  $C = a_{12} V_{inf} + a_0$ . Коефіцієнт  $a_{12}$  вибирається з умови  $a_1 V_{max} + a_0 = a_{12} V_{max}^2 + a_0$  або  $a_{12} = \frac{a_1}{V_{max}}$ .

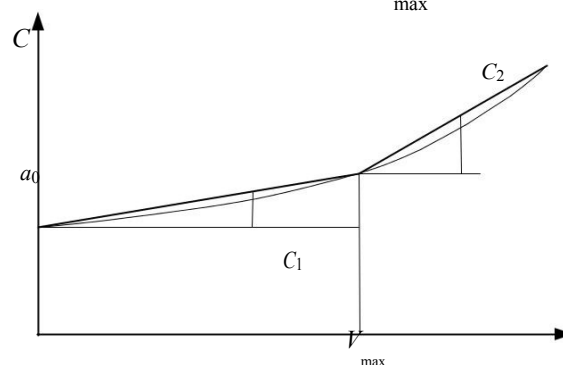


Рис. 2. Залежність при гарантованій якості обслуговування

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

2. Альтернатива – якість сервісу не гарантується (обслуговування за угодою BestEffort) [8].

$$C = a_3 V_{inf} + a_{03}$$

Забезпечення передачі даних – задача оператора (провайдера мережі). В цьому випадку також зупинимося на лінійно-ламаний залежності як першому наближенні, але з іншим коефіцієнтом і точкою зламу (рис. 3), та на квадратичній залежності, де  $a_{32}$  вибирається з тих же міркувань, що і  $a_{12}$ .

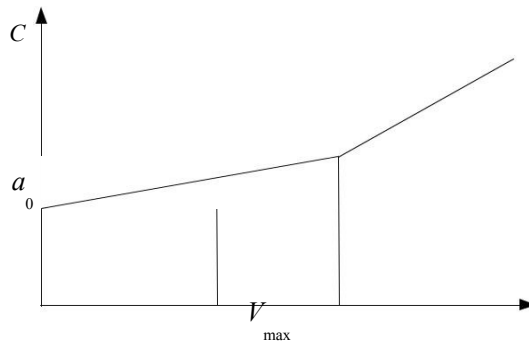


Рис. 3. Залежність вартості режиму передачі даних

Квадратичні функції вартості широко застосовуються при аналізі і синтезі великих систем, в тому числі інформаційно-обчислювальних та систем керування.

3. Форс – мажорна ситуація (максимальне виділення каналів), якість обслуговування QoS максимальна, при цьому вартість є другим пріоритетом. Необхідно забезпечити гарантований обсяг каналу –  $V_{канал} \geq V_{inf}$ .

При визначенні необхідного обсягу каналу, обсяг інформації, що переробляється орієнтовно у 10 – 100 разів менше в штатній ситуації, ніж при виникненні позаштатної ситуації. Тоді, вартість зростає згідно з законом

$$C_{max} = (1 - e^{-a_4 V_{inf}}), \text{ і графік виглядає таким чином (рис. 4).}$$

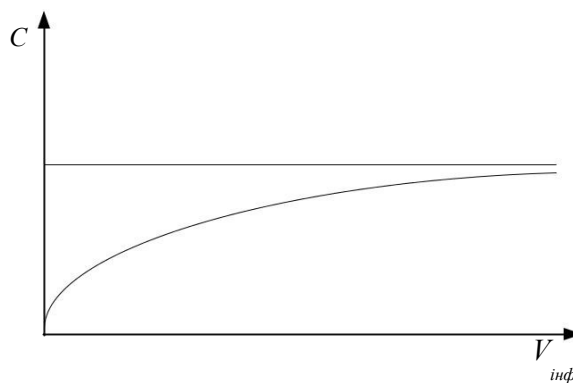


Рис. 4. Залежність вартості від якості інформації в «м'якій» форс-мажорній ситуації

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

В деяких випадках цінність інформації є абсолютним пріоритетом. Тому як функцію вартості доцільно вибирати інформаційну функцію виду

$$C = a_{42} \log_2 (1 + V_{\text{інф}}), \quad V_{\text{інф}} > 0 \text{ (рис. 5).}$$

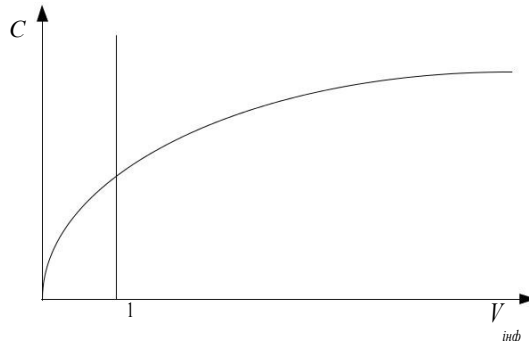


Рис. 5. Залежність вартості від якості інформації в «жорсткій» форс-мажорній ситуації

Таким чином, для оптимізації часу доставки і обробки інформації в різних ситуаціях треба вибирати відповідні функції вартості, запропоновані вище.

На підставі аналізу розглянутих механізмів можна стверджувати, що подальший розвиток та розробка механізмів забезпечення QoS буде вирішуватися на основі комплексних підходів та методик, що враховуватимуть вирішення цілого ряду проблем пов'язаних з покращенням функціонування мережі.

**Висновки.** Конвергенція телекомунікацій, реалізована в мультисервісних мережах, поставила питання забезпечення якості обслуговування на одну з ключових позицій в забезпеченні функціонування мережі. Огляд сучасних підходів до забезпечення QoS свідчить, що реалізація існуючих методів не повною мірою забезпечує вирішення даного питання, а тому подальший розвиток питання забезпечення якості буде йти шляхом розробки комплексних підходів та методик.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
2. Букатов А.А., Шаройко О.В. Методы распределения емкости телекоммуникационных каналов и обеспечения качества сетевого обслуживания // ЮГИНФО Южного федерального университета, 2008. – 23 с.
3. Гургенидзе А.Н. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 400 с.
4. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP. // Вестник связи, – 2008. – №1. – С. 1-16.
5. Герцій О.А., Гребінь Р.О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 191-196
6. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.
7. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
8. Столлингс В. Современные компьютерные сети. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.

*Olexander Gertsy, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor «Department of Telecommunications Technologies and Au-  
tomatics», State University for Transport Economy and Technologies)*

### CRITERIAL EVALUATION OF THE QUALITY OF FUNCTIONING OF MULTI-SERVICE NETWORKS

*This paper considered the problems of quality evaluation in multi-service network. Information streams of telecommunication networks differ greatly in their composition and requirements, which can be explained by a sharp increase in the amounts of new network complements, as well as by the change in correlation between the already existing and new network services. This calls for taking into close consideration dependences between the volumes of traffic, service quality indexes and network structural parameters, which eventually can be used in determining the value of decisions.*

*Recently, there has been an increasing interest to multimedia traffic transmission services, which has caused new complications related to telecommunication networks functioning. Being based on IP-technology, it is approximate for transmitting information and in itself cannot guarantee the proper maintenance of the real time traffic. For this reason, a number of mechanisms for providing the quality of service (QoS) have been developed. However, inconsistency of their mutual realization cannot guarantee the required level of service.*

*Therefore, development and research of mechanisms for construction and optimization of project decisions in IP-network planning is a topical issue.*

*Keywords: multi-service network, quality of service, estimation of parameters of quality.*

### REFERENCES

1. Goldstein B.S., Sokolov N.A., Yanovskii G.G. Telecommunications: textbook for universities. – SPb.: BHV-Peterburg, 2010. – 400 p.
  2. Bukatov A.A., Sharoyko O.V. Methods of distribution channel capacity of telecommunication network and quality of service // YUGINFO Yuznogo Federalnogo Universiteta, 2008. – 23 p.
  3. Gurgenzidze A.N. Multiservice networks and broadband services. – M.: Eco-Trendz, 2000. – 400 p.
  4. Yanovskii G.G. Quality of service in IP-networks. // Vestnik sviazi. – 2008. – №1. – P. 1-16.
  5. Gertsy O.A., Hrebin R.O. Methods of quality assurance of multiservice network connection // Zbirnyk nauk. prats DETUT. Serii «Transportni systemy i tehnologii». – Vyp. 20. – K.: DETUT, 2012. – P. 191-196.
  6. Stepanov S.N. Basics teletraffic of multiservice networks. – M.: Eco-Trendz, 2010. – 392 p.
  7. Moiseev N.N. Mathematical problems of system analysis. – M.: Nauka, 1981 – 488 p.
- Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for students. 4<sup>th</sup> edition. – SPb.: Peter, 2010. – 944 p.*

УДК 004.725.7

*І. А. Коротун (студент Державного економіко-технологічного університету транспорту, спеціальність «Автоматика та автоматизація на залізничному транспорті», спеціалізація «Автоматизовані системи технологічного зв'язку»)*

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

*У статті проаналізовано підходи та засади на яких будуються сучасні мережі зв'язку; проаналізовано методи організації нижніх рівнів моделі OSI та розглянуто найпоширеніші протоколи, які використовуються на них; дано характеристику таким технологіям як MPLS, ATM та DSL, GPON/FTTx.*

*Ключові слова: мережа зв'язку, модель OSI, мультипротокольна комутація за допомогою міток, асинхронний спосіб передачі даних, цифрова абонентська лінія, інтернет протокол, протокол визначення адреси, протокол межового шлюза, управління доступом до середовища.*

*В статтє проанализированы подходы и принципы на которых строятся современные сети связи; проанализированы методы организации нижних уровней модели OSI и рассмотрены наиболее распространенные протоколы, используемые на них; дана характеристика таким технологиям как MPLS, ATM и DSL, GPON / FTTx.*

*Ключевые слова: сеть связи, модель OSI, мультипротокольная коммутация с помощью меток, асинхронный способ передачи данных, цифровая абонентская линия, интернет протокол, протокол определения адреса, протокол граничного шлюза, управление доступом к среде.*

Зростаючий попит на телекомунікаційні послуги диктує не лише потребу у збільшенні їхньої кількості у формі розширення мереж зв'язку, а і стимулює покращення цих послуг та збільшення їх номенклатури. Проектування, створення, експлуатація та модернізація мереж зв'язку потребують використання сучасних технологій як з боку тих засобів, які впроваджуються, так і тих засобів, за допомогою яких відбувається впровадження. Впровадження технологій, які можуть задовольнити сучасні вимоги телекомунікаційного ринку обіцяє значні дивіденди. При цьому слід розуміти, що структурні зміни мереж на рівні транспортної мережі та мережі доступу мають свої особливості, пов'язані з їх функціональними ролями у загальній структурі мережі: зміна конфігурації транспортної мережі [1] має вплив на всю мережу і рух трафіка в ній, а зміна мережі доступу впливає на структуру трафіка, який надходить до транспортної мережі.

© Коротун І. А., 2015

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

У свою чергу, зміна кількісних показників трафіка на входах транспортної мережі впливає на рух трафіка в ній, але якщо зміни структури транспортної мережі зачіпають всю транспортну мережу безпосередньо або опосередковано, то зміна мережі доступу чинить вплив лише на ту частину мережі, де здійснюється її підключення, або ж чинить системний ефект при зміні всіх мереж доступу, які підключаються до даної транспортної мережі.

Таким чином, актуальним є аналіз мереж зв'язку, в особливості транспортної мережі, оскільки зона впливу її елементів більша порівняно з мережами доступу, але не можна недооцінювати роль мереж доступу, оскільки їх велика кількість при структурному переході до більш ефективної технології спричиняє вплив на транспортну мережу, який полягає, наприклад, у зменшенні частки службового навантаження, використанні протоколів, в цих мережах, які краще суміщаються.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Сучасні мережі зв'язку активно розвиваються в концепції мереж наступного покоління (Next Generation Networks, NGN) [2,3,4]. Відповідно до даної концепції у мережі зв'язку виділяються рівні:

- 1) транспортний;
- 2) управління комутацією та передачею даних;
- 3) рівень послуг та управління послугами.

Також окремо варто звернути увагу на рівень доступу [2,5,6,7]. В моделі NGN він не зазначається, оскільки вибір технології доступу часто визначається такими факторами, як передбачуваний попит на послуги, присутністю наявних комунікацій, наприклад, телефонного кабелю, який використовується в технології DSL (Digital Subscriber Line, цифрова абонентська лінія), а також, тому що дана концепція орієнтована на виділення окремих функцій мережі, а технологія доступу, як правило, має надавати ці три функції безпосередньо абоненту.

### **Постановка проблеми**

Транспортні мережі в системі мереж зв'язку мають глобальний вплив, тому якість наданих послуг провайдера зв'язку в найбільш загальному випадку залежить від технології транспортної мережі. Наприклад, для передачі інформації реального часу неприпустимо використання методу «дірявого відра» або «маркерного відра» [4] за якого частина пакетів, які не можуть бути передані у вузлі мережі, відкидається. В даному випадку потрібне застосування технологій, які б змогли забезпечити необхідну якість обслуговування, спираючись на кількість та якість послуг, які заплановано надавати даною мережею. З іншого боку, вимоги до трафіка, який надходить на транспортну мережу залежать від технології доступу, яка використовується і, т.ч., формує ці вимоги [8].

Проблема вибору технології транспорту та технології доступу [9], їх взаємодія, становлять складну задачу, яку можна вирішити лише практичним шляхом. Важливим є передбачення результатів впровадження тієї чи іншої технології та обґрунтування доцільності застосування конкретної технології.

Метою роботи є аналіз мультисервісних рішень, які впроваджуються на магістральних мережах та обґрунтування вибору технології доступу.

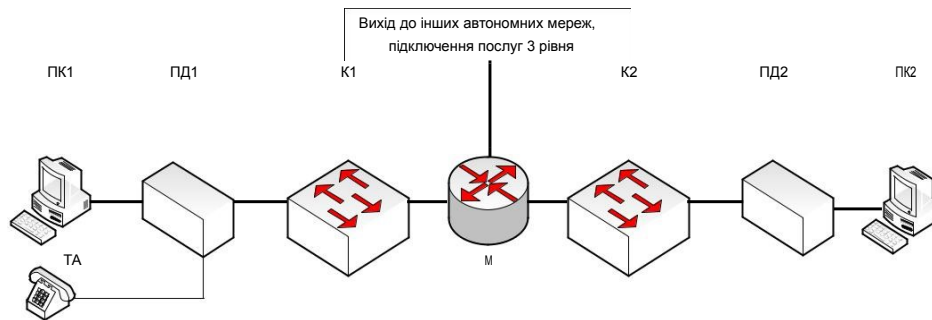
### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Сучасні мережі зв'язку стикаються на телекомунікаційному ринку з попитом на мультисервісні послуги, що створює умови для розвитку мультисервісних мереж. Задовольнити дані потреби дозволяє використання транспортної мережі, яка дозволяє передавати всі види трафіка, в найпростішому випадку – це голос,

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

дані та відео. Також, потрібно забезпечити можливість передачі таких видів трафіка, як, наприклад, факсимільний, телетайп, телетекст та інші. Цього можна досягти використанням шлюзів доступу, які підтримують широкую номенклатуру протоколів та будуються на сучасній цифровій базі із застосуванням комп'ютеризації [10, 11].

На рис. 1 зображена найпростіша схема встановлення зв'язку через мережу із застосуванням маршрутизації, тобто використовується третій рівень моделі OSI [7].



ПК1, ПК2 – персональні комп'ютери, К1, К2 – комутатори, М – маршрутизатор,  
ПД – підключення доступу, ТА – телефонний апарат.

*Рис. 1. Схема організації зв'язку по мережі з одним маршрутизатором*

У даному випадку для доступу до мережі абонентське обладнання (на схемі для прикладу, персональний комп'ютер та телефонний апарат) підключається до обладнання доступу. Пристрій доступу, наприклад, у разі використання технології FTTx являє собою комутатор доступу, який від транспортної мережі приймає оптичний сигнал, перетворює його в електричний, найчастіше для інтерфейса Ethernet [7,9], який завантажується на обладнання абонента, а в зворотньому напрямку робить зворотнє перетворення із сигналом, який вивантажується від абонента.

Функції пристрою доступу може виконувати і комутатор [12,13], якщо немає необхідності робити перетворення сигналу на фізичному рівні. В даному випадку маємо справу з комутацією на другому каналному рівні моделі OSI (Level 2, L2). Ідентифікатором каналного рівня служить MAC-адреса (Media Access Control, управління доступом до середовища).

Комутатор зберігає в пам'яті (т. зв. асоціативній пам'яті) таблицю комутації, в якій вказується відповідність MAC-адреси вузла порту комутатора. При включенні комутатора ця таблиця порожня і він працює в режимі запам'ятовування. У цьому режимі дані, які надходять на якийсь порт, передаються на всі інші порти комутатора. При цьому комутатор аналізує фрейми (кадри) і, визначивши MAC-адресу хоста-відправника, заносить його в таблицю на деякий час. Згодом, якщо на один з портів комутатора надійде кадр, призначений для хоста, MAC-адреса якого вже є в таблиці, то цей кадр буде переданий тільки через порт, зазначений у таблиці. Якщо MAC-адреса хоста-одержувача не асоційована з яким-небудь портом комутатора, то кадр буде відправлений на всі порти, за винятком того порту, з якого він був отриманий. З часом комутатор будує таблицю для

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

всіх активних MAC-адрес, в результаті трафік локалізується. Варто відзначити малу латентність (затримку) і високу швидкість пересилки на кожному порту інтерфейса. MAC-адреса складається з 6 байтів та є унікальною для пристрою якому вона присвоюється. Це зроблено з метою уникнення колізій при ідентифікації каналів в мережі.

Функціями маршрутизатора є прокладання маршрутів. Маршрутизатор працює на третьому, мережевому рівні моделі OSI (Level3, L3) [7,9]. Класичним та найпоширенішим протоколом маршрутизації є IP-протокол (IP – Internet Protocol). Для прокладання маршруту між вузлами мережі для передачі даних може використовуватися ARP-протокол (Address Resolution Protocol – протокол визначення адреси).

Принцип роботи ARP-протокола такий. Абонентський пристрій, якому призначено IP-адресу, надсилає на маршрутизатор пакет, в якому зазначені IP-адреса відправника, MAC-адреса відправника та IP-адреса отримувача. Отримавши даний пакет, маршрутизатор надсилає широковисувальний пакет усім, крім відправника, пристроям мережі з «проханням» вислати свою MAC-адресу, зазначаючи IP-адресу отримувача, у відповідь маршрутизатор отримує MAC-адресу абонента, IP-адреса якого зазначена у вхідному пакеті, як адресат. Таким чином, на маршрутизаторі утворюється таблиця відповідності MAC-адреси та IP-адреси для однозначної ідентифікації напряму передачі пакетів.

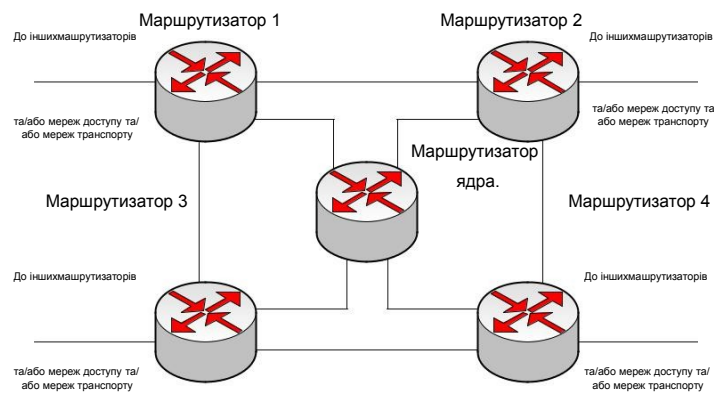


Рис. 2. Складна топологія організації ядра мережі

При використанні складної топології ядра мережі, наприклад, як показано на рис. 2 виникає необхідність прокладання маршруту, тобто із переліку кількох маршрутів необхідно вибрати один, та виділити можливі резервні (за необхідності), також, важливо уникати закільцювання, коли пакети не спрямовуються до отримувача, а багаторазово пересилаються між одними і тими самими маршрутизаторами.

Для маршрутизації може використовуватися протокол BGP (Border Gateway Protocol – протокол межового шлюза). Основною задачею BGP є динамічна маршрутизація в мережах. Він використовується для того, щоб в складній топології мережі «прокласти» маршрут прямування трафіка для передачі пакетів. Даний протокол використовується на маршрутизаторах, які мають зв'язок з іншими мережами, тобто на стику автономних мереж. Маршрутизатор, який знаходиться на межі з іншою автономною системою та використовує BGP повинен

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

мати інформацію про набір IP-адрес як всередині своєї мережі, так і всередині мережі з якою він межує. Для зв'язку між крайовими маршрутизаторами використовується eBGP (external BGP, тобто зовнішній BGP), а всередині автономної мережі використовується iBGP (internal BGP, тобто внутрішній BGP).

Перспективним виглядає використання в ядрі мережі технології MPLS (Multi Protocol Label Switching, мультипротокольна комутація за допомогою міток). Використання MPLS в ядрі мережі перш за все привабливе тим, що дозволяє інкапсулювати в свій пакет за допомогою мітки інформацію будь-який інший протокол, та передати його, керуючись лише інформацією з мітки.

| 32 біти |        |       |       |
|---------|--------|-------|-------|
| 20 біт  | 3 біти | 1 біт | 8 біт |
| Label   | TC     | S     | TTL   |

*Рис. 3. Структура мітки MPLS. Label – мітка; TC - traffic class – клас трафіка; S – «Bottom to stack» - «дно стека», TTL – time to live – час життя*

Мітка використовується для безпосередньої комутації; клас трафіка служить для забезпечення необхідної QoS (Quality of service, якість обслуговування); байт «дно стека» має значення 1, якщо мітка в стеку міток остання; час життя потрібен для запобігання петель.

Одним із можливих варіантів організації транспортної мережі може бути технологія ATM (Asynchronous Transport Mode, асинхронний спосіб передачі даних) – високопродуктивна технологія комутації та мультиплексування, яка заснована на передачі даних у вигляді ячеек, які складаються з 53 байтів, 5 з яких відведені під заголовки.

Якщо ж звернутися до технологій доступу, то перевагу отримують уже наявні або ж технології, які мають жорсткий попит.

До технологій, які вже існують, належить DSL, адже вона дає можливість організувати передачу даних по телефонному кабелю, практично, до 10 Мбіт/с. Теоретично застосування ж технологій ADSL (Asymmetric DSL, асинхронна DSL) дає можливість досягати швидкостей до 24 Мбіт/с для завантаження та 1,2 Мбіт/с для висхідного трафіка. Підключення ж мережі доступу на основі DSL здійснюється за допомогою мультиплексорів DSLAM (DSL Access Multiplexer, DSL мультиплексор доступу).

На противагу даній технології, яка має вже наявні фізичні лінії прийшла технологія GPON (Gigabit passive optical network, пасивні оптичні мережі ємністю в 1 Гбіт/с) або ж FTTx (Fiber to the (x), волокно в «приміщення»), що дає можливість отримати в будівлі оптоволоконне підключення, яке забезпечує підключення для користувача на швидкостях, які практично досягають можливостей обладнання користувача (як правило, мережеві плати ПК підтримують швидкість до 100Мбіт/с), а фактично можливе досягнення і більших швидкостей.

Отже, використання в транспортній мережі технології комутації пакетів, таких як MPLS та ATM дає можливість ефективного використання ресурсів, при цьому можливість MPLS по комутації протоколів, практично, будь-якого рівня робить його більш продуктивним, а тому має більше шансів зробити експлуатацію мережі більш ефективною. Підключення ж технологій доступу, таких як DSL та GPON (FTTx) історично співіснують, але надзвичайна продуктивність

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

GPON порівняно з DSL робить його більш перспективним, а тому GPON як стандарт зв'язку буде застосовуватися для надання телекомунікаційних послуг на місці DSL.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Басов В.И.. Цифровые интегральные сети связи. – Харьков: Транспорт Украины, 2000. – 166 с.
2. Семёнов Ю. В.. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ», 2005. – 240 с.
3. Бакланов И. Г.. NGN. Принципы построения и организации / Под ред. Ю. Н. Чернышова. – М.: Экотрендз, 2008. – 400 с.: ил.
4. Битнер В. И., Михайлова Ц. Ц. Сети нового поколения – NGN: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 226 с., ил.
5. Никитюк Л.А. Телекоммуникационные технологии цифровых сетей: Учеб. пособие /Под редакцией Н.В. Захарченко. – Одесса: Изд. УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 64 с.
6. Пескова С. А., Кузин А. В., Волков А. Н. Сети и телекоммуникации: Учеб. пособ для студентов высш.учеб. заведений.–2-е издание,стер. – М. Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
7. Максимов Н. В., Попов И. И. Компьютерные сети: Учебное пособие для студентов среднего профессионального образования. – М.: ФОРУМ, 2008. – 448 с.: ил. – (Профессиональное образование).
8. Басов В. И., Загарий Г. И., Приходько С. И, Терещенко Ю. Н., Чикин А. А.. Мультисервисные сети / Под ред. Ю. Н. Терещенко. – Харьков: ЧП Издательство «Новое слово», 2009. – 192 с.
9. Таненбаум Э., Уэзеролл Д.. Компьютерные сети. –5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с, ил.
10. Танненбаум Э.. Архитектура компьютера. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003.– 698 с., ил.
11. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.: ил.
12. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновський Г. Н. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.: ил.
13. Андерсон К., Минаси М.. Локальные сети.: Полное руководство. / Пер. с англ. – К.: ВЕК+:ЭНТРОП, СПб.: КОРОНА-принт, 1999. – 624 с., ил.

**Ivan Korotun**

*(Student of State University for Transport Economy and Technologies, Specialty «Automatic and Automation (Railway Transport)», Specializing «Automation system of Technological Communication»)*

### ANALYSIS TECHNOLOGIES OF MODERN COMMUNICATIONS NETWORKS

*This article analyzes the modern communication networks in the context of ideology of next generation networks; modern network functionally divided into transport and access network as separate comparison of such transport technologies such as MPLS and ATM, DSL and GPON / FTTx, given the comparison cell ATM and label MPLS, and for access technologies considered comparing the effectiveness of reuse of existing broadband channel called DSL connection and efficiency of implementation of GPON / FTTx, as a technology with higher data rates, and are routing communications based on circuit with a router, considered principles of communication using protocols such as IP, ARP and BGP, given complex topology network core areas of responsibility and described for eBGP and iBGP, are functioning as the second level of the OSI model based on MAC addresses, which allows access to the electrical signal propagation environment and described how the network layer uses MAC-address.*

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

**Keywords:** *network communication model OSI, multyprotokol switching using labels, asynchronous method of data transmission, digital subscriber line, Internet protocol, address resolution protocol, border gateway protocol, media access control.*

### REFERENCES

1. *Basov V.I.* Tsyfrovyye integral'nyie seti svyazi. [Digital integrative network communications]–Kharkov: Transport Ukrayiny, 2000. – 166 p.
2. *Semenov U.V.* Proektirovaniye setei svyazi sleduyushchego pokoleniya [Desining of next generation communication networks ]. - St. Petersburg: OAO»Ghiprosvyaz', 2005. –240 p.
3. *Baklanov Gh.* NGN. Printsypy postroeniya e orghanizatciyi. [Principles of construction and organization]./ Pod pedaktsyyey Yu. N. Chernyshova. – Moscow: Eco-Trandz, 2008. – 400 p.
4. *Bitner V.I., Mykhaylova Ts.Ts.* Seti sleduyushchego pokoleniya – NGN. Uchebnoe posobiye dlya vuzov. [Next generation networks – NGN. Textbook for High Schools]. – Moscow: Gharyachaya liniya – Telecom, 2011. – 226 p.
5. *Nikityuk L.A.* Telekommunikatsionnye tekhnolohiyi tsyfrovyyh setey. [Telecommunication technologies of digital networks] Ucheb.posobie. / Pod redaktsyyei N.V. Zaharchenko – Odessa: izd. UGHAS im A. S. Popova, 2000. – 64 p.
6. *Pescova S.A., Kuzin A.V., Volkov A.N.* Sety i telekommunikatsyyi [Networks and telecommunications]: uchebnoye posobiye dlya studentov vussh. ucheb. zavedeniy. – 2-e izdaniye, ster. – Moscow.: izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2007. – 352 p.
7. *Maksimov N.V., Popov I.I.* Kompyuternyye seti [Computer networks]: uchebnoye posobiye dlya studentov srednegho professionalnogho obrazovaniya. – Moscow, FORUM, 2008. – 448 p.: ill/ (Profesionalnoe obrazovaniye).
8. *Basov V.I., Zaghoriy Gh.I., Prihod'ko S.I., Tereshchenko Yu.N., Chikin U.U.* Multiservisnyie seti/ Pod red. Yu. N. Tereshchenko. – Kharkov. ChP Izdatel'stvo «Novoe slovo», 2009. – 192 p.
9. *Tanenbaum E., Wetherall D.* Kompyuternyye seti. 5-ye izd. [Computer networks. 5-th edition]. – St. Petersburg: Piter, 2012. – 960 p.
10. *Tanenbaum E.* Arhitektura kompyutera. 4-ye izd. [Computer architecture. 4-th edition]. – St. Petersburg: Piter, 2003. – 698 p.
11. *Olipher V.Gh., Olipher N.A.* Kompyuternyye seti. Printsypy, tekhnolohiyi, protokoly: Uchebnik dlya vuzov. – 3-ye izd. [Computer networks: principles, technologies, protocols. Textbook for High Schools. 3-id edition] – St. Petersburg: Piter, 2006. – 958 p.
12. *Gholdshstein B.S., Sokolov N.A., Yanovskiy G.N.* Seti svyazi: Uchebnik dlyu VUZov. [Communication networks: Textbook for High Schools]. St. Petersburg: BHV – St. Petersburg, 2010. – 400 p.
13. *Anderson K., Minasi M.* Local'nyie seti. Polnoe rukovodstvo: Per. [Local networks. The Complete Guide. Translated]. – St. Petersburg: VEK+ENTROP, s angl. – St. Petersburg: KORONA print, 1999. – 624 p.

УДК 004.8

*С. В. Наконечна, к.т.н.  
(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»  
Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

### **ЗДАТНІСТЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО САМОСВІДОМОСТІ ТА МИСЛЕННЯ**

*У статті розглядається специфіка штучного інтелекту в порівнянні з людським мисленням та самосвідомістю. Розглянуто основні рівні штучного інтелекту. Зроблено висновки про нездатність штучного інтелекту до високоінтелектуального мислення на сучасному етапі розвитку комп'ютерних технологій.*

*Ключові слова: штучний інтелект, самосвідомість, мислення, робот, само-навчання, людський мозок.*

*В статье рассматривается специфика искусственного интеллекта по сравнению с человеческим мышлением и самосознанием. Рассмотрены основные уровни искусственного интеллекта. Сделано выводы о неспособности искусственного интеллекта к высокоинтеллектуальному мышлению на современном этапе развития компьютерных технологий.*

*Ключевые слова: искусственный интеллект, самосознание, мышление, робот, самообучение, человеческий мозг.*

**Постановка проблеми.** У сучасному світі, розвиток штучного інтелекту відбувається досить бурхливо. Це черговий виклик для людства, наступна, після винаходу комп'ютерів та інтернету, переломна точка розвитку найближчого десятиліття. Вчені роблять найрізноманітніші прогнози щодо того, як буде розвиватися ця наука в майбутньому.

Білл Гейтс, Стівен Хокінг, Стівен Возняк та інші провідні світові вчені в галузі розвитку штучного інтелекту [1] вважають, що людство може зайти занадто далеко в різних галузях і закликають зробити все можливе, щоб уникнути світової катастрофи. Вони вважають, що все ж таки штучний інтелект, який так посилено намагається створити людство, «може перемудрувати нас всіх». Але з іншого боку, штучний інтелект може стати корисним людству в різних аспектах. Тому перед нами постає питання «Чи потрібно працювати над створенням та розвитком штучного інтелекту?»

Штучний інтелект – наука і технологія створення інтелектуальних машин, особливо інтелектуальних комп'ютерних програм. Штучний інтелект пов'язаний з задачею використання комп'ютерів для розуміння людського інтелекту, але він не обов'язково обмежується біологічно правдоподібними методами.

© Наконечна С. В., 2015

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

Уперше проблематику штучного інтелекту підняли на дартмутській конференції 1956 р. За ініціативи відомого американського інформатика Джона Маккарті зібралось багато фахівців з галузі кібернетики, такі як К. Шеннон, М. Саймон, А. Ньюел, щоб обговорити можливість реалізації проекту створення штучного інтелекту. На конференції увагу привернула стаття англійського математика Алана Тюрінга «Computing machinery and intelligence» [2], що була опублікована в 1950 р. У цій статті А. Тюрінг сформулював свій знаменитий тест, що визначає можливість комп'ютерів мислити. Стандартна його інтерпретація така: людина (суддя) одночасно взаємодіє з іншою людиною і з комп'ютером. Всі учасники тесту не можуть бачити один одного. На підставі даних комп'ютером і людиною відповідей суддя повинен визначити з ким розмовляє в даний момент. Якщо комп'ютерна програма зуміє ввести людину в оману – вважається, що вона пройшла тест на наявність інтелекту. Тест Тюрінга створив передумови для початку бурхливого розвитку «розумних» машин [2].

Більшість з вчених упевнені в тому, що всі нові відкриття в галузі штучного інтелекту будуть засновані на існуючих в даний момент розробках. IBM, Apple, Google та інші високотехнологічні корпорації працюють над створенням штучного інтелекту. В останні роки ми все частіше стикаємося з фактами, що системи штучного інтелекту стають все більш досконалими. Але, як і у будь-якій іншій технології, у штучного інтелекту є свої переваги та недоліки.

До позитивних сторін можна віднести те, що створення «розумних» машин допоможе без зусиль вирішити завдання, які вирішувалися тисячоліттям, і прискорить розвиток технологій. За рахунок досягнень в області штучного інтелекту створено велику кількість наукових розробок, які істотно спрощують життя людей. Кожен, хто користувався комп'ютером з сучасним програмним забезпеченням, працював з інтелектуальними програмами. Розпізнавання мови, відсканованого тексту, рішення обчислювально складних завдань за короткий час і т.д. все це стало доступним завдяки розвитку штучного інтелекту. Заміна людини-спеціаліста на системи штучного інтелекту, зокрема на експертні системи там, де це допустимо, дозволяє прискорити і здешевити процес виробництва.

Також, для особливо шкідливих і небезпечних професій, можна було б використовувати роботів та інші механізми. При цьому людство не залишилося б безробітним, оскільки обслуговувати і ремонтувати ці механізми доведеться людям, щонайменше, поки не будуть винайдені роботи, здатні діагностувати несправність і ремонтувати інших роботів.

Результати роботи систем штучного інтелекту не залежать від багатьох факторів, які притаманні людині. Досвід показує, що на сьогоднішній день системи штучного інтелекту досягають найкращих результатів, функціонуючи спільно з людиною. Адже людина, на відміну від штучного інтелекту, вмє мислити нестандартно і творчо, проявляти емоції, що дозволяло їй розвиватися і йти вперед протягом всієї її епохи.

Можна визначити і очевидні недоліки:

– зависання в ситуації розмитої невизначеності, можливість збою (хоча його можна віднести до розряду «хвороб», їм підлягає і людина, наприклад, зараження вірусом, втрата пам'яті і т.д.);

– непристосованість до виконання незапрограмованих фізичних дій (затримка злочинця, оперативний пошук, непередбачувана ситуація);

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

– прогнозована вченими і загрозна катастрофічними наслідками можливість виходу з-під контролю.

**Аналіз останніх досліджень.** Метою штучного інтелекту є створення технічних систем, здатних вирішувати завдання необчислювального характеру і виконувати дії, що вимагають переробки змістовної інформації і вважаються прерогативою людського мозку [3]. До числа таких задач належать, наприклад, ігрові задачі, задачі на доказ теорем, задачі по створенню музики, розпізнаванню зорових образів, вирішенню складних творчих проблем науки і суспільної практики. Однією з важливих задач штучного інтелекту, якою цікавляться вчені багатьох країн, є створення інтелектуальних роботів, здатних автономно здійснювати операції по досягненню цілей, поставлених людиною, і вносити корективи у свої дії.

Внесемо деяку ясність. Робот – це лише оболонка штучного інтелекту, яка іноді наслідує людський образ, а штучний інтелект – це комп'ютер, який знаходиться всередині робота. Штучний інтелект – це мозок, а робот – це тіло, якщо воно взагалі існує [1]. Наприклад, помічник у iOS Siri – це штучний інтелект, а жіночий голос – це персоніфікація штучного інтелекту, і при цьому немає ніякого робота.

Що стосується прикладних наук, поняття «робототехніка» було вперше використано Айзеком Азімовим в науково-фантастичному оповіданні, опублікованому в 1941 р. «Робототехніка» ґрунтується на слові «робот», вигаданому в 1920 р науковим фантастом і Нобелівським лауреатом Карлом Чапеком для своєї п'єси «Россумские универсальные роботы». Слово «робот» походить від чеського слово «robota», що означає «кріпосну працю» або, умовно, «тяжка робота». Однак, інтерес до ідей, схожих з робототехнікою, спостерігався ще в 8-7 ст до н. е. Роботи використовуються в промислових, військових, прикладних і науково-дослідних цілях.

У 2011 р. в Японії був розроблений перший прототип штучного мозку. Штучний інтелект може обробляти велику кількість інформації, однак роботи ще не наділені здатністю мислити.

Більшість існуючих нині роботів здатні діяти, суворо дотримуючись закладених в їхніх системах інструкцій. Вони ефективно виконують поставлені перед ними задачі, але не можуть «розумно» взаємодіяти з людьми. А протягом декількох років, коли роботи будуть масово впроваджені в повсякденне життя, ця проблема постане особливо гостро. Адже, якщо робот буде в змозі усвідомити потреби кожної людини, він зможе вибирати максимально ефективну лінію поведінки, роблячи процес спілкування більш продуктивним.

У кожної людини є прагнення максимально полегшити свою працю. Робототехніка сьогодні є досить перспективним напрямком штучного інтелекту. Оскільки роботу м'язів можна замінити тільки роботою інших програм, людина не забула цим скористатися – на багатьох заводах роботу людей сьогодні замінюють роботою роботів.

Суперечки в штучному інтелекті викликані питанням можливості мислення. Питання «Чи може машина мислити?» [4] підштовхнуло дослідників до створення науки про моделювання людського розуму. Дві основних точки зору на це питання носять назви гіпотез сильного та слабого штучного інтелекту [5, 6].

Термін «сильний штучний інтелект» висунув Серль, за його ж словами штучний інтелект можна створити і він буде цілком собі свідомим, така програма буде не просто моделлю розуму, вона в буквальному сенсі слова сама і буде розумом, в тому ж сенсі, в якому людський розум – це розум.

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

Термін «слабкий штучний інтелект» навпаки, говорить, що не можна створити таку програму, яка буде ідентична людському розуму, штучний інтелект воліють розглядати програмно, лише як інструмент, що дозволяє вирішувати ті чи інші завдання, які не вимагають повного спектру людських пізнавальних здібностей.

Самосвідомість – це особливий рівень свідомості [7], на якому здійснюється функція контролю за діяльністю свідомості і підтримується її цілісність. Вона передбачає усвідомлення людиною власної особистості і відмінності свого «Я» від усього, що її оточує. Це здатність людини подивитися на себе з боку, усвідомити свої дії, почуття, думки, мотиви поведінки, інтереси, своє становище в суспільстві. Вона виникає під впливом певних суспільних умов, що вимагають від людини уміння оцінювати свої вчинки, слова і думки з погляду певних соціальних норм.

Самосвідомість тісно пов'язана з феноменом рефлексії. Рефлексія – це міркування особистості про саму себе, коли вона проникає в сокровенні глибини свого внутрішнього духовного життя.

«Мислячих» роботів намагаються створити вже багато років, але повноцінного штучного інтелекту поки винайти не вдалося. На нинішньому етапі задача фахівців університету Кейо – створити механізм, здатний виробляти багатопланову обробку візуальної інформації так, щоб робот не тільки побачив об'єкт, але й адекватно його сприйняв. Наступним етапом стане система, що розпізнає людську мову. Найскладніша частина проекту – зробити так, щоб робот зумів «відчути» емоційний стан людини, яка з ним спілкується по голосовим вібраціям, тону мови і т.д., що буде дуже важко.

Дуже цікаве припущення надав Жан-Лу Раульта, дослідник Мельбурнського інституту, на його думку вже в 2025 р. роботизовані домашні тварини складуть серйозну конкуренцію живим. Раульт стверджує, що найближчим десятиліттям розробники просунуться настільки далеко, що виробники зможуть створювати тварин, здатних вступати в тісний емоційний зв'язок з людьми [8].

Суперкомп'ютер Наутілус, розроблений компанією SGI Altix, схоже, вміє певною мірою бачити майбутнє. Наприклад, він зміг передбачити початок «арабської весни» в грудні 2010 р. [8]. Наутілус збирає інформацію з більш, ніж 100 мільйонів новинних статей з усіх куточків світу. Також аналізувалися архіви старих публікацій, у тому числі – всі випуски газети New York Times, починаючи з 1946 р. Всі статті аналізувалися комп'ютером за двома параметрами: настрій (які новини в ній повідомлялися – хороші чи негативні) і місця, в яких відбувалися події. Ключовими словами для аналізу настроїв були «жахливий», «огидний», «відмінний», «чудовий» тощо. При аналізі місця враховувалися згадки географічних назв, кожне з них наносилося за координатами на карту світу. Також комп'ютер досліджував більш дрібні елементи повідомлень. У результаті була створена інформаційна карта, що складається з більш ніж 100 трильйонів логічних взаємозв'язків. Наутілус видавав графіки настрою по кожній з країн, в яких відбулася так звана «арабська весна». Дивно, але комп'ютер зумів заздалегідь зафіксувати різке погіршення суспільної атмосфери до початку заворушень і зробив точний прогноз.

Розробляючи принципи функціонування нового мозку для роботів, конструктори використовують принципи самонавчання та обробки інформації людським мозком, технології аналізу роботом аудіоінформації і сприйняття ним емоційних складових [9]. Такі технології вже існують і застосовуються в різних моделях

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

залізних машин, але японські дослідники планують зробити те, чого не вдалося зробити нікому раніше: об'єднати всі три технології в одну.

Існує безліч різних видів і форм штучного інтелекту, це в цілому дуже широке поняття. Критичні категорії, якими нам слід мислити в питаннях штучного інтелекту, можна розділити на три основні рівні [10]:

1) *Слабкий штучний інтелект (ANI)* – це такий штучний інтелект, який спеціалізується в якійсь одній конкретній сфері. Існує штучний інтелект, здатний перемогти в чемпіонаті світу з шахів, але, на жаль, це все, що він вміє. Якщо ми задамо йому іншу задачу він її не зможе вирішити.

2) *Сильний штучний інтелект (AGI)*, також відомий, як штучний інтелект людського рівня – це комп'ютер, здатний вирішити будь-яку розумову задачу, яку здатна вирішити людина. Створити AGI набагато складніше, ніж ANI, і нам це тільки належить зробити. Професор Лінда Готфредсон описує інтелект як «дуже загальну психічну здатність, яка, крім усього іншого, включає в себе здатність міркувати, планувати, вирішувати проблеми, мислити абстрактно, розуміти складні ідеї, швидко вчитися і вчитися на досвіді». AGI буде справлятися зі всім цим з такою ж легкістю, як і ви.

3) *Штучний надінтелект (ASI)*. Оксфордський філософ і ведучий мислитель у галузі штучного інтелекту Нік Бостром визначає ASI як «інтелект, який набагато розумніший кращих людських розумів практично в будь-якій сфері, у тому числі науковій творчості та соціальних навичках». ASI, у свою чергу, варіюється від комп'ютерів, які трохи розумніші людини, до тих, які перевищують можливості людського розуму в усіх напрямках в трильйони разів.

На сьогоднішній день люди підкорили штучний інтелект рівня ANI.

Як приклад можна навести:

- пошукова система Google – це одна велика ANI;
- спам-фільтр на вашій електронній пошті – класичний тип ANI, він починає роботу з наперед визначеною можливістю розпізнавати спам, а потім вчиться і адаптує свій інтелект під ваші конкретні переваги;
- телефон – це невелика фабрика ANI, коли ви використовуєте навігацію, перевіряєте погоду і т.д.;
- автомобіль з вбудованою системою ANI – від комп'ютера, який прораховує, коли включати антиблокувальну гальмівну систему до комп'ютерів, які налаштовують параметри системи вприскування палива. Самокерований автомобіль Google, який зараз тестується, міститиме потужні ANI системи, які дозволять автомобілю сприймати оточення і вчасно на нього реагувати.

ANI-системи широко застосовуються у військовій техніці, виробництві, фінансах, медицині, існують експертні системи, які допомагають лікарям ставити вірні діагнози. На сьогоднішній день можна навести багато прикладів застосування штучного інтелекту. Сучасні ANI-системи не такі вже й страшні. У гіршому випадку погано запрограмована ANI може викликати локальну катастрофу, наприклад, відключення енергосистем на атомній електростанції, або спровокувати обвалення ринку (коли ANI неправильно відреагувала на несподівану ситуацію, що призвело до різкого обвалу біржового ринку). Це можна віднести до найбільш вразливих місць штучного інтелекту.

Відповідно до закону Мура, в 2020 р. комп'ютери досягнуть потужності людського мозку, оскільки зможуть виконувати 20 квадрильйонів (тобто 20 000 000

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

мільярдів) операцій в секунду, а до 2060 р., деякі футурологи прогнозують, що комп'ютер зрівняється за силою розуму з усім людством.

У вересні 2015 р. в Японії пройшла конференція з робототехніки та штучного інтелекту RO-MAN, на якій виступив з доповіддю професор Політехнічного інституту Ренсселера Сельмер Брінгсйорд. Американські фахівці з штучного інтелекту провели експеримент з трьома людиноподібними роботами [11], в ході якого машини вирішили логічне завдання, показавши ознаки самосвідомості.

Трьом старим моделям роботів Nao повідомили, що двом з них дали спеціальну «таблетку німоти», яка позбавила їх можливості розмовляти, насправді ж інженери просто натиснули на спеціальну кнопку. Однак роботи не знали, кого саме позбавили дару мови. Машинам поставили запитання про те, кому дали таблетку. Всі вони спробували дати відповідь «не знаю». Тільки робот, здатний говорити, зміг вимовити цю фразу, почув свій власний голос і зрозумів, що йому «таблетку» не дали. Після цього він відповів: «Вибачте, зараз я знаю. Я зміг довести, що мені не видали «таблетку німоти». Крім ввічливості, в ході тесту роботи Nao продемонстрували здатність до базових форм самосвідомості. Машини повинні були не тільки зрозуміти запитання, впізнати свій голос, але й здогадатися, що можливість говорити вказує на те, що суб'єкту не видали «таблетку німоти».

Це лише перші проблески самосвідомості. Отриманий результат рано ще назвати технічним проривом, однак наявність самосвідомості у роботів можна розвинути за допомогою низки тестів, що може принести велику користь людству. Потрібно докласти чималих зусиль в області цих розробок.

З приводу «мислячих» роботів потрібно сказати, що жодна з існуючих машин ще не наблизилася до проходження перевірок на мислення.

Суть реалізації мислення досі до кінця не з'ясована і залишається таємницею для науки. Сьогодні комп'ютери переробляють в основному не саму інформацію, а тільки вміст комірок пам'яті, які можна заповнити чим завгодно. Отже, комп'ютери не «осмислюють» вміст інформації на відміну від людей, для яких характерні виключно осмислені поняття. Образно можна сказати, що у людей процес мислення відбувається в душі, в той час як для машин її не існує.

Сьогодні ми маємо можливість спостерігати постійне зростання обчислювальної потужності комп'ютерів [12], але це не означає появу в них штучного інтелекту. На жаль, навіть принципи роботи людської психіки сьогодні залишаються неясними. А оскільки штучний інтелект спочатку замислювався, як прообраз людини, то його створення пов'язане з невідомістю. Однак, зростання продуктивності комп'ютерів у поєднанні з підвищенням якості алгоритмів обробки робить можливим застосування різних наукових методів на практиці в різних сферах життя людства.

На закінчення потрібно підкреслити, що в даний час штучний інтелект допомагає людям і не замінює їх. Сьогодні ми широко використовуємо системи штучного інтелекту в багатьох сферах життя, в метеопрогнозах та плануванні економічного розвитку. Системи штучного інтелекту все більше полегшують повсякденне життя людини і зменшують число проблем, створених самою людиною. Вони успішно використовуються у сфері освіти, наприклад, для визначення показників успішності учня. Системи штучного інтелекту широко використовуються також і в предметах домашнього вжитку. Немає сумнівів у тому, що штучний інтелект може вивести наше життя на якісно новий рівень. «Розумні»

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

комп'ютери здатні зробити більш безпечними дороги, допомогти в медицині. Машини можуть стати незамінним помічником для інвалідів і літніх людей, вони без проблем замінять людину в сфері обслуговування і багатьох інших сферах.

Дослідження з штучного інтелекту тривають, вже були досягнуті певні успіхи у виробництві пристроїв, що певною мірою моделюють розумові функції низького рівня [13]. Але, якщо в майбутньому машини зможуть мислити, усвідомлювати себе і мати почуття, то що тоді робить людину людиною, а машину – машиною?

Проте кращі вчені й технологи світу впевнені, що розвиток штучного інтелекту приховує в собі неймовірну загрозу для всієї людської цивілізації. Тому краще його створювати під контролем громадськості, з ретельним опрацюванням питань безпеки.

**Висновки.** Підсумовуючи усе вище описане, можна сказати, що високоінтелектуальне мислення – це властивість не високоорганізованої матерії, а властивість високоорганізованої душі. Тварини і люди здатні ставити і вирішувати завдання. Комп'ютери – пристрої неживі, сьогодні їх олюднюють програмісти, а машини лише слідуєть їх вказівкам. На жаль, якою б не була складною сучасна програма, які б складні алгоритми не були закладені у неї, в результаті вона не зможе зробити нічого крім того, що не передбачено людиною.

У наш час штучний інтелект інтенсивно розвивається. Створюються і удосконалюються експертні системи, які замінюють людей на виробництві та в побуті, але ці системи позбавлені механізму самовдосконалення і мислення. Вони виконують тільки ту роботу, для якої створені, і не можуть «мислити» або «творити». Тому ці системи не можна вважати повноцінним штучним інтелектом. Проблема вивчення і розробки штучного інтелекту полягає в тому, що наша наука не може сказати, як працює людська свідомість. А оскільки штучний інтелект, насамперед, повинен моделювати людську поведінку, як інтелектуальної істоти, то створити штучний інтелект буде неможливо доти, доки ми не зрозуміємо природу інтелекту людини.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Стюарт, Р.*, Норвіг, П. Искусственный интеллект: современный подход (АИМА) / Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). – 2-е изд. / Р. Стюарт, П. Норвіг. – М.: «Вильямс», 2007 – 1424 с.
2. *Turing, A. M.* Computing Machinery and Intelligence / A. M. Turing // Mind. – 1950. – vol. LIX, № 236. – P. 433 – 460.
3. *Хокінс, Д.*, Блейкли, С. Об интеллекте / Д. Хокінс, С. Блейкли. – М.:ООО «И. Д. Вильямс», 2007. – 240 с. ISBN 978-5-8459-1139-1
4. *Тьюринг, А.* Может ли машина мыслить? (С приложением статьи Дж. фон Неймана «Общая и логическая теория автоматов». /Пер. и примечания Ю.В. Данилов / А. Тьюринг. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 11 с.
5. *Searle, J. R.* Minds, Brains and Programs / J. R. Searle // Behavioral and Brain Sciences. – 1980. – Vol. 3. – № 3. – P. 417 – 458.
6. *Searle, J. R.* Is the Brain's Mind a Computer Program? / J. R. Searle // Scientific American. –1990. – №262. – P. 26 – 31.
7. *Карамішева, Н.* Природне та штучне як властивості креативних об'єктів / Н. Карамішева // Вісник Львівського університету – 2004. – Вип. 6. – С. 27-34.
8. Mode of access: <http://www.publy.ru/post/17754/> – Last updated: 10 –October-2015.

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

9. Петрунин, Ю. Ю. Философия искусственного интеллекта в концепциях нейронаук: монография / Ю. Ю. Петрунин, М. А. Рязанов, А. В. Савельев. – Москва: МАКС Пресс, 2010. – 77 с. ISBN 978-5-317-03251-7.

10. Люггер, Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Под ред. Н.Н. Куссуль./ Дж. Ф. Люггер. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.

11. Mode of access: <http://lenta.ru/news/2015/07/20/selfcons/>. – Last updated: 20-Jul-2015.

12. Рыжов, В. В., Сайфулин, В. Г. К вопросу о способности искусственного интеллекта к научному творчеству / В.В. Рыжов, В.Г. Сайфулин // Вестн. Волгogr. гос. ун-та. Сер. 7. – 2011. – № 1 (13). – С. 138-141.

13. Рамачандран, В. С. Рождение разума. Загадки нашего сознания / В. С. Рамачандран. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес» 2006. – 224 с. ISBN 5-9693-0022-5.

**Svitlana Nakonechna, PhD (Technical Sciences)**

*(Associate Professor «Department of Telecommunications Technologies and Automatics», State University for Transport Economy and Technologies)*

### THE ABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SELF-CONSCIOUSNESS AND THINKING

*The paper presents the specificity of artificial intelligence compared to human thinking and self-consciousness. The authors show how to use artificial intelligence in the world. The basic level of artificial intelligence was reviewed. It is shown that artificial intelligence development is defined by the computer processing power. The recent research of artificial intelligence was considered. The advantages and disadvantages of artificial intelligence was considered. The problem of studying and development of artificial intelligence also was considered. Artificial intelligence should simulate human behaviour as intellectual beings, so create artificial intelligence will be impossible as long as we do not understand the nature of human intelligence. Conclusions about inability to highly intelligent thinking at the present stage of development of computer technology is established.*

**Keywords:** artificial intelligence, self-consciousness, thinking, robot, human in-telligence, human brain.

### REFERENCES

1. Styuart R., Norvig P. *Iskusstvennyiy intellekt: sovremennyiy podhod (AIMA)* [Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA)]. Moscow, Vilyams, 2007. – 1424 p.
2. Turing A. M. *Computing Machinery and Intelligence*. Mind, 1950, vol. LIX, № 236, pp. 433 – 460.
3. Hokin D., Bleykli S. Ob intellekte [About intelligence]. Moscow, Vilyams, 2007. – 240 p. ISBN 978-5-8459-1139-1.
4. Tyuring A. *Mozhet li mashina myslit? (S prilozheniem stati Dzh. fon Neymana Obschaya i logicheskaya teoriya avtomatov)*. [Can a machine think? (With the application of article John von Neumann General and logic theory of automata)]. Moscow, GIFML, 1960. – 11 p.
5. Searle J. R. Minds, Brains and Programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 1980, Vol. 3, № 3. – pp. 417 – 458.
7. Karamysheva N. Prirodne ta shtuchne yak vlastivosti kreativnih obektiv [Natural and artificial objects as creative properties] Visnik Lvivskogo universitetu [Bulletin of Lviv University], 2004, issue 6. – PP. 27 – 34.

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

8. Mode of access: <http://www.publy.ru/post/17754/> – Last updated: 10 –October-2015.
9. Petrunin Yu. Yu., Ryazanov M. A., Savelev A. V. *Filosofiya iskusstvennogo intellekta v kontseptsiyah neyronauk: monografiya [Philosophy of artificial intelligence concepts in neuroscience: monograph]*, Moscow, MAKS Press, 2010. – 77 p. ISBN 978-5-317-03251-7.
10. Lyuger Dzh. F. *Iskusstvennyi intellekt: strategii i metody resheniya slozhnyh problem [Artificial Intelligence: Strategies and methods for solving complex problems]*. Moscow, Vilyams, 2005. – 864 p.
11. Mode of access: <http://lenta.ru/news/2015/07/20/selfcons/> – Last updated: 20-Jul-2015.
12. Ryizhov V.V., Sayfulin V.G. K voprosu o sposobnosti iskusstvennogo intellekta k nauchnomu tvorchestvu [On the ability of artificial mind for scientific creativity]. *Vestn. Volgogr. gos. un-ta. Ser. 7 [Bulletin of Volgograd National University]*, 2011, issue 1 (13). – PP. 138-141.
13. Ramachandran V. S. *Rozhdenie razuma. Zagadki nashego soznaniya [The birth of the mind. Mysteries of our consciousness]*. – Moscow: ZAO «Olimp-Biznes», 2006. – 224 p. ISBN 5-9693-0022-5.

УДК 656:004

*Б. І. Торопов, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*  
*В. К. Мироненко, д.т.н., професор (завідувач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОЕКТНОГО АНАЛІЗУ З УРАХУВАННЯМ ДОДАТКОВИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ ПРИ НАДАННІ «ВІКОН»

*Виконання реконструктивних заходів, пов'язаних з приведенням інфраструктури до нормативних значень з наданням «вікон», призводить до додаткових експлуатаційних витрат, які не враховуються при прийнятті управлінського рішення при виконанні проектного аналізу. Запропоновано підхід щодо визначення додаткових експлуатаційних витрат, що дозволить більш ефективно використовувати обмежені фінансові ресурси залізниці при виконанні реконструктивних заходів.*

*Ключові слова: графік руху, пропускна спроможність, «бар'єрне» місце, технологічне «вікно», паралельний хід.*

*Выполнение реконструктивных мероприятий, связанных с приведением инфраструктуры к нормативным значениям с предоставлением «окон», приводит к дополнительным эксплуатационным расходам, которые не учитываются при принятии управленческого решения при выполнении проектного анализа. Предложен подход к определению дополнительных эксплуатационных расходов, который позволит более эффективно использовать ограниченные финансовые ресурсы железной дороги при выполнении реконструктивных мероприятий.*

*Ключевые слова: график движения, пропускная способность, «барьерное» место, технологическое «окно», параллельный ход.*

Здійснення реконструктивних і ремонтних заходів на залізницях (будівництво других колій, капітальний ремонт, модернізація, облаштування залізничних ліній більш сучасними засобами СЦБ, електрифікації і т. п.) потребує надання «вікон» (перерв в русі поїздів) і пропуску «робочих» поїздів.

Надання «вікон» і пропуск робочих поїздів призводить до додаткового заповнення пропускної спроможності, що викликає затримки, в першу чергу,

© *Торопов Б. І., Мироненко В. К., 2015*

вантажних поїздів на ділянці, потребує більшої кількості рухомого складу (вагонів, локомотивів), що погіршує експлуатаційні показники і збільшує витрати на перевезення.

Принциповий підхід до визначення додаткових експлуатаційних витрат базується на визначенні загальної кількості «вікон», необхідних для виконання реконструктивних і ремонтних заходів, і грошової оцінки часу затримок поїздів з причин надання «вікон» залежно від технічного оснащення залізничної лінії (ділянки) і виконуваних розмірів перевезень.

Загальний час затримок поїздів з причин надання «вікон» і пропуску робочих поїздів залежить від числа головних колій на залізничній лінії (ділянці), системи організації руху поїздів, протяжності «вікна» («вікон») і розмірів вантажного і пасажирського руху.

По відповідних умовах (значна протяжність «вікон» 4, 6, 8 годин, значних розмірах руху – коефіцієнта використання пропускної спроможності 75 % і вище) частина поїздів може бути відхилена на паралельні ходи. У цьому випадку виникають додаткові витрати, які пов'язані з «перепробігом» поїздів (як правило, паралельний хід довший за основний); і у випадку, коли паралельний хід на тепловозній тязі, а основний хід електрифікований, то це призводить ще й до збільшення енергетичних витрат (за рахунок різниці в цінах на енергоносії).

Додаткові витрати, пов'язані з «перепробігом» і додаткові енергетичні витрати (за умови переключення частини поїздопотоку на паралельні ходи) можуть бути визначені на підставі проведення тягових розрахунків.

Додаткові простої поїздів мають місце як під час надання самого «вікна», так і після його завершення, коли поїзди «входять» в графік руху.

Існуючі методики дозволяють визначати кількість і протяжність «вікон» виходячи з обсягів виконуваних будівельно-монтажних і ремонтних робіт і розмірів руху [1].

У зв'язку з тим, що для виконання будівельно-монтажних робіт на ділянках надається значна кількість «вікон», що спричиняє порушення графіка руху поїздів, постає очевидна зацікавленість залізниць у скороченні кількості і тривалості «вікон».

«Інструкція про порядок надання і використання вікон у графіку руху поїздів для ремонтних і будівельних робіт на залізницях України» і розроблена Харківською державною академією залізничного транспорту автоматизована система АСУ – «ВІКНО» дозволяє ув'язати різні фактори, для визначення раціональної кількості і тривалості «вікон».

Названа Інструкція і АСУ передбачають необхідність визначення величин вартість зекономлених «вікно – годин» і вартість можливої економії «вікно – годин». При визначенні цих величин необхідно встановити не тільки поточні експлуатаційні витрати, а й додаткові, які пов'язані з перепростоєм поїздів і можливим їх перепробігом, про що було наведено вище.

Структура додаткових витрат наведена на рис. 1.

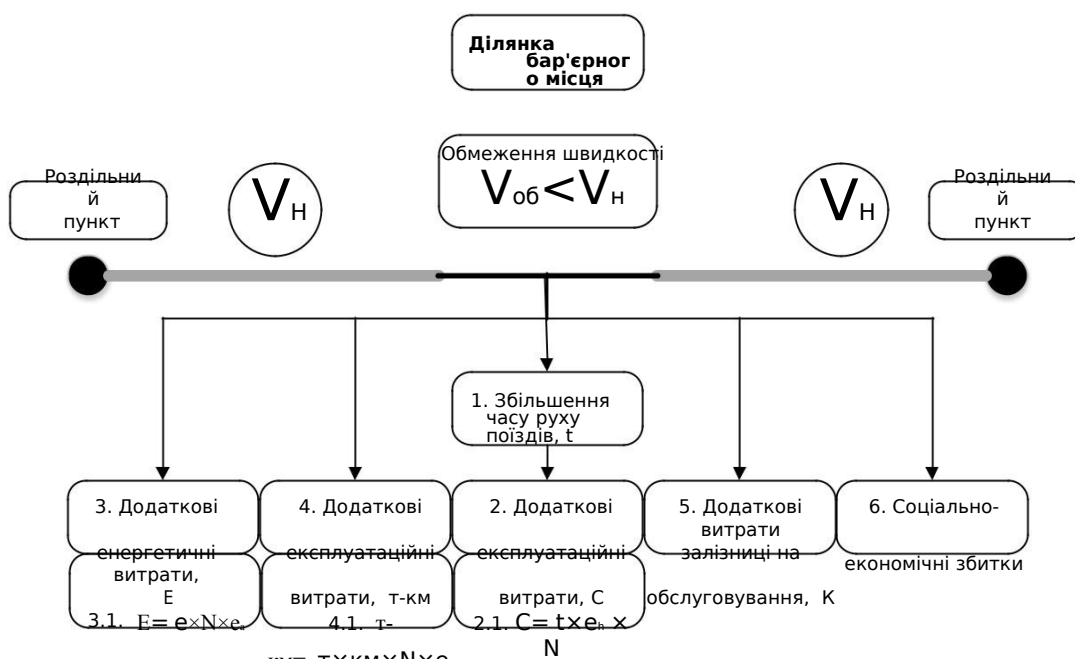


Рис. 1. Структура додаткових витрат

$V_n$  – нормативна (встановлена) величина швидкості руху поїздів для кожної категорії;

$V_{об}$  – швидкість руху поїздів по «бар'єрному» місці, ( $V_{об} < V_n$ );

$\Delta t$  – різниця часу ходу поїздів на ділянці А - Б визначається тяговими розрахунками для кожної категорії поїздів в парному і непарному напрямках;

$\Delta t \times c \times N$  – додаткові експлуатаційні витрати, які пов'язані зі збільшенням часу руху поїздів, де

$\Delta t$  – різниця часу ходу кожної категорії поїздів в парному і непарному напрямках;

$e_n$  – вартість поїздо-години руху відповідної категорії;

$N$  – кількість поїздів кожної категорії на ділянці (за добу);

$\Delta e$  – додаткові енергетичні витрати визначаються тяговими розрахунками для кожної категорії поїздів в парному і непарному напрямках для випадків з обмеженнями і без обмеження швидкості;

$e_a$  – вартість 1кВт-год;

$t\text{-км}$  – додаткова поїзна робота (т-км) визначається тяговими розрахунками для кожної категорії поїздів в парному і непарному напрямках для випадків з обмеженням і без обмеження швидкості;

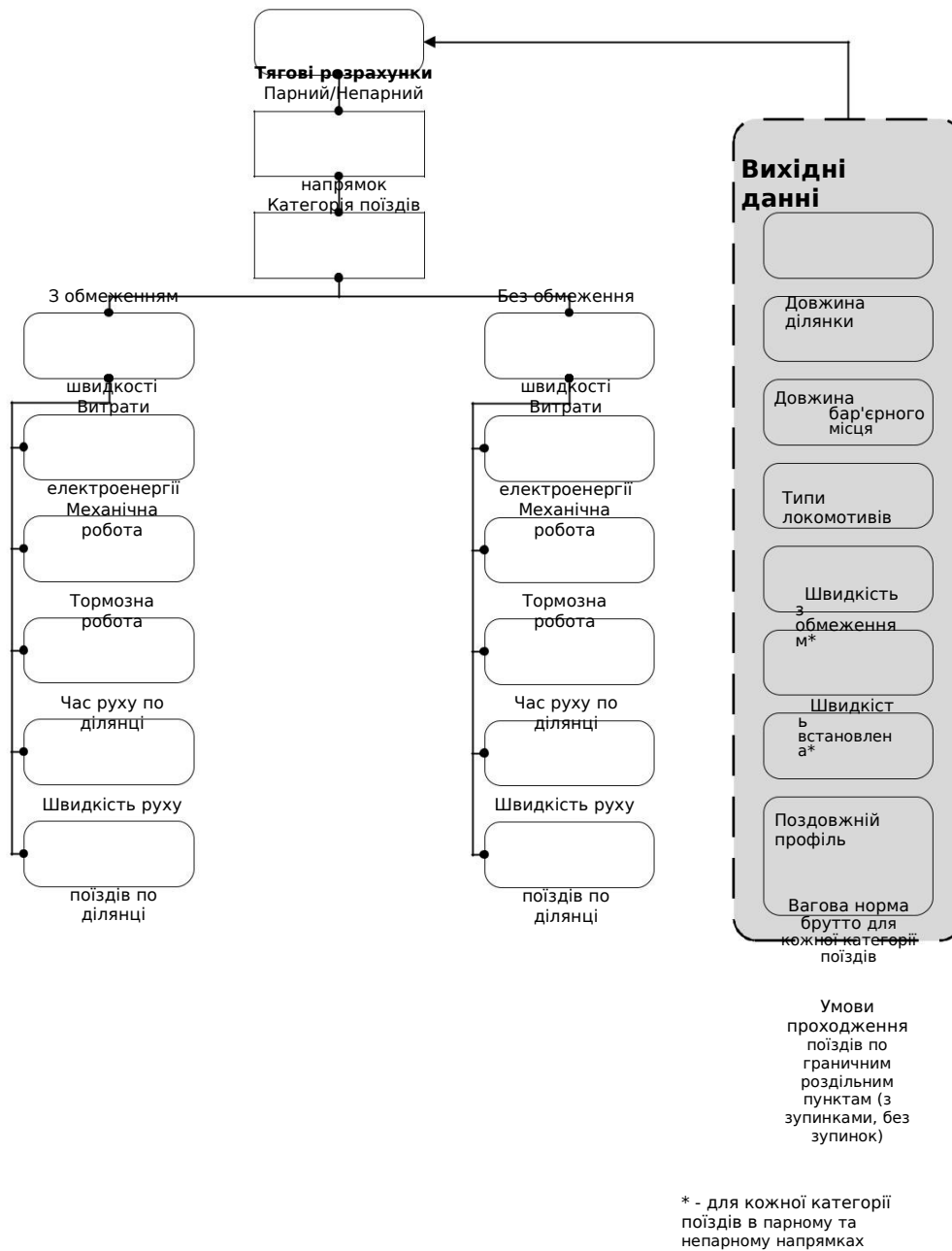
$e_r$  – вартість 1т-км механічної роботи;

$\Delta K$  – додаткові витрати залізниці на «обслуговування» «бар'єрного» місця визначаються по фактичним витратам.

На рис. 2 наведена укрупнена схема вихідних даних і основних результатів тягових розрахунків, необхідних для визначення додаткових експлуатаційних витрат при наданні «вікон».



## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ



**Рис. 2. Схема вихідних даних і основних результатів тягових розрахунків, необхідних для визначення додаткових експлуатаційних витрат при наданні «вікон»**



## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

*Таблиця 1. Розрахунок додаткових витрат, пов'язаних з обмеженням швидкості руху поїздів в зв'язку з наявністю «бар'єрних» місць на залізничній лінії (напрямку)*

| Найменування<br>1 | Розрахункова формула<br>2   | Примітки<br>3  |
|-------------------|---|--|
| $\Delta t$        | $t = t_{об} - t_n$ ,<br>де<br>– $t_{об}$ – час ходу по дільниці з обмеженням швидкості (по кожній категорії поїздів для парного і непарного напрямків);<br>– $t_n$ – те ж, без обмеження швидкості руху поїздів   | визначається тяговими розрахунками.  |
| $C$               | $C = C_{пас} + C_{пр} + C_{вн} + C_{ic}$ ,<br>$C_i = e_n \times \Delta t_i \times N_i$ ,<br>де<br>– $e_n$ – вартість поїздо-годин в русі відповідної категорії поїздів ( <i>пас</i> - пасажирських, <i>пр</i> - приміських, <i>вн</i> - вантажних, <i>ic</i> - інтерсіті);<br>– $\Delta t_i$ – різниця часу ходу по ділянці поїздів відповідної категорії в парному і непарному напрямках при обмеженні і без обмеження швидкості;<br>– $N_i$ – кількість поїздів кожної категорії за добу в парному і непарному напрямках. | $C_i$ – вихідні дані залізниці;<br>$\Delta t_i$ – визначається тяговими розрахунками;<br>$N_i$ – вихідні дані залізниці. |
| $E$               | $E = E_{пас} + E_{пр} + E_{вн} + E_{ic}$ ,<br>$E_i = \Delta e_i \times e_a \times N_i$ ,<br>де<br>– $\Delta e_i$ – різниця у витратах електроенергії (енергетичні витрати) для поїздів відповідної категорії при русі в парному і непарному напрямках при обмеженні і без обмеження швидкості;<br>– $e_a$ – вартість 1кВт-години електроенергії.  | $e_a$ – вихідні дані залізниці<br>$\Delta e_i$ – визначається тяговими розрахунками.                                     |
| $E_r$             | $E_r = \Delta E_r \times N_i \times e_r$ , $\Delta E_r = E_{об} - E_n$ ,<br>де<br>– $\Delta E_r$ – різниця в механічній роботі при русі поїздів відповідної категорії в парному і непарному напрямках при обмеженні і без обмеження швидкості;<br>– $e_r$ – вартість 1 т-км механічної роботи;<br>– $E$ – механічна робота при обмеженні швидкості відповідної категорії поїздів в парному та непарному напрямках ( <i>об</i> – при обмеженні швидкості, <i>н</i> – без обмеження швидкості).                               | $e_r$ – вихідні дані залізниці;<br>$E$ – визначається тяговими розрахунками.   |
| $K$               | Додаткові витрати залізниці (річні) на «обслуговування» «бар'єрного» місця (додаткові по відношенню до витрат на планові види ремонту і обслуговування).  | Вихідні дані залізниці.  |
| $K_{бпр}$         | Вартість будівельно – монтажних робіт на приведення «бар'єрного» місця до нормативних значень.  | Вихідні дані залізниці.  |

Сумарні додаткові річні витрати залізниці, пов'язані з наявністю «бар'єрних» місць  $\Sigma C$  становитимуть:

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Фінансова ефективність капітальних вкладень, необхідних для приведення того чи іншого «бар'єрного місця» до нормативних параметрів, може бути визначена по *терміну окупності*. Визначений таким чином термін окупності надає оцінку ефективності проведення локального заходу (ліквідація того чи іншого «бар'єрного місця»).

Термін окупності з врахуванням соціально-економічного ефекту внаслідок здійснення (реалізації) реконструктивних заходів, пов'язаних з приведенням «бар'єрного» місця до нормативних значень може бути визначений за формулою:

$$= \frac{B_{mp} \Sigma}{C_{se}}$$

де  $C_{se}$  – соціально-економічний від впровадження ре конструктивного заходу.

Наявні на залізницях «бар'єрні місця» мають різне технічне походження, потребують відмінні обсяги капітальних вкладень і по-різному впливають на експлуатаційні показники лінії, полігону. Таким чином, виникає необхідність оцінки за терміном окупності не окремого «бар'єрного місця», а сукупності (частини від загальної кількості на лінії, полігоні), на якій можуть бути виконані реконструктивні заходи, які відповідають наявним фінансовим ресурсам і, що в підсумку, забезпечить більш високі експлуатаційні показники. При здійсненні такої оцінки треба враховувати не тільки капітальні витрати і отримані вигоди, а ще й враховувати додаткові експлуатаційні витрати, які виникають внаслідок надання «вікон» для виконання будівельно-монтажних робіт, методичний підхід до розрахунку яких наведених вище.

Із загальної кількості «бар'єрних місць» на залізниці (полігоні, напрямку) вибір сукупності першочергових може бути здійснено шляхом ітерації (перебору комбінацій). Та сукупність «бар'єрних місць», яка показала найменший термін окупності, може бути запропонована для реалізації на практиці.

$$\frac{\Sigma}{\dots}, \text{ де}$$

$\Sigma_{=1}$  – капітальні витрати відповідної виборки з загальної кількості «бар'єрних місць» на залізниці (напрямку, полігоні), необхідних для виконання будівельно-монтажних робіт для приведення параметрів «бар'єрних місць» до нормативних значень, ( $\Sigma_{=1} \leq F$  – наявні фінансові ресурси залізниці);

$\Sigma_{=1}$  – додаткові річні експлуатаційні витрати на «бар'єрних місцях», які пов'язані зі збільшенням часу в русі і зі станом залізничної колії (проспорошений ремонт, модернізація);

$\Sigma_{=1} \Delta$  – додаткові річні витрати на «обслуговування» «бар'єрних місць»;  $\Sigma_{=1} \Delta$  – додаткові річні енергетичні витрати, пов'язані з обмеженням швидкості руху поїздів на «бар'єрних місцях» і прилеглих до них ділянках (режими руху поїздів).

Врахування додаткових експлуатаційних витрат, пов'язаних з наданням «вікон», дозволить отримати показники проектного аналізу, які більшою мірою

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

відповідають вимогам практики щодо більш ефективного використання обмежених фінансових ресурсів залізниці.

Відповідно до [5,6,7,8] при здійсненні проектного аналізу аналітиком повинні бути враховані всі витрати, зокрема, і додаткові. Витрати від простоїв поїздів з причин надання «вікон» можуть бути визначені різними способами, в тому числі на підставі «варіантних» графіків руху або динамічного програмування. При прийнятті управлінських рішень (яким передують проектний аналіз) стосовно «ранжування» «бар'єрних» місць на предмет визначення черговості виконання будівельно-монтажних, реконструктивних і ремонтних робіт ще відсутні «варіантні» графіки руху і, як правило, не проводилося динамічне моделювання (що є досить рідким явищем на практиці).

При виконанні ремонтних робіт у «вікно» на одній з колій двоколіїної ділянки інша колія працює як одноколіїна. В цьому випадку розрахунок величини затримок ( $t_{delay}$ ) поїздів (простій на станціях, які обмежують тимчасово одноколіїну ділянку) може бути виконаний за формулою Полячека – Хінчина. Відповідно до даного випадку формула має такий вигляд:

$$t_{delay} = \frac{1}{N_{1window}} \cdot \frac{1 + \delta}{1 - \delta}, \text{ де}$$

$T_{window}$  – термін дії «вікна», хв (прийнято в даному прикладі 120хв)

$N_{1window}$  – кількість поїздів, які проходять по одноколіїній ділянці за період дії «вікна» (пропускна спроможність тимчасово одноколіїної ділянки за період дії «вікна»);

$N_{2forTwindow}$  – кількість поїздів, які могли проїхати двоколіїною ділянкою за період дії «вікна» (визначається за графіком руху, або як середнє значення, пропорційне часу дії «вікна» від добових розмірів руху);

$\delta$  – коефіцієнт варіації інтервалів прибуття поїздів (рекомендується – 0,7); Величина  $N_{1window}$  розраховується за формулою:

$$N_{1window} = \frac{1}{t_{tech} + t'_x + t''_x} \cdot \frac{1 + \delta}{1 - \delta}, \text{ де}$$

$t_{tech}$  – технологічні перерви в русі (для даного випадку приймається =0);

$t'_x, t''_x$  – час ходу по перегону відповідно в парному і непарному напрямках, хв (в даному прикладі прийнято 9,09 і 8,39 відповідно);

$\alpha_{rel}$  – коефіцієнт надійності, який враховує вплив відмов на роботу інфраструктури (в даному випадку  $\alpha_{rel} = 1$ );

$\tau_a, \tau_b$  – станційні інтервали, відповідно для станцій А і В, (які обмежують тимчасово одноколіїну ділянку (в даному випадку в якості прикладу  $\tau_a + \tau_b = 0,1$  год. відповідно до [3] стор. 169);

$I', I''$  – інтервали між поїздами в пакеті відповідно в парному і непарному напрямках, хв. (в прикладі прийнято 8 хв для руху по «правильному» напрямку і 10 хв – по «неправильному»);

$\alpha_p$  – коефіцієнт пакетності (згідно з [3]), який визначається відношенням кількості поїздів, які проїдуть в пакетах до загальної кількості поїздів (як приклад, прийнято  $=4/6 = 0,6667$ ).

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

$$N_{2forTwindow} = \frac{N_{pass} + N_{commuter} + N_{freight}}{1440}, \text{ де}$$

$N_{pass}$ ,  $N_{commuter}$ ,  $N_{freight}$  – добова кількість відповідно пасажирських, приміських, вантажних поїздів кожного напрямку (в якості прикладу прийнято 69, 9 і 17 поїздів);

$$N_{2forTwindow} = \frac{2 \cdot (69 + 9 + 17) \cdot 120}{1440} = 15,833 \text{ поїздів};$$

$$12,40 \cdot 15,833 = 196,38 \text{ поїздо-хв};$$

або  $\frac{196,38}{60} = 3,3$  поїздо-год.

Знаючи поїздо-години затримок поїздів і одиничні витратні ставки (вартість поїздо-години для різних категорій поїздів) можна порахувати втрати в грошовому виразі. Частка поїздо-годин затримок для різних категорій поїздів може бути здійснена або пропорційно добовим розмірам руху, або з врахуванням того, що період «вікна» вибрано так, що пасажирських поїздів в період «вікна» мінімальна кількість.

Співставлення практичних результатів, отриманих за формулою Поллячека – Хінчина і за аналізом «варіантних» графіків свідчить, що відмінність знаходилась в межах 7-22 %, що для стадій попереднього планування і прийняття управлінських рішень знаходиться в межах точності інженерних розрахунків.

Одна з причин відмінності полягає в тому, що коли розробляються «варіантні» графіки руху поїздів, повинна враховуватися вимога забезпечення безперешкодного пропуску пасажирських поїздів і «вікна» надаються в період відсутності або мінімальної кількості пасажирських поїздів. Цей аспект в проектному аналізі може бути врахований як один з ризиків.

Таким чином, для визначення поїздо-годин затримок поїздів, пов'язаних з виконанням будівельно-монтажних робіт з наданням «вікон», в рамках здійснення проектного аналізу (на стадіях ТЕО, ТЕР, передпроектних проробок, бізнес-планів) може бути рекомендовано використання формули Поллячека – Хінчина.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція про порядок надання та використання «вікон» у графіку руху поїздів для ремонтних і будівельних робіт на залізницях України. ЦД-ЦП-ЦШ-ЦЕ-0083: затв. наказом Укрзалізниці 16.06.2011 № 290-Ц / Мін. інфраструктури України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, Головне управління перевезень. – К.: НВП Поліграфсервіс, 2011. – 95 с.
2. *Сергеев П. М.* Применение математических методов в эксплуатации железных дорог: Учебное пособие. – М.: Всесоюзный заочный институт инженеров железнодорожного транспорта, 1973. – 124 с.
3. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України. – К.: Транспорт України, 2002. – 36 с.
4. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК, четвертое издание), Project Management Institute, USA-США, 2004. – 388 с. (ibooks)
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / Институт системного анализа РАН, Центральный экономико-математический институт РАН/Третья редакция – М., 2004.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

6. Руководство по применению метода анализа издержек и выгод для оценки инвестиционных проектов. Подготовлено для Оценочного Комитета Генерального Директората Региональной политики Европейской Комиссии (Evaluation Unit DG Regional Policy European Commission) (Structural Fund\_ERDF, Cohesion Fund и ISPA), 2008.

7. Анализ затрат и выгод проектов в области транспортной инфраструктуры: Руководящие положения, касающиеся анализа социально-экономических затрат и выгод для оценки проектов в области транспортной инфраструктуры. /Пер. с англ. – Европейская экономическая комиссия и Объединенные нации ООН. – Нью-Йорк и Женева, 2003. – 92 с. (ibooks)

8. Методическая основа для определения общих критериев, касающихся идентификации узких мест, недостающих звеньев и качества услуг на сетях инфраструктуры. – Европейская экономическая комиссия, Организация объединенных наций, Нью-Йорк и Женева, 2009. – 37 с.

***Boris I. Toropov, PhD (Technical Sciences), Associate Professor (Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***  
***Viktor K. Myronenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor (Head of Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

### IMPROVEMENT OF PROJECT ANALYSIS METHODOLOGY WITH ADDITIONAL OPERATING COSTS WHEN PROVIDING «WINDOWS» FOR INFRASTRUCTURE

*Performing reconstruction activities related to bringing infrastructure to the norms by providing «windows», leads to additional operating costs that are not taken into account when making management decisions in carrying out project analysis. The approach to determine what additional operating costs, enables more efficient use of the limited financial resources available for the performance of the railway reconstruction measures.*

**Keywords:** train time-schedule, capacity «barrier» spot, technological «window», parallel route.

### REFERENCES

1. *Instruktsiya pro porjadok nadannya ta vykorystannya «vikon» u hrafiku rukhu poyizdiv dlya remontnykh i budivel'nykh robot na zaliznytsyakh Ukrayiny* [Instructions for providing and using «windows» in the train time-schedule for repair and construction works on the Ukrainian railways]. The Ministry of Infrastructure of Ukraine, Derzhadministratsiya zaliznychnoho transportu Ukrayiny, Ukrzaliznytsya, Holovne upravlinnya perevezhen'. – Kiev, NVP Polihrafservis Publ., 2011. – 95 p.
2. *Sergeev P. M. Primenenie matematicheskikh metodov v ekspluatatsii zheleznykh dorog* [Application of mathematical methods in the operation of railways]. Uchebnoe posobie. – Moscow: Vsesoyuznyy zaochnyy institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta, 1973. – 124 p.
3. *Instruktsiya z rozrakhunku nayavnoyi propusknoyi spromozhnosti zaliznyts' Ukrayiny* [Instructions for calculating available capacity of Ukrainian railways] – Kiev, Transport Ukrayiny, 2002. – 36 p.
4. *Rukovodstvo k Svodu znaniy po upravleniyu proektami* [Guide to the Project Management Body of Knowledge], Project Management Institute, USA, 2004. – 388 p. (ibooks)
5. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov* [Methodical recommendations on the assessment of investment projects] / Institut sistemnogo analiza RAN, Tsentralnyy ekonomiko-matematicheskyy institut RAN. – Moscow, 2004.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

6. *Rukovodstvo* po primeneniyu metoda analiza izderzhok i vyigod dlya otsenki investitsionnykh proektov [Guidelines on the application of cost-benefit analysis for the evaluation of investment projects]. Evaluation Unit DG Regional Policy European Commission (Structural Fund\_ERDF), 2008.

7. *Analiz zatrat i vyigod proektov v oblasti transportnoy infrastrukturyi*: Rukovodyaschie polozhennya, kasayushiesya analiza sotsialno-ekonomicheskikh zatrat i vyigod dlya otsenki proektov v oblasti transportnoy infrastrukturyi. [Cost-benefit analysis of projects in the field of transport infrastructure: Guidelines on the analysis of the socio-economic costs and benefits to assess projects in transport infrastructure]. Economic Commission for Europe and the United Nations – New York and Geneva, 2003. – 92 p. (Rus)

8. *Metodicheskaya osnova dlya opredeleniya obschih kriteriev, kasayushihsia identifikatsii uzkih mest, nedostayushchih zvenev i kachestva uslug na setyah infrastrukturyi* [Methodical basis for the definition of common criteria for the identification of bottlenecks, missing links and quality of service of infrastructure networks]. – Evropeyskaya ekonomicheskaya komissiya, Organizatsiya ob'edinennykh natsiy. – New York and Geneva. – 37 p.

УДК 656.078

*Р. С. Щербина, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗМІШАНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЕКСПОРТНИХ ВАНТАЖІВ

*Досліджено методологічний аспект основних елементів змішаних перевезень експортних вантажів. Схематично наведено основні компоненти мультимодальної транспортної системи. Проведено планування роботи основних елементів змішаних перевезень експортних вантажів, що ґрунтується на координації всіх видів транспорту, які планується задіяти. Розкрито основні проблеми, що виникають при транспортуванні експортних вантажів з обох сторін. Визначено чинники, що сприяють досягненню ефективних мультимодальних перевезень, інтенсивному співробітництву і координації між видами транспорту. Описано сутність управління фізичними та інформаційними потоками на синхронізованій основі.*

*Ключові слова:* змішані перевезення, контейнеризація, мультимодальна транспортна система, експортний вантаж, оператор змішаного перевезення.

*Исследован методологический аспект основных элементов смешанных перевозок экспортных грузов. Схематично приведены основные компоненты мультимодальной транспортной системы. Проведено планирование работы основных элементов смешанных перевозок экспортных грузов, основанной на координации всех видов транспорта, которые планируется задействовать. Раскрыты основные проблемы, возникающие при транспортировке экспортных грузов с обеих сторон. Определены факторы, способствующие достижению эффективных мультимодальных перевозок, интенсивному сотрудничеству и координации между видами транспорта. Описана сущность управления физическими и информационными потоками на синхронизированной основе.*

*Ключевые слова:* смешанные перевозки, контейнеризация, мультимодальная транспортная система, экспортный груз, оператор смешанной перевозки.

Одним з основних завдань транспортних перевезень є повне і своєчасне задоволення потреб у переміщенні вантажів. Вирішення цієї задачі ґрунтується на ефективній взаємодії та участі декількох видів транспорту в процесі доставки вантажів безпосередньо від виробника до споживача [1].

Інтегровані транспортно-технологічні системи доставки вантажів за участю декількох видів транспорту дозволяють об'єднати інтереси вантажовідправника, перевізника та одержувача.

© Щербина Р. С., 2015

Збільшення обсягу вантажних перевезень, поряд з іншими факторами, стало причиною значних якісних змін у функціонуванні міжнародного транспорту, що спричинило до використання нових технологій і нових організаційних форм перевезень. Одним з основних інноваційних напрямків є контейнеризація, яка здешевлює та прискорює транспортування вантажів. Все це дозволило з'єднати в єдиний транспортний ланцюг перевезення, які здійснюються морським, залізничним, повітряним та автомобільним видами транспорту.

Актуальність теми дослідження визначається необхідністю вдосконалення методологічного забезпечення основних елементів перевезень при організації змішаних перевезень експортних вантажів.

Як свідчить аналіз наукової літератури, найбільші вантажовласники стали широко використовувати інтермодальні та мультимодальні схеми доставки своєї продукції. У зв'язку з цим вирішення різних проблем організації змішаних перевезень присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених.

Розгляду аспектів взаємодії транспортних систем присвячені роботи таких вчених як: А. П. Артинов [1], Е. А. Бакуліч [2], О. В. Бойко [3], М.І. Данько [4], О.Н. Дунаєв [5], А. Р. Магамадов [6] та ін.

Наукові дослідження в галузі транспортної логістики, що є важливою ланкою взаємодії суміжних видів транспорту з іншими учасниками мультимодальних перевезень, проводилися в працях зарубіжних вчених В.Becker, S. Gary [7], D. Sugonyako [8]. Проблематику мультимодальних перевезень в своїх працях висвітлювали такі автори як Д. О. Сугоняко [9], О. А. Радченко [10], М.О. Устенко [11].

Однак, при всьому різноманітті наукових напрацювань в галузі організації змішаних перевезень вантажів їх окремі аспекти так і залишаються до кінця не вивченими.

В умовах сьогодення, вираз «Мультимодальні перевезення» слід використовувати при організації перевезень, де перевізник несе відповідальність за перевезення від дверей до дверей, в той час як вираз «Змішані перевезення» більшою мірою говорить про використання автомобільного / залізничного транспорту в інтермодальних перевезеннях [3].

При змішаних перевезеннях послуга надається оператором змішаного перевезення (ОЗП), який несе відповідальність від пункту відправлення до пункту призначення. Він видає один транспортний документ, який включає в себе рахунок-фактуру для вантажів, а також гарантію на час транзиту. З цього моменту і далі, ОЗП укладає ряд суб-контрактів з окремими підприємствами автомобільних, залізничних, судноплавних ліній, портовими адміністраторами, операторами терміналів, вантажниками і т.д., на власне ім'я ОЗП. Тільки ОЗП має право прийняти поставку товару від кожного фактичного транзитного носія і передати їх наступному транзитному носію.

Процес товароруку від вантажовідправника до вантажоодержувача може займати до десяти або дванадцяти різних транспортних зв'язків. У кожній точці передачі, товари, або будуть: вивантажені і завантажені, очікувати або зберігатися, зважуватися, перевірятися або описуватися, пакуватися або перепаковуватися. Всі ці елементи інтермодальних передач досить тривалі за часом і кожна з них потребує капіталовкладень, які впливають на конкурентоспроможність конкретних маршрутів.

На підставі цього ОЗП покладається на аналіз транспортної системи для проектування і планування мішаних перевезень.

- Змішана транспортна система має такі характеристики:
  - є мультимодальною, що охоплює всі види транспорту.
  - є мультисекторальною, що охоплює проблеми і точки зору уряду, приватний сектор, і громадськість.
  - є мультипроблемною, від норм, правил і політики в обслуговуванні клієнтів до фінансово-економічного обґрунтування.
  - є мультидисциплінарною, спираючись на теорії та методи інженерії, економіки, дослідженні операцій, політології, психології, інших природних і соціальних наук, управління та права.

Це означає, що в аналізі транспортної системи загальну транспортну систему слід розглядати як єдину мультимодальну систему. Розгляд транспортної системи також не може бути відокремлений від розгляду соціальної, економічної і політичної системи регіону. Завдяки проведенню такого аналізу ОЗП зможуть використовувати комплексний підхід в експлуатації, управлінні та контролі трафіка.

Для того, щоб підвищити загальну ефективність змішаних перевезень, ОЗП повинні на високому рівні планувати використання транспортних зв'язків у поєднанні з безперервністю потоку вантажів. Зберігання також має бути зведене до мінімуму. У науковій літературі [3] змішані перевезення є мультимодальними, по суті це міжнародна наскрізна транспортна комбінація з різними видами транспорту, такими як морський, залізничний, автомобільний, авіаційний і т.д., в першу чергу, за рахунок використання контейнерів. Контейнери забезпечують транспортування пакетованих вантажів від упаковки до кінцевого пункту призначення, з максимальною ефективністю і мінімально можливим ризиком.

Концепція використання вантажних контейнерів для контейнерних перевезень залізницею вперше була введена в Ліверпульській залізничній системі, яка використовувала даний спосіб для транспортування вугілля.

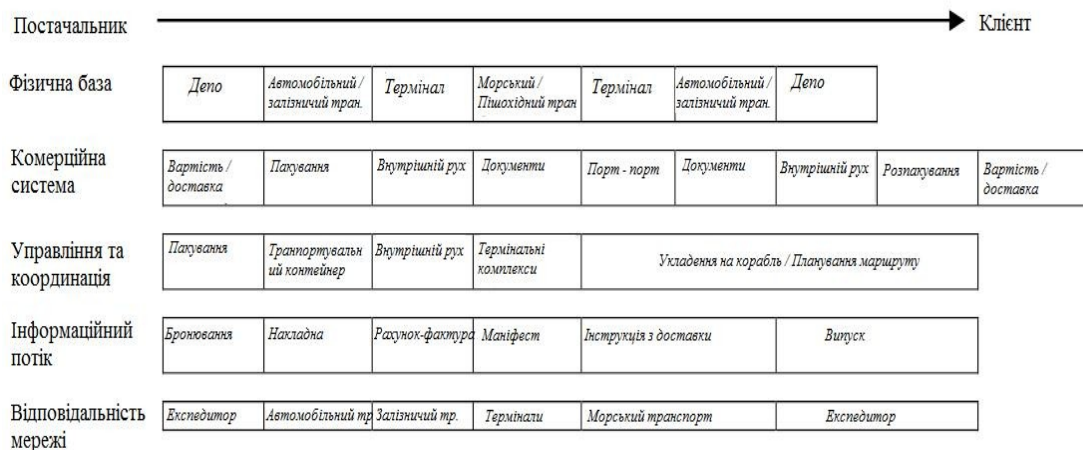
Контейнери для морського транспорту з'явилися у 1960-х, їх «батьком» прийнято вважати М. Макліна (засновник Sea-Land Inc) [8]. Спочатку він був власником автотранспортної компанії, проте з часом вирішив застосувати концепцію взаємодії з морським транспортом для здійснення перевезень море / земля. На транспорт грузи надходили в контейнерах стандартизованих розмірів. Звідси випливає, що контейнери повинні були бути оснащені спеціальними пристроями для простоти перемикання між різними видами транспорту, так само і кораблі повинні були бути обладнані подібними механізмами для уникнення вертикального ковзання і укладання на борту судна.

Такі контейнери, в результаті, почали застосовувати для мультимодальних перевезень. Особливо великі і, зокрема, важкі вантажі не можуть перевозитися в контейнерах. Контейнеризація проводиться, в основному, за розміром вантажу. Контейнеризація сприяє підвищенню ефективності в розвитку мультимодальних транспортних операцій.

Для досягнення ефективних мультимодальних перевезень інтенсивне співробітництво і координація між видами транспорту є суттєвим чинником. Поняття «Мультимодальні перевезення», містить величезну кількість компонентів (рис. 1), кожен з яких є обов'язковим до виконання. Це відповідальність за транспортну діяльність в рамках одного оператора, який потім управляє і координує загальну задачу від дверей вантажовідправника до дверей вантажоодержувача (рис. 2), забезпечуючи безперервний рух товарів за оптимальними маршрутами, за найбільш

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

ефективними і економічно вигідними умовами, щоб відповідати вимогам вантажовідправників.



*Рис. 1. Компоненти мультимодальної транспортної системи*



*Рис. 2. Типові кроки взаємодії елементів змішаних перевезень*

На сьогоднішній день прийнята система спрощеної документації, і все частіше за допомогою електронних засобів, таких, як електронний обмін даними (EDI).

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

ОЗП приймає повну відповідальність за виконання транспортного договору; стає єдиною точкою зв'язку між компанією і клієнтом. ОЗП є єдиним відповідальним учасником, який здатний координувати всі види транспорту і організувати мультимодальні перевезення.

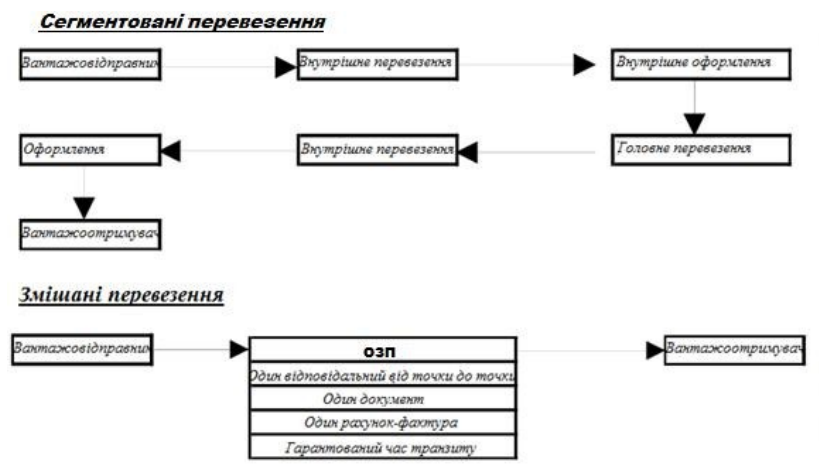
Планування роботи основних елементів змішаних перевезень експертних вантажів ґрунтується на координації всіх видів транспорту, які планується задіяти. Основні проблеми, що виникають при транспортуванні експортних вантажів обох сторін, наведено в табл. 1.

*Таблиця 1. Основні проблеми виникають при транспортуванні експортних вантажів*

| Вантажовідправник                                    | Вантажоотримувач   |
|--|--|
| Ускладнення, що виникають через внутрішній транспорт | Оплата терміналів  |
| Транзитний час у терміналі                           | Затримки в отриманні   |
| Витрати на транзит до терміналу                      | Витрати на внутрішнє оформлення                              |
| Оплата терміналів                                    | Вартість транзиту від терміналу до місця призначення         |
| Частота обслуговування основного транспорту          | Транзитний час від терміналу до кінцевого пункту призначення |
| Транзитний час на головній транспортній лінії        | Затримки на кордоні  |
| Витрати на перевезення головною транспортною лінією  |  |

Табл. 1 фактично являє собою мінімальний алгоритм, за яким повинні бути прийняті до уваги умови організації перевезень при експорті або імпорті вантажу як вантажовідправником так і вантажоотримувачем.

Структурна схема взаємодії основних елементів змішаних і сегментованих перевезень наведена на рис. 3.



*Рис. 3. Структурна схема взаємодії основних елементів змішаних і сегментованих перевезень*

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Взаємозв'язок між логістикою і транспортними перевезеннями, за останні роки, вийшов на більш високий рівень. Логістика являє собою метод управління, який управляє фізичними та інформаційними потоками на синхронізованій основі [11]. Підхід даної системи в окремих видах діяльності (постачання, виробництво і розподіл) у виробничому процесі виключає розділення таких заходів і пов'язує їх в нові і більш потужні комбінації для досягнення підвищених рівнів ефективності, підвищення якості та зниження витрат на готову продукцію.

Концепція управління взаємодії основних елементів змішаних перевезень наводиться на рис. 4.



Рис. 4. Концепція управління взаємодії основних елементів змішаних перевезень експортних вантажів

Змішані перевезення на сьогоднішній день виходять на більш високий рівень розвитку, з'являються нові елементи управління, удосконалюється база основних елементів даних перевезень. Для отримання максимальної вигоди пропонується використання мультимодальних транспортних операторів, оскільки тільки у них є ноу-хау для розробки ефективної транспортної системи, яка задовольняє всі вимоги вантажовідправників. Мультимодальні транспортні оператори відіграють дуже важливу роль у фізичному транспортуванні товарів, передбачаючи документальний супровід.

Наразі змішані перевезення, містять субфункції логістики, яка сама по собі є частиною управління ланцюгами поставок. Мультимодальні транспортні рішення впливають на можливості і надійність ланцюжка поставок, у виконанні якого найбільш зацікавлені вантажовідправники і вантажоодержувачі. Вони вимагають ефективної та надійної роботи основних елементів змішаних перевезень від дверей до дверей, яку на сьогодні ефективно надають мультимодальні оператори перевезень.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Артынов А.П. Управление взаимодействием транспортных систем / А. П. Артынов, Г. А. Кондратьев. – М.: Наука, 1986. –198 с.
2. Бакуліч Е.А. Современные тенденции рынка транспортных услуг: [монография] / Е. А. Бакуліч. – Одесса: ОНМА, 2009. – 453 с.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

3. *Бойко О.В.* Структура транспортного ринку / О. В. Бойко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: «Економічні науки»: збірник. – 2010. – № 44. – С. 71-78.
4. *Данько М.І.* Підвищення інвестиційно-інноваційного потенціалу промислових підприємств залізничного транспорту в умовах інтеграційних процесів: [монографія] / М. І. Данько, В. Л. Дикань, Л. Л. Калініченко – Х.: УкрДАЗТ, 2010. – 167 с.
5. *Дунаев О.Н.* Продвижение транспортных услуг на мировые рынки: [монография] / О. Н. Дунаев, Т. В. Кулакова, Д. В. Нестерова. – М.: РИОР, 2012. – 226 с.
6. *Магамадов А.Р.* Координация работы различных видов транспорта / А. Р. Магамадов. – М.: Транспорт, 1979. – 182 с.
7. *Becker, Gary S.* Human Capital. N.Y.: Columbia University Press, 2012. – 324 p.
8. *Sugonyako, D.* Theoretical and methodical base of evaluation the innovative interaction of transport and tourism enterprises / D. Sugonyako //Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. FL, USA, L&L Publishing, 2012.– Vol.5. Economics. – P. 155-158.
9. *Сугоняко Д. О.* Економічно-організаційні проблеми транспортного обслуговування в регіоні та напрямки їх вирішення / Д. О. Сугоняко // Проблеми економіки транспорту: IX Міжнародна наукова конференція, 22.04.-23.04.2012 р.: тези доп. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – С. 106.
10. *Радченко О.А.* Тенденції розвитку секторів ринку транспортних послуг: [монографія] / О. А. Радченко. – Одеса: ОНМА, 2010. – 152 с.
11. *Устенко М.О.* Основні проблеми транспортної логістики // Вісник економіки транспорту і промисловості, УкрДАЗТ. – 2010. – № 29. – С. 2-5

*Rozaliya S. Shcherbina, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

### METHODOLOGICAL ASPECT OF THE MAIN ELEMENTS MULTIMODAL TRANSPORTATION OF EXPORT CARGO

*Investigated methodological aspect of basic elements of multimodal transport of export cargo. Schematically shows the main components of a multimodal transportation system. A planning of the main elements of the multimodal transport of goods expert based on the coordination of all modes of transport that are planned to be used. It outlines the main problems encountered in the transportation of export cargo from both sides. The factors that contribute to the achievement of efficient multimodal transport, intensive cooperation and coordination between modes of transport. Describe the nature of management of physical and information flows on a synchronized basis.*

**Keywords:** *Multimodal transport, containerization, multimodal transport system, export cargo, multimodal transport operator.*

### REFERENCES

1. *Artynov A.P.* Upravlenie vzaimodejstviem transportnyh sistem [Interaction Management of Transport Systems] / A. P. Artynov, G. A. Kondrat'ev. – М.: Nauka, 1986. – 198 p.
2. *Bakulich E.A.* Sovremennye tendencii rynka transportnyh uslug: [Modern trends in the market of transport services] [monografija] / E. A. Bakulich. – Odessa: ONMA, 2009. – 453 p.
3. *Boyko O.V.* Struktura transportnogo rynku [The structure of the transport market] / O. V. Boyko // Visnyk Chernihivs'koho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu. Seriya: «Ekonomichni nauky»: zbirnyk. – 2010. – 44. – P. 71-78.
4. *Dan'ko M.I.* Pidvyshchennya investytsiyno-innovatsiynoho potentsialu promyslovykh pidpryyemstv zaliznychnoho transportu v umovakh intehratsiynykh protsesiv [Increasing of the

investment and innovation potential of industrial enterprises of railway transport in terms of the integration process]: [monohrafiya] / M. I. Dan'ko, V. L. Dykan', L. L. Kalinichenko – Kh. : UkrDAZT, 2010. – 167 p.

5. *Dunaev O.N.* Prodvizhenie transportnykh uslug na mirovye rynki [Promotion of transport services to the world markets]: [monografija] / O. N. Dunaev, T. V. Kulakova, D. V. Nesterova. – M. : RIOR, 2012. – 226 p.

6. *Magamadov A.R.* Koordinacija raboty razlichnykh vidov transporta [Coordination of the various modes of transport] / A. R. Magamadov. – M. : Transport, 1979. – 182 p.

7. *Becker, Gary S.* Human Capital. N.Y.: Columbia University Press, 2012. – 324 p.

8. *Sugonyako, D.* Theoretical and methodical base of evaluation the innovative interaction of transport and tourism enterprises / D. Sugonyako //Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basiss and innovative approach. FL, USA, L&L Publishing, 2012.– Vol.5. Economics. – P. 155-158.

9. *Suhonyako D.O.* Ekonomichno-orhanizatsiyni problemy transportnoho obsluhovuvannya v rehioni ta napryamky yikh vyrishennya [Economic and organizational problems of transport services in the region and ways of their solution] / D. O. Suhonyako // Problemy ekonomiky transportu: IKh Mizhnarodna naukova konferentsiya, 22.04.-23.04.2012 r.: tezy dop. – Dnipropetrovs'k : DNUZT, 2010. – P 106.

10. *Radchenko O.A.* Tendentsiyi rozvytku sektoriv rynku transportnykh posluh [Trends in the sectors of transport market]: [monohrafiya] / O. A. Radchenko. – Odesa: ONMA, 2010. – 152 p.

11. *Ustenko M.O.* Osnovni problemy transportnoyi lohistyky [The main problems of transport logistics] // Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti, UkrDAZT. – 2010. – # 29. – p. 2-5

УДК 614.8-331.45

*О. Л. Сорочинська, к.і.н.*

*(старший викладач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності»  
Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

*Ю. В. Косовець, к.і.н.*

*(старший викладач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності»  
Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

### **АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ – ОСНОВА ВДОСКОНАЛЕННЯ СУОП**

*В статті надано аналіз виробничого травматизму, його основні причини та заходи щодо покращення стану умов праці. Розглянуті шляхи вдосконалення СУОП як основи реального зменшення виробничого травматизму. У статті коротко розглянута система управління охороною праці на рівні підприємства, а також її вдосконалення, на підставі розробки та втілення організаційних нововведень. Здійснено оцінку системи стимулювання охорони праці на підприємстві.*

*Ключові слова: виробничий травматизм, СУОП, соціальний захист, безпека, підвищення відповідальності.*

*В статье представлен анализ производственного травматизма, его основные причины и меры по улучшению состояния условий труда. Рассмотрены пути совершенствования системы управления охраной труда как основы реального уменьшения производственного травматизма. В статье кратко рассмотрена система управления охраной труда на уровне предприятия, а также ее совершенствования, на основании разработки и внедрения организационных нововведений. Осуществлена оценка системы стимулирования охраны труда на предприятии.*

*Ключевые слова: производственный травматизм, СУОП, социальная защита, безопасность, повышенная ответственность.*

Виробничий травматизм як наслідок аварій та нещасних випадків є актуальною проблемою у всіх країнах світу. В зв'язку з виробничою діяльністю щороку у світі помирає понад 2 млн осіб. Загальна кількість нещасних випадків на виробництві в усьому світі оцінюється в 270 млн випадків щорічно [1].

За даними Міжнародної організації праці (МОП), кожні три хвилини внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання у світі гине один робітник, а кожну секунду четверо працюючих отримують травму.

Безпека та здоров'я працівника – це одне з основних прав людини. Державна політика в галузі охорони праці будь-якої країни світу будується на пріоритетності життя людини над результатами виробничої діяльності [2].

**© Сорочинська О. Л., Косовець Ю. В., 2015**

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

Створення належних умов праці на кожному робочому місці, безпека та охорона праці на даний час є однією з найактуальніших проблем в Україні, оскільки має місце високий рівень травматизму та смертності серед працівників. На сьогоднішній день в Україні кожний 18 випадок травмування має смертельний наслідок, що не відповідає встановленим у світі припустимим рівням ризику. Так, за оцінкою МОП, середній показник такого співвідношення у світі становить один смертельний випадок на 763 травмованих, а в країнах Європейського Союзу – у середньому на 800-1300 травмованих [3].

Рівень травматизму в Україні, зважаючи на такі співвідношення, свідчить про те, що значна кількість випадків травмування працюючих з легким та середнім ступенем тяжкості приховується роботодавцями від розслідування і, як наслідок, не обліковується. Масове приховування нещасних випадків на виробництві або пере-ведення їх у категорію не пов'язаних з виробництвом звільняє роботодавця від про-ведення ефективних профілактичних заходів, а Фонд соціального страхування від нещасного випадку на виробництві – від необхідності компенсацій за шкоду, що заподіяна життю і здоров'ю потерпілих.

Тому саме вдосконалення системи управління охорони праці на підприємстві дасть змогу реального зменшення виробничого травматизму.

Аналіз тенденції динаміки смертельного травматизму за причинами травмування свідчить, що протягом останніх 5 років структура причин нещасних випадків на виробництві зі смертельними наслідками майже не змінилась. Організаційні причини становлять 75 %, технічні – 15,5 %, психофізіологічні – 9,5 % [1].

Основною організаційною причиною всіх нещасних випадків та майже у 25 % смертельних травм є порушення трудової дисципліни та режиму праці. При цьому порушення трудової дисципліни та порушення технологічного процесу мають тен-денцію до зростання. Основною технічною причиною, питома вага якої понад 15 % є незадовільний технічний стан виробничого обладнання, устаткування. Серед пси-хофізіологічних причин виділяється така, як незадовільні фізичні дані або стан здо-ров'я потерпілих.

З аналізу матеріалів спеціального розслідування нещасних випадків на виробництві за останні п'ять років витікає, що нещасні випадки стаються в основному внаслідок порушення законодавчих та нормативно-правових актів з охорони праці.

Високий рівень організаційних причин у смертельному травмуванні працівників на виробництві дає підстави вважати, що причиною значної кількості нещасних випадків є неправильні дії (або бездіяльність) інженерно-технічних працівників та робітників, які проявляються у невиконанні посадових обов'язків: порушення встановленої технології та організації праці, вимог правил експлуатації обладнання і правил безпеки праці та зумовлені незнанням, недостатньою кваліфікацією або недисциплінованістю. Кожного року на Україні через людський чинник травмується 65-75 % та гине майже 80 % усіх потерпілих [4]. Зважаючи на це, на сьогодні найактуальнішими питаннями у системі управління охороною праці є посилення відповідальності роботодавців за невиконання вимог безпеки, своєчасне визначення виробничих ризиків та вжиття запобіжних заходів, вирішення соціальних питань в умовах економічної кризи.

На сьогоднішній день роботодавець не несе фінансової відповідальності за стан промислової безпеки та охорони праці на підприємствах усіх форм власності. У зв'язку з цим варто посилити адміністративну, матеріальну та персональну відповідальність роботодавців, відповідних спеціалістів за незадовільний стан охорони

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

праці на підприємствах та підвищений ризик виробництва шляхом збільшення в декілька разів штрафних санкцій.

Державне регулювання безпеки й охорони праці в Україні повинно ґрунтуватися на запозиченні кращого зарубіжного досвіду щодо профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань. Тому заслуговує на увагу досвід промисло-во розвинених країн щодо запровадження солідарної відповідальності страхового фонду і роботодавця шляхом введення податку на травми.

Доцільним є і стимулювання працівників щодо підвищення особистої безпеки та підприємств в цілому шляхом ефективного використання знижок та надбавок до страхових тарифів з метою мінімізації професійних ризиків.

При цьому працівники повинні усвідомлювати, що вони теж несуть відповідальність за виробничий травматизм, тому знання та виконання правил техніки безпеки та охорони праці є одним з головних моментів.

Вирішення питань значення травматизму в умовах тіньової зайнятості, а також значне скорочення цієї зайнятості шляхом введення повної відповідальності робо-тодавця за шкоду, спричинену здоров'ю такого працівника, з виплатою всіх компенсацій є нині нагальним.

Ефективним заходом може бути призупинення дії чи вилучення ліцензії на будівництво і дозволів на роботу з підвищеною небезпекою для тих роботодавців, які нехтують поліпшенням стану охорони праці на виробництві. У цьому зв'язку може бути використаний створений Фондом єдиний міжгалузевий банк даних безпеки та гігієни праці на робочих місцях травмонебезпечних підприємств з аналізом стану умов і безпеки праці у визначених галузях промислового виробництва України та встановленням організаційних, технічних, технологічних та інших небезпечних виробничих факторах, що діють на працюючих, з аналізом професійної та виробничо обумовленої захворюваності і розробленням заходів профілактики.

Дієвим шляхом вдосконалення державного регулювання безпеки та охорони праці на підприємствах України повинна стати зміна суспільної свідомості й ставлення як роботодавців, та і найманих робітників до безпеки та охорони праці. Цей процес передбачає привернення уваги суспільства, органів державної влади, суб'єктів господарювання та громадських організацій до фактичного стану безпеки й умов праці в галузях, на конкретних підприємствах, у виробничих підрозділах і на робочих місцях.

Отже на даний час існує гостра необхідність розробки більш досконалої моделі СУОП, яка буде адекватна як ринковій економіці, та й міжнародним вимогам.

Метою управління охороною праці (УОП) – є всебічне сприяння виконанню вимог, які повністю ліквідують, нейтралізують або знизять до допустимих норм вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, забезпечують усунення джерел небезпеки, ізолювання від них персоналу, використання засобів, що усувають небезпечні ситуації та підвищують технічну безпеку, створюють надійні санітарно-гігієнічні та ергономічні умови. УОП передбачає встановлення конкретних кількісних показників діяльності виробничих підрозділів, підтримування котрих в заданих межах забезпечує досягнення основної мети щодо організації безпечних та нешкідливих умов праці [5].

На рис. 1 подано загальну схему управління охороною праці в масштабах одного підприємства з функціями й завданнями в справі охорони праці.

Основні цілі та завдання управління охороною праці:

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

- запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням, аваріям і пожежам, усунення неприпустимих ризиків;
- дотримання вимог законодавства і нормативно-правових актів з охорони праці, колективних договорів;
- забезпечення ставлення всіх працівників підприємства до безпеки праці як до головних обов'язків;
- забезпечення участі працівників підприємства у плануванні, організації мотивації, контролі й оцінці ефективності заходів з охорони праці.

Економічний механізм управління охороною праці повинен передбачати систему заохочень для тих працівників, які сумлінно дотримуються вимог охорони праці, не допускають порушень правил та норм особистої та колективної безпеки, беруть активну творчу участь у здійсненні заходів щодо підвищення рівня охорони праці на підприємстві. Колективний договір (угода) повинен закріплювати різного роду моральні і матеріальні заохочення таких працівників: оплата праці, премії (у тому числі спеціальні заохочувальні премії за досягнення високого рівня охорони праці), винагороди за винахідництво та раціоналізаторські пропозиції з питань охорони праці. Велику користь дає преміювання робітників бригад, дільниць, цехів за тривалу роботу без порушень правил охорони праці, без травм і аварій. У разі наявності небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що постійно загрожують здоров'ю працівника, йому рекомендується виплачувати надбавку за підвищену обережність. Крім матеріального заохочення, велике значення має також і моральне стимулювання, яке свого часу використовувалось в нашій країні і яке успішно використовують закордонні фірми. Форми морального стимулювання, що досягли найкращих результатів з охорони праці, можуть бути найрізноманітнішими: від оголошення подяки до організації екскурсій для працівників [6].

Соціальний захист працюючих шляхом підвищення безпеки та охорони праці потребує узгодження дій центральних і місцевих органів виконавчої влади, об'єднань роботодавців, трудових колективів, профспілкових організацій щодо проведення комплексу широкомасштабних заходів на державному, галузевому, регіональному та виробничому рівнях, а також вжиття до-даткових заходів щодо запобігання нещасним випадкам на виробництві і професійним захворюванням, підвищення рівня безпеки та умов праці, в тому числі на об'єктах малого і середнього бізнесу, підвищення відповідальності як роботодавців за належні умови праці, так і працівників за виконання умов щодо безпечної праці.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

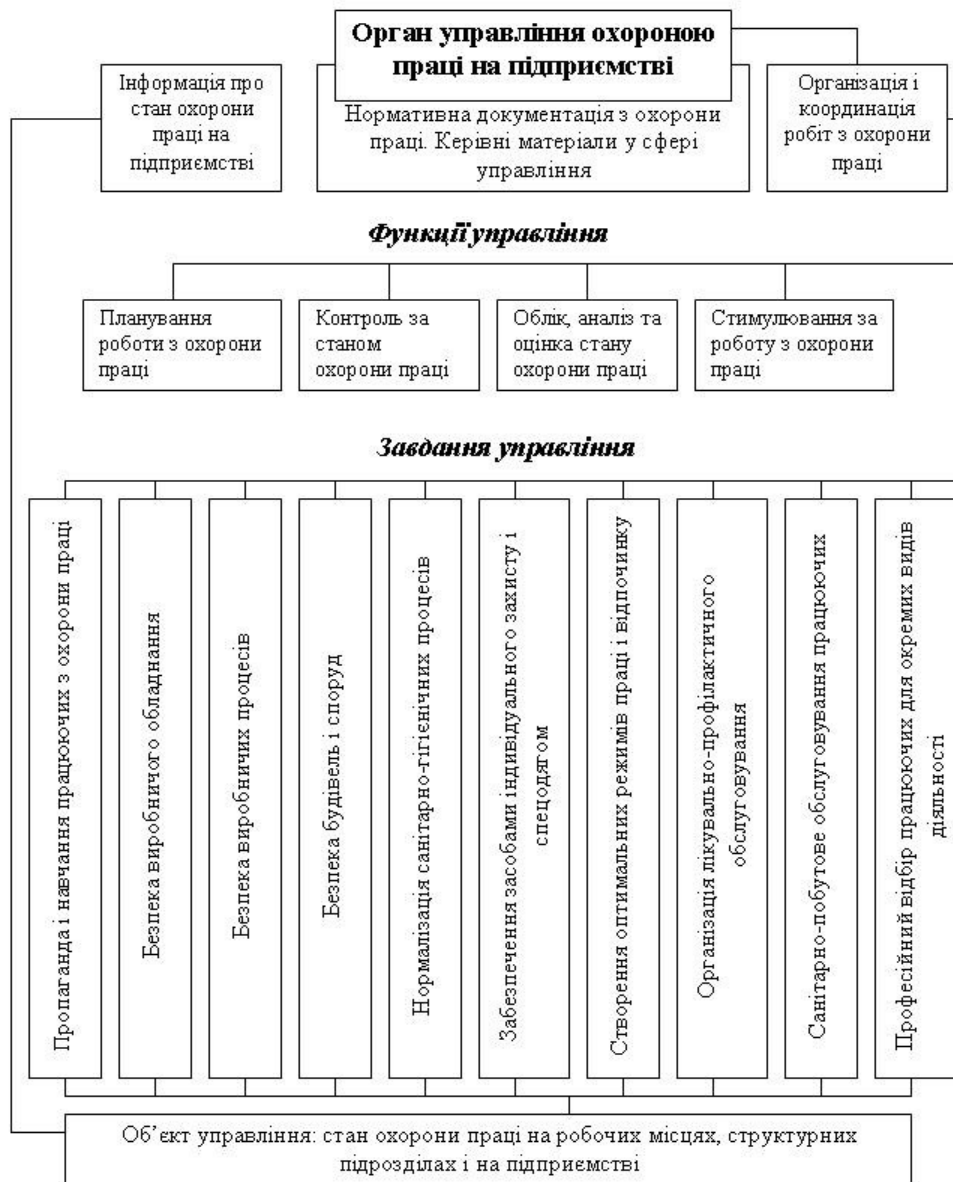


Рис. 1. Схема управління охороною праці на підприємстві

### ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендації щодо впровадження заходів з профілактики виробничого травматизму // Охорона праці, 2010. – № 12. – 64 с.
2. Гаврилець О. Охорона праці в умовах світової кризи // Охорона праці. – 2009. – № 12. – С. 7-9.
3. Звіт про страхову діяльність Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України, стан охорони праці в народному господарстві, соціальний захист на виробництві, використання страхових коштів у 2008 році // Урядовий кур'єр. – 2009. – № 37. – 64 с.

4. *Сторчак С. О.* Безпека – важливіша за виробництво // Урядовий кур'єр. – 2008. – № 77. – С. 10.
5. *Богданов С.* Профілактика нещасних випадків – складова безпеки // Урядовий кур'єр. – 2008. – № 79. – С. 4.
6. Методические рекомендации по комплексной оценке социально-экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охраны труда. – М.: ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1985.

*Elena L. Sorochinska, PhD (Historical Sciences)*

*(Senior lecturer the Department of Ecology and Life Safety State University for Transport Economy and Technologies)*

*Yulya V. Kosovec, PhD (Historical Sciences)*

*(Senior lecturer the Department of Ecology and Life Safety State University for Transport Economy and Technologies)*

### AN ANALYSIS OF PRODUCTIVE TRAUMATISM IS BASIS OF PERFECTION OF CONTROL SYSTEM BY THE GUARD OF LABOUR

*The article presents the analysis of occupational traumatism, its major causes and measures for improvement of working conditions. The ways of improving the system of occupational safety management as the basis of a real reduction in workplace injuries. The article briefly describes the control system of labor protection at the enter-prise level, as well as its improvement on the basis of the development and implemen-tation of organizational innovations. Evaluated the stimulation system of labor protec-tion at the enterprise. Investigated the economic and social aspects of improvement of conditions and labour protection. Discussed effective ways of improvement of state regulation of safety and labour protection at enterprises.*

*Keywords: productive traumatism, control system by a labour protection, social defence, safety, enhance able responsibility*

### REFERENCES

1. Rekomendatsii, schodo vprovadzhennya zahodiv s profilaktiki virobничого injuries // receptionists pratsi, 2010. – № 12. – 64. p.
2. *Havrylets O.* Receptionists in the minds of svitovoї pratsi Creasy // Receptionists pratsi. – 2009. – № 12. – S. 7-9.
3. Zvit about Strakhov diyalnist Fund sotsialnogo strahuvannya od neschasnih vipadkiv on vi-robnitstvi that profesiynih zahvoryuvan Ukraine, camp receptionists pratsi in national gospodarstvi, sotsialny Zahist on virobnitstvi, vikoristannya INSURANCE koshtiv from 2008 rotsi // Uriadovy Courier, 2009. – № 37. – 64.
4. *Storchak S.O.* Bezpeka – vazhlivisha for virobnitstvo // Uriadovy Courier. – 2008. – № 77. – S. 10.
5. *Bogdanov S.* Profilaktika neschasnih vipadkiv – warehouses BEZPEKA // Uriadovy Courier. – 2008. – № 79. – S. 4.
6. Guidelines for a comprehensive assessment of the socio-economic efficiency of measures to im-prove working conditions and safety. – М.: VTSNIIOT Trade Unions, 1985.

УДК 658.788.5

*А. А. Лямзін, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Технології міжнародних перевезень і логістики», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь)*

*М. В. Хара, к.т.н., доцент (заступник декана факультету транспортних технологій ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри «Транспортні технології підприємств», м. Маріуполь)*

### РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА В ТРАНЗИТНОЙ СРЕДЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

*Управление равновесным состоянием транспортного сектора урбанизированной среды промышленных районов весьма сложная и необходимая в настоящее время задача управления муниципальным хозяйством и его составляющими. Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация в транзитной среде промышленных районов является следствием того, что во многих случаях критерием эффективности транспортного сектора служит максимальное извлечение прибыли и расширение масштабов бизнеса, а не сбалансированность и уровень развития транзитной среды промышленных районов на основе приоритетов ресурсосбережения, экологичности и безопасности. В статье рассмотрен механизм обеспечения равновесного состояния транспортного сектора в условиях макроэкономической динамики, определяющей закономерности реализации экологической стратегии его развития в условиях транзитной среды промышленного района.*

*Ключевые слова:* транзитная среда, промышленный район, транспортный сектор, экономический цикл, логистическая стратегия.

*Управління рівноважним станом транспортного сектора урбанізованого середовища промислових районів дуже складне і необхідне нині завдання управління муниципальним господарством і його складовими. Несприятлива екологічна ситуація, що склалася в транзитному середовищі промислових районів, є наслідком того, що у багатьох випадках критерієм ефективності транспортного сектора служить максимальне витягання прибутку і розширення масштабів бізнесу, а не збалансованість і рівень розвитку транзитного середовища промислових районів на основі пріоритетів ресурсозберігання, екологічності і безпеки. У статті розглянуто механізм забезпечення рівноважного стану транспортного сектора в умовах макро економічної динаміки, визначальною закономірністю реалізації екологічної стратегії його розвитку в умовах транзитної середовищі промислового району.*

© Лямзін А. А., Хара М. В., 2015

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

*Ключові слова:* транзитне середовище, промисловий район, транспортний сектор, економічний цикл, логістична стратегія.

**Постановка проблеми.** Управление равновесным состоянием транспортного сектора урбанизированной среды промышленных районов весьма сложная и необходимая в настоящее время задача управления муниципальным хозяйством и его составляющими.

В транзитной среде промышленных районов создан свой микроклимат. Он распространяется далеко за ее границы, и в данной среде его можно сравнить с природными экстремальными местами обитания: более сильное облучение и переизлучение, более высокие температуры и испарение с поверхности дорожного полотна.

Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация в транзитной среде промышленных районов является следствием того, что во многих случаях критерием эффективности транспортного сектора служит максимальное извлечение прибыли и расширение масштабов бизнеса, а не сбалансированность и уровень развития транзитной среды промышленных районов на основе приоритетов ресурс-сбережения, экологичности и безопасности.

Таким образом сформировавшаяся проблема заключается в управлении равновесным состоянием транспортного сектора в транзитной среде промышленного района, необходимости принятия решений в условиях цикловой динамики экономических процессов; в необходимости разработки адаптационных методов и механизмов управления логистическими процессами исследуемых объектов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Современные теоретические концепции экономического цикла рассматриваются в работах Н. Г. Мэнкью, Г. С. Вечканова, Г. Р. Вечкановой. Большой научный и практический вклад в разработку вопросов развития логистических процессов транспортных систем в изменяющихся условиях деятельности субъектов коммерческой деятельности, в том числе и транспортного сектора, и их адаптации к транзитной среде промышленных районов внесли такие ученые, как В. Н. Жданов, С. Е. Гавришев, А. М. Макаров, С. Е. Трофимов. В области цикловой и системной адаптации известны работы В. К. Губенко, А. Н. Рахмангулова, С. Н. Корнилова, С. Е. Трофимова.

Результаты анализа позволяют говорить о том факте, что в данных научных работах вопросы достижения определенного уровня показателей работы элементов транспортного сектора рассматриваются, как правило, без учета экстремальных колебаний в жизненном цикле транзитной среды промышленных районов и соответствующих требований к организации логистических процессов в фазах экономического цикла. На наш взгляд это является тем ключевым моментом, который нуждается в новом теоретическом осмыслении.

**Цель статьи.** Разработка и обоснование необходимости реализации механизма обеспечения равновесного состояния транспортного сектора в условиях макроэкономической динамики, определяющей закономерности реализации экологической стратегии его развития в условиях транзитной среды промышленного района.

**Изложение основного материала.** Решение поставленной задачи базируется на предположении – транспортный сектор в среде промышленных районов является неравновесной динамической системой, имеющей возможность находится в нескольких состояниях неравновесной устойчивости, расположенных в строгой временной последовательности.

Именно поэтому для решения проблемы воспользуемся концепцией «устойчивого развития», основанной на методах синергетики для определения равновесных состояний исследуемой системы [1].

Методы синергетики для определения равновесных состояний системы успешно применялись в закрытых системах (физических, химических и т.д.), затем постепенно находя свое более широкое применение в разных системах открытого типа (биологических, социально-экономических и т.д.). Применение этих методов позволяет определить не только приближенные равновесные устойчивые положения системы (точки) с учетом влияния городской среды, но и определить приблизительное время их достижения, а так же выявить области допустимых устойчивых значений для выбранных локальных показателей системы.

Рассмотрим динамическую систему – транспортный сектор, которая описывает макроскопическую динамику транспортных процессов в исследуемой среде промышленных районов. Переменными этой системы являются [2]:  $x$  – количество выполненной транспортной работы в городской среде различными составляющими транспортного сектора;  $y$  – суммарные потери времени при выполнении транспортной работы (разница между планом и фактом)  $x$ ;  $z$  – так называемые «экологические» инвестиции, направленные в инфраструктуру транспортного сектора.

Для выявления взаимосвязей между переменными рассмотрим причины, вызывающие изменения переменных.

Изменение транспортной работы в среде промышленного района обусловлено высокой динамикой объема перевозок и их реверсом в городской среде. Этот фактор будем считать пропорциональным величине  $z$ , что напрямую учитывает пропускную возможность линейных элементов, формирующих транспортный каркас, а косвенно – увеличение спроса вследствие низкой стабильности экономических процессов в городской среде.

Другая причина изменения переменной  $x$  заключается в естественном сокращении транспортной работы в городской среде за счет стремления перевозчиков к оптимизации (рационализации) транспортных процессов. Допустим, что данный фактор учитывается постоянным коэффициентом с отрицательным знаком. Последним фактором, влияющим на переменную  $x$ , будем считать сокращение транспортной работы в результате роста задержек времени. Это слагаемое будет пропорционально величине  $y$  с отрицательным коэффициентом. Тогда уравнение для  $x$  будет иметь вид:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 z - k_2 y - k_3 \quad (1)$$

Изменение задержек времени происходит из-за увеличения транспортной работы (реверсивность) и в следствии высокой динамики объемов инвестиций, направленных на обеспечение экологической среды промышленного района.

Наиболее сложное уравнение запишем для величины инвестиций, направленных на экологическую среду транспортного сектора. Будем иметь в виду наличие инвестиций постоянных, направленных на поддержание текущего состояния «экологического баланса»; плановых, направленных на «улучшение экологического баланса», и экстренных, направленных на ликвидацию проблемных ситуаций при обеспечении «экологического баланса». Введем пороговые значения для переменной  $y$ :  $Y_1$ , при этом неравенство  $y > Y_1$  означает наступление экстренной проблемы;  $Y_2$ , соответствующее неравенство  $y > Y_2$  означает наступление

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

этапа планових заходів спрямованих на «улучшение». При цьому будемо вважати, що  $Y_1 > Y_2$ .

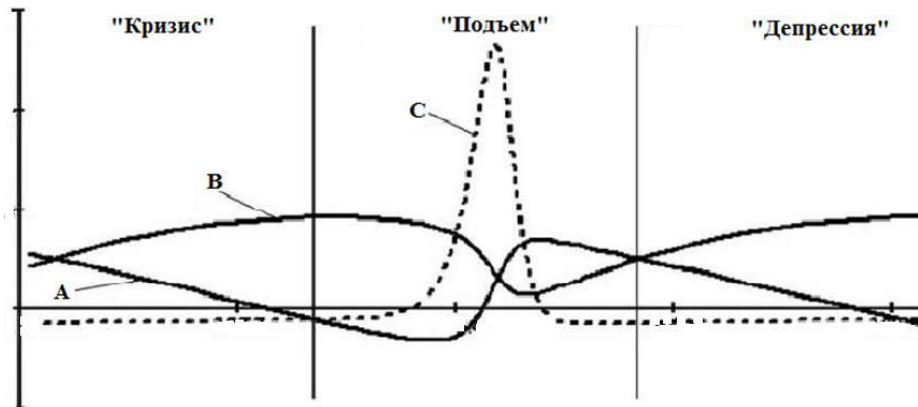
Текущие инвестиции на поддержание требуемого уровня «экологического баланса» транспортного сектора городской среды определим, с одной стороны, пропорциональными самой стоимости транспортного сектора, зависящей от  $z$ , а с другой стороны, пропорциональными износу. Тогда имеем [3]:

$$\frac{dz}{dt} = k_6(z - k_7x)z + k_8y(y - Y) + k_9x(y - Y), \quad (2)$$

Таким образом, систему уравнений (1.1) – (1.2) можно записать в виде [3]:

$$\begin{cases} \dot{x} = k_1z - k_2y - k_3x^2, \\ \dot{y} = k_4x - k_5z, \\ \dot{z} = k_6x - k_7y + k_8y^2 + k_9xy + k_{10}z^2 - k_{11}xz \end{cases} \quad (3)$$

Описанная модель помогла качественно описать возможные процессы в транспортном секторе среды промышленного района. При проведении эксперимента была исследована зависимость поведения переменных модели на временном связном с экономической средой отрезке (рис. 1), на котором можно выполнить анализ их взаимного влияния.



A – кількість «якісно» виконаної транспортної роботи ( $x$ );  
 B – сумарні втрати часу ( $y$ ) при «якісному» виконанні роботи;  
 C – інвестиції ( $z$ ), направлені на стабілізацію «екологічного балансу» транспортного сектора середовища промислового району

**Рис. 1. Поведінцева характеристика змінних моделі на часовому відрізку**

На графіку рис. 1, можна виділити три економічні області (рис. 2). В області «Кризис» спостерігається зростання втрат часу при виконанні транспортної роботи в середовищі промислового району. Приплив інвестицій на цьому ділянці, для забезпечення «екологічного балансу» немає. Тому відзначається скорочення виконаної «якісної» транспортної роботи.

В області «Кризис» спостерігається зростання втрат часу при виконанні транспортної роботи в середовищі промислового району. Приплив інвестицій на цьому ділянці, для забезпечення «екологічного балансу» немає. Тому відзначається скорочення виконаної «якісної» транспортної роботи.



## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

В области «Депрессия» наблюдается то же самое, что и в первой, когда притока инвестиций нет, а «качественная» транспортная работа сокращается пропорционально простому потере времени при выполнении данной работы в городской среде. Происходит завершение периода изменения динамических характеристик.



Рис. 2. Экономические циклы в среде промышленного района

**Выводы и предложения.** Применение логистической стратегии при обеспечении равновесного состояния транспортного сектора в транзитной среде промышленных районов позволит обеспечить его стабильное функционирование и эффективное развитие в условиях высокой динамики экономических циклов, характеризующих состояние существующей среды. Поэтому основой новой организации обеспечения эффективной работы транспортного сектора должна быть генерация системы мер циклической адаптации к изменениям внешних и внутренних условий среды, в которых он функционирует.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Dresner, S. The Principles of Sustainability / S. Dresner. – London: Earthscan, 2002. – 357 p.
2. Губенко, В.К. Экологический дименсион транспортных систем / В.К. Губенко, А.А. Лямзин //TRANSPORT PROBLEMS, '2009: I International Scientific Conference Katowice, Poland, 17-19

July 2009 y. – Katowice: The Silesian University of Technology, 2009. – N.1. – P.140–147.

3. Дьяков, А. Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А. Б. Дьяков. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.

*Andrej A. Lyamzin, PhD (Technical Sciences)*  
*(Associate Professor of International Transportation and Logistics Technologies Chair, Azov State Technical University)*

*Marina V. Khara, PhD (Technical Sciences)*  
*(Deputy Dean of Transport Technologies Faculty of Azov State Technical University, Associate Professor of Transport Technology Enterprises Chair)*

**BALANCE STATE OF A TRANSPORT SECTOR  
IN TRANSIT ENVIRONMENT OF INDUSTRIAL DISTRICT**

*Management by the equilibrium state of a transport sector of the urbanized environment of industrial districts very intricate and necessary presently problem of management by a municipal economy and his constituents. The folded unfavorable ecological situation in the transit environment of industrial districts is investigation that in many cases efficiency of a transport sector maximal commercialisation and expansion of business scales, but not balanced and level of development of transit environment of industrial districts, serve as a criterion on the basis of priorities of ресурсосбережения, ecofriendliness and safety. The article describes a mechanism to ensure the equilibrium of the transport sector in terms of macroeconomic dynamics, the implementation of environmental laws defining its development strategy in the conditions of the transit environment of the industrial district.*

**Keywords:** transit environment industrial area, the transport sector, the economic cycle, the logistics strategy.

**REFERENCES**

1. Dresner, S. The Principles of Sustainability / S. Dresner. – London: Earthscan, 2002. – 357 p.
2. Gubenko, V.K., Lyamzin A.A. Ekologicheskiy dimension transportnyh sistem / V.K. Gubenko, A.A. Lyamzin // TRANSPORT PROBLEMS `2009: I International Scientific Conference Katowice, Poland, 17-19 July 2009 y. – Katowice: The Silesian University of Technology, 2009. – N.1. – P.140-147.
3. D'yakov, A. B. Ekologicheskaya bezopasnost transportnyh potokov / A. B. D'yakov. – М.: Транспорт, 1989. – 128 p.

УДК 656.025.2

*О. М. Гудков, к.е.н., доцент (доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*Ю. А. Бердніченко, к.і.н.*

*(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*А. А. Поздняков, О.О. Позднякова*

*(консалтингова компанія «ТОР»)*

### ЛОГІСТИЧНИЙ ПІДХІД У СТВОРЕННІ ЕФЕКТИВНОГО МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ПАСАЖИРСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

*У статті запропоновано заходи щодо підвищення ефективності обслуговування пасажирів і приведення рівня надання транспортних послуг до міжнародних стандартів якості, впровадження безпаперових технологій продажу квитків на всі види транспорту.*

*Ключові слова: пасажирські перевезення, якість обслуговування пасажирів, електронний проїзний документ, єдиний квиток, інфраструктура транспорту.*

*В статті пропонується заходи по повышению эффективности обслуживания пассажиров и приведению уровня предоставления транспортных услуг к международным стандартам качества, внедрения безбумажных технологий продажи билетов на все виды транспорта.*

*Ключевые слова: пассажирские перевозки, качество обслуживания пассажиров, электронный проездной документ, единый билет, инфраструктура транспорта.*

Залізничний транспорт складає основу транспортно-логістичного комплексу держави. Пасажирським перевезенням традиційно надавалося велике значення на кожному етапі розвитку нашої країни. Послугами пасажирських перевезень користуються значно більший відсоток населення, ніж послугами вантажних, тому саме стан пасажирського комплексу багато в чому формує імідж залізниць країни в суспільстві. Сучасна ситуація характеризується істотними динамічними змінами, що відбуваються в транспортному комплексі залізниць України. Перетворення, що відбуваються ставлять перед залізничним транспортом нові складні комплексні завдання – не тільки забезпечувати економіку і населення країни в перевезеннях, але і формувати новий, конкурентоспроможний сегмент,

© Гудков О. М., Бердніченко Ю. А., Поздняков А. А., Позднякова О.О., 2015

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

постійно підвищувати якість своєї роботи, незважаючи на посилення конкурентного тиску з боку інших видів пасажирського транспорту [1-2].

Залізниці України в січні-березні 2015 р. скоротили перевезення пасажирів у всіх видах сполучення на 4,4% порівняно з аналогічним періодом 2014 р. – до 97,9 млн осіб [3].

Система управління транспортним комплексом не відповідає сучасним вимогам управління багатокомпонентними інфраструктурними об'єктами. Це створює вимоги для її реорганізації.

Саме заходи з реорганізації підрозділів, що забезпечують процес формування та продажу пасажирських проїзних документів в тому числі спрямовані на реалізацію моделі реформування сектору пасажирських перевезень залізничного транспорту. Пасажирські перевезення є одним з основних джерел доходу всього комплексу підприємств залізничного транспорту. Новітні розробки в галузі техніки і технології, щодо розвитку пасажирського господарства дають можливість працівникам залізничного транспорту нові можливості, які сприяють підвищенню якості обслуговування пасажирів на залізницях та підвищенню їх конкурентоспроможності.

Задача зацікавити пасажирів до послуг залізничного транспорту набуває все більшої актуальності. Одним з найважливіших елементів підвищення конкурентоспроможності є забезпечення пасажирів зручностями при купівлі білетів, забезпечення нормального відпочинку як в дорозі, так і на вокзалах.

Враховуючи, що перевезення пасажирів, багажу до місця призначення – головна задача пасажирських перевезень, для забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту, необхідна організація та надання нових якісних послуг, які дозволять пасажирам максимально скоротити витрати часу, грошей та психофізичного напруження в місцях пересадки на залізничних хабах (вузлах) [4-5].

При відсутності комплексного сервісного інформаційно-логістичного обслуговування на залізничному транспорті основний етап – перевезення – втрачає частку споживчої цінності та стає менш конкурентоспроможним.

Заходи з реорганізації підрозділів, які забезпечують пасажирські перевезення, повинні оптимізувати процес формування та продажу пасажирських проїзних документів та бути спрямовані на реалізацію моделі реформування українських залізниць, а саме:

- на оптимізацію управлінських процесів;
- на централізацію та автоматизацію процесу;
- централізований продаж проїзних документів ;
- рівний доступ національних перевізників до транспортної інфраструктури;
- впровадження сучасних та ефективних каналів продажів проїзних документів;
- оптимізацію і розвиток обсягів внутрішніх пасажирських перевезень з підвищенням якості послуг;
- ефективну та прозору систему взаєморозрахунків суб'єктів ринку пасажирських перевезень;
- регуляторну функцію і контроль з боку держави в особі Державної адміністрації залізничного транспорту, або національної вертикально- інтегрованої компанії залізниць України [6-7].

При реформуванні пасажирського господарства необхідно забезпечити вирішення завдання з централізації продажу залізничних квитків в межах одного

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

підприємства – ДП «Розрахунковий центр» при повній взаємодії, або об'єднанні з УЦОП, ГЮЦ та ЮЦ залізниць.

Робота ДП «Розрахунковий центр» передбачатиме укладання та виконання договорів з продажу залізничних квитків учасниками ринку пасажирських перевезень та забезпечувати розвиток інфраструктури пасажирських перевезень.

Для максимального і якісного задоволення попиту на пасажирські перевезення необхідно забезпечити взаємодію і наскрізні продажі пасажирських квитків на інші види транспорту – авіа- і автобусного сполучення. У перспективі забезпечити формування та продаж єдиного квитка.

Для формування пропозицій щодо оптимізації та розвитку ринку пасажирських перевезень, як внутрішньодержавних так і міжнародних, необхідно забезпечити постійний аналіз існуючих і потенційних пасажиропотоків, як залізничного так і прилеглого авіа- та автобусного транспорту, задіяних каналів продажів.

Пропозиції щодо реорганізації підрозділів Укрзалізниці, які задіяні в процесі підготовки і продажу проїзних документів наведені на рис. 1.

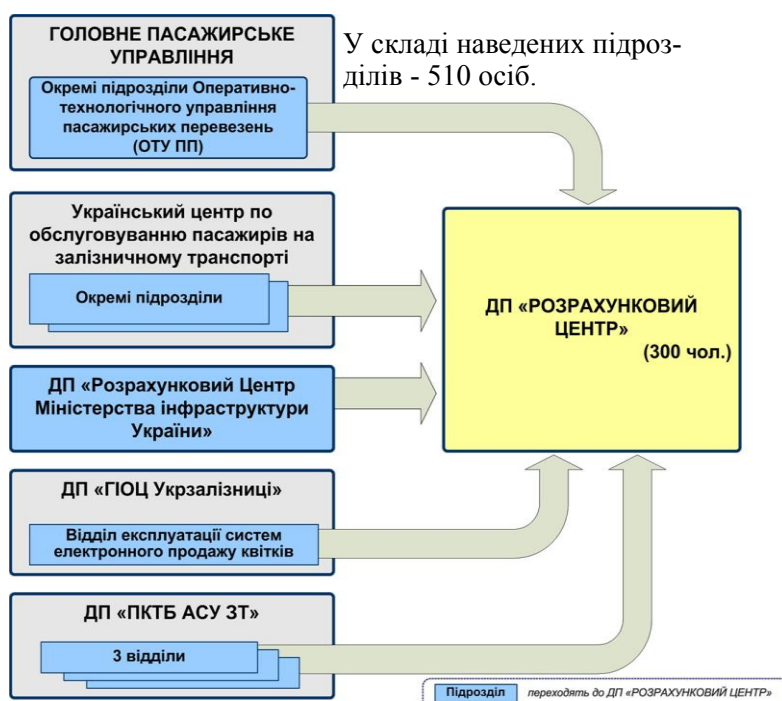


Рис. 1. Загальна схема реорганізації підприємств

Результатами запропонованої реорганізації є об'єднання підприємств та підрозділів, задіяних в організації пасажирських перевезень, що дозволить централізовано:

- організовувати та контролювати перевізний процес пасажирських перевезень;
- забезпечити модернізацію та оптимізацію програмно-апаратного комплексу пасажирських перевезень;
- вести облік доходів від пасажирських перевезень;

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

- проводити взаєморозрахунки між перевізниками та організаціями, які надають послуги з оформлення проїзних документів;
- розширювати мережу продажу електронних проїзних документів;
- вдосконалювати технологію оформлення та застосування електронних проїзних документів;
- впроваджувати новітні технології для пасажирських перевезень;
- впровадити технологію оформлення єдиного електронного проїзного документа (на залізничний, авто-, авіатранспорт).



**Рис.2. Структурна схема Державного підприємства «Розрахунковий центр» (після реорганізації)**

Основні функції відділів:

1. Відділ супроводу нормативно-довідкової інформації:
  - підготовка та введення нормативно-довідкової інформації (НДІ) на поїзди залізниць України при переході на новий графік руху;
  - підготовка макетів на новий графік для літніх та додаткових поїздів;
  - коригування коефіцієнтів індексації по окремих поїздах.
2. Відділ групових перевезень:
  - організація групових перевезень;
  - організація перевезень дітей та громадян з обмеженими функціональними можливостями;
  - виділення та отримання місць для країн Європи та для залізниць України з Європи;
  - пересадка пасажирів на всі поїзда Укрзалізниці.
3. Аналітичний відділ:
  - аналіз населеності поїздів та прогнозування пасажиропотоків;
  - оперативне регулювання схем складів поїздів залежно від пасажиропотоку;
  - контроль за використанням місць в пасажирських поїздах;
  - підготовка пропозицій по регулюванню режимів продажу;

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

---

- підготовка пропозицій щодо зміни маршруту, періодичності та відміни поїздів.
  - 4. Відділ маркетингу:
    - маркетинговий аналіз всіх видів діяльності залізничного транспорту у сфері пасажирських перевезень;
    - пошук шляхів підвищення доходності пасажирських перевезень;
    - сегментування ринку споживачів транспортних послуг.
  - 5. Технологічно-конструкторський відділ:
    - розробка та узгодження постановчої та нормативної документації;
    - ведення нормативно-довідкової інформації в ПАК ЕПД ПП.
  - 6. Відділ адміністрування:
    - забезпечення безперебійного функціонування: ПАК ЕПД ПП; сайту [booking.uz.gov.ua](http://booking.uz.gov.ua); АРМ ЕПД; ПАК «Сервер МТКД»; комп'ютерної програми «МТКД»; Спеціалізованих РРО «Експрес».
  - 7. Відділ контролю надходжень, розрахунків та роботи з агентами:
    - організація проведення взаєморозрахунків між ДПРЦ та перевізниками, агентами.
  - 8. Відділ касового продажу:
    - організація продажу залізничних проїзних документів філіями квиткових кас, розташованими поза межами підприємства.
  - 9. Довідкова служба:
    - прийом звернень громадян щодо оформлення ЕПД, касирів щодо оформлення ЕПД в касах через АРМ ЕПД, провідників щодо роботи МТКД.
    - надання платних та безкоштовних інформаційних послуг по телефону, за допомогою засобів телекомунікації та шляхом організації роботи вікна-довідки.
- Вся система організації пасажирських підприємств має бути підпорядкована інтересам пасажирів, що дасть можливість своєчасно реагувати на зміни попиту і надавати нові послуги, задовольняти потреби і залучати пасажирів на свій вид транспорту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гудков О. М. Розвиток пасажирського комплексу залізниць: проблеми і перспективи / О. М. Гудков // Залізничний транспорт України: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Наука в транспортному вимірі». Спец. вип. – 2005. – № 3/1: – С. 74-79.
2. Копылова Е. В. Логистика – перспективное направление пассажирских перевозок / Е. В. Копылова, Е. Б. Куликова // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 3. – С. 61–64.
3. Державна служба статистики України [Електрон. ресурс]: – Режим доступу: <http://ukrstat.org/uk>. – Назва з екрану.
4. Транспортна стратегія України на період до 2020 року Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. N 2174-р. [Електрон. ресурс]: – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. – Назва з екрану.
5. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки: Постанова Каб. Міністрів України від 16.12. 2009 р. №1390 [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>. – Назва з екрану.
6. Гудков О. М. Організаційно-економічний розвиток пасажирського комплексу залізничного транспорту України на основі системного підходу: дис. ... к-та екон. наук: 08.00.04 / Гудков Олександр Михайлович; Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України. – К., 2009. – 231 с.
7. Самсонкін В. М. Про підвищення ефективності пасажирських перевезень на залізничному транспорті / В. М. Самсонкін, О. М. Гудков // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 1. – С. 43–45.

*Oleksandr M. Hudkov, PhD (Economic Sciences), Associate Professor  
Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport  
Economy and Technologies)*

*Yuliya A. Berdnichenko, PhD (Historical Sciences)  
Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport  
Economy and Technologies)*

*Andriy A. Pozdnyakov, Olga  
Pozdnyakova (Consulting company TOR)*

**LOGISTIC APPROACH IN CREATING AN EFFECTIVE MECHANISM  
OF PASSENGER TRAFFIC MANAGEMENT**

*The article suggests measures to improve the efficiency of passenger service and bringing the level of transportation services with international quality standards, implementing paperless ticketing technology on all modes of transport.*

*Keywords: passenger services, the quality of passenger service, an electronic travel document, a single ticket, transport infrastructure.*

**REFERENCES**

1. *Hudkov O. M. Rozvytok pasazhyrs'koho kompleksu zaliznyts': problemy i perspektyvy [The development of railway passenger transport: problems and prospects] / O. M. Hudkov // Zaliznychnyy transport Ukrainy: Materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Nauka v transportnomu vymiri». Spets. vyp. – 2005. – # 3/1: – P. 74-79.*
2. *Kopylova E. V. Logistika – perspektivnoe napravlenie passazhirskih perevozok [Logistics - a perspective direction for passenger services] / E. V. Kopylova, E. B. Kulikova // Zheleznodorozhnyj transport. – 2010. – № 3. – P. 61–64.*
3. State Statistics Service of Ukraine [electronic. resource]: - Access:
4. *Transportna stratehiya Ukrainy na period do 2020 roku [Transport Strategy of Ukraine till 2020] Skhvaleno rozporядzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 zhovtnya 2010 r. N 2174-r. Ukraine [electronic. resource]: – Access: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-r>. – Nazva z ekranu.*
5. *Derzhavna tsil'ova prohrama reformuvannya zaliznychnoho transportu na 2010–2019 roky [State Program of reforming the railway transport in the years 2010-2019]: Postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 16.12. 2009 r. #1390 Ukraine [electronic. resource]: – Access: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>. – Nazva z ekranu.*
6. *Hudkov O. M. Orhanizatsiyno-ekonomichnyy rozvytok pasazhyrs'koho kompleksu zaliznychnoho transportu Ukrainy na osnovi systemnoho pidkhodu [Organizational-economic development of passenger rail transport complex of Ukraine on the basis of a systematic approach]: dys. ... k-ta ekon. nauk: 08.00.04 / Hudkov Oleksandr Mykhaylovych; Derzhavnyy naukovy-doslidnyy tsentr zaliznychnoho transportu Ukrainy. – K., 2009. – 231 p.*
7. *Samsonkin V. M. Pro pidvyshchennya efektyvnosti pasazhyrs'kykh perevezen' na zaliznychnomu transporti [On improving the efficiency of passenger traffic in railway transport] / V. M. Samsonkin, O. M. Hudkov // Zaliznychnyy transport Ukrainy. – 2004. – 1. – P. 43 – 45.*

УДК 656.222

*В. І. Мацюк, к.т.н., доцент (доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПАРКІВ ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ ДИСКРЕТНО-ПОДІЄВИМ МОДЕЛЮВАННЯМ

*У роботі обґрунтована доцільність моделювання динамічних процесів у парках технічних станцій дискретно-подієвим імітаційним моделюванням. Детально розглянуто процес обслуговування транзитного зі зміною локомотиву поїзда як процес агентного обслуговування заявок. Весь час обслуговування відповідного поїзда розкладається на три частини, кожна з яких відповідно до об'єктно-орієнтовної парадигми представляє об'єкт. Заявка, що обслуговується у моделі також представляється як об'єкт. Дається повне описання кожного з об'єктів: властивостей та варіантів станів.*

*Схематично представлено імітаційну модель технологічного процесу транзитної технологічної лінії сортувальної парку. Реалізацію моделі здійснено у середовищі прикладного пакету AnyLogic технології Java (Oracle).*

*Ключові слова: технічні станції, технологічна лінія обробки поїзда, імітаційне моделювання, дискретно-подієве моделювання.*

*В работе обоснована целесообразность моделирования динамических процессов в парках технических станций дискретно-событийным имитационным моделированием. Подробно рассмотрен процесс обслуживания транзитного с изменением локомотива поезда как процесс агентного обслуживания заявок. Все время обслуживания соответствующего поезда разлагается на три части, каждая из которых в соответствии с объектно-ориентированной парадигмы представляет объект. Заявка обслуживается в модели также представляется как объект. Дается полное описание каждого из объектов: свойств и вариантов состояний.*

*Схематически представлено имитационную модель технологического процесса транзитной технологической линии сортировочной парка. Реализацию модели осуществляется в среде прикладного пакета AnyLogic технологии Java (Oracle).*

*Ключевые слова: технические станции, технологическая линия обработки поезда, имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование.*

**Актуальність проблеми.** Як відомо технічні станції залізниць відносять до складних та великих технологічних транспортних систем. Складних – оскільки кількість технологічних станів системи є великим, а більшість цих станів ускладнюється стохастичною природою процесів системи. Великою – оскільки кількість елементів і постійно взаємодіючих між собою СМО є значною.

© Мацюк В. І., 2015

Технічні (зокрема сортувальні) станції як складні технологічні системи прийнято розглядати через множинну функціонуючих технологічних ліній: обробки і пропуску пасажирських поїздів, транзитних вантажних поїздів, розформування та формування поїздів, переробки місцевих вагонів.

Кожна із зазначених ліній функціонує в умовних межах і, разом з тим, взаємодіє з іншими лініями. Процес є стохастичним, оскільки вхідний потік, навантаження ліній, тривалість технологічних операцій з обробки поїздів та вагонів є імовірнісним. Крім того, на стаціонарність і надійність функціонування ліній і всієї технологічної системи суттєво впливає значна нерівномірність вхідних потоків, які у більшості підпорядковані експоненціальному (або гамма) розподілу з варіацією  $v = 1$ .

Такий складний процес важко, а в окремих випадках неможливо, досліджувати аналітичними моделями, оскільки більшість функцій є неаналітичними. Однак дослідження можливе інструментами імітаційного моделювання.

**Мета роботи.** Метою даної статті є дослідження та встановлення параметрів технологічної надійності парків технічних станцій дискретно-подієвим моделюванням.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Процес функціонування технологічної лінії з обробки поїздів можна розглянути як дискретно-подієвий процес. Кожна заявка, що обслуговується у системі (для випадку з лінією з обробки транзитних поїздів) дискретно перебуває на обслуговуванні у тому чи іншому елементі. Перехід між етапами обробки представляє собою умовну межу, і не має власної тривалості.

Наприклад, для технологічної лінії з обробки транзитних поїздів (із зміною локомотива та без зміни маси й довжини складу) весь процес обслуговування однієї заявки (обробки транзитного поїзда) можна умовно поділити на наступні елементи:

1. прибуття поїзда у парк із займанням горловини транзитного парку;
2. операції з огороження складу, відчеплення магістрального локомотива, передачі документів;
3. технічний та комерційний огляд;
4. причеплення поїзного локомотива;
5. відправлення за найближчою ниткою графіка.

Починаючи з третьої, кожна операція може починатись не зразу, а тільки після готовності відповідних служб або технічних пристроїв. Тому суттєвою частиною будь-якої обробки заявки є сукупний простій в очікуванні виконання операцій.

Чому виникають затримки у виконанні технологічних операцій? Відповідь очевидна – унаслідок технологічних конфліктів, що з'являються через неузгодженість елементів системи при внутрішньодобовій та сезонній нерівномірності завантаження залізничних станцій та дільниць.

Розглянемо транзитний парк з обробки транзитних із зміною локомотива поїздів. Дана модель представляє постійну взаємодію трьох СМО: колій транзитного парку, пункт технічного та комерційного огляду, локомотивного депо. Кожна із зазначених СМО має власний набір характеристик щодо стану та можливої поведінки, тому відповідно до об'єктно-орієнтованої парадигми простіше представляти зазначені СМО як об'єкти.

Об'єкти мають наступні характеристики та можливі стани й поведінки.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

1. Колії транзитного парку: кількість колій – що відповідає кількості каналів обслуговування СМО; стан кожної з колій – вільна або зайнята – із поїздом здійснюється планова операція, поїзд чекає виконання операції.

2. Пункт технічного/комерційного огляду: кількість бригад (відповідає кількості каналів обслуговування СМО) та кількість груп у кожній бригаді; обслуговування відповідною бригадою поїзда на одній з колій парку; простій бригади в очікуванні поїзда.

3. Локомотивне депо: наявність готового до відправлення магістрального локомотива або відсутність готового до відправлення локомотива.

Крім того, саму заявку, що поступає в обробку (тобто транзитний поїзд) можна представити як об'єкт із набором власних характеристик: порядковий номер заявки (поїзда, що обробляється у лінії), кількість вагонів у складі поїзда, етапи проходження операцій у системі, часові межі проходження операцій, загальний час перебування поїзда на колії парку тощо.

Таким чином, імітаційну модель технологічної лінії обробки транзитних поїздів можна представити як множину паралельних каналів із послідовним виконанням операцій з обробки заявок (поїздів), що дуже нагадує звичайну візуалізацію обробки поїздів у транзитних парках на діючих залізничних станціях:

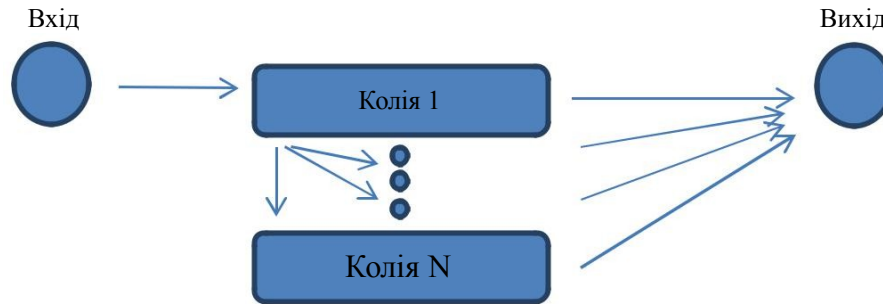


Рис. 1. Структурна схема імітаційної моделі транзитної технологічної лінії сортувальної станції

Зазначена модель може бути реалізована у будь-якому імітаційному середовищі. Для прикладу буде використано пакет AnyLogic технології Java (Oracle).

Кожний з каналів обслуговування (тобто колія транзитного парку) буде мати наступний вигляд (рис. 2)

Блок «train» (source) генерує надходження заявок у систему, що відповідає прибуттю транзитних поїздів у обробку до відповідної технологічної лінії. Блок «queue» імітує надходження заявки у відповідний канал обслуговування. Якщо канал зайнятий, то заявка пересилається в інший канал обслуговування. Даний процес відображає приймання поїздів на колію обслуговування транзитного парку. Якщо дана колія зайнята, поїзд приймається на іншу, вільну колію.

Група блоків 1 представляє собою процес приймання поїзда на колію парку і витрати часу на операції з огороження складу, відчеплення магістрального локомотива та передачі документів. При займанні каналу (колії) блок *hold\_1* «закриває» канал для приймання інших заявок. Вхід у канал автоматично відкривається після його звільнення попередньою заявкою – виходом її за межі блоку 3).

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

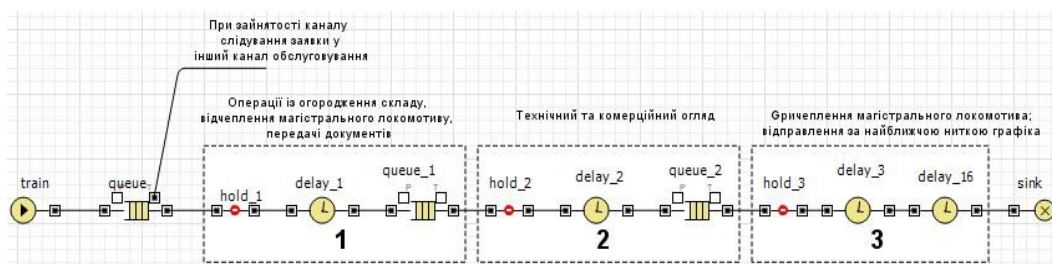


Рис. 2. Вигляд каналу обслуговування (колії транзитного парку) у середовищі AnyLogic, Java

Група блоків 2 імітує процес обслуговування заявки (поїзда) бригадами технічного та комерційного огляду. Блок *hold\_2* імітує затримку в обробці заявки при зайнятих бригадах.

Група блоків 3 імітує процес причеплення магістрального локомотива та опробування автогальм. Блок *hold\_3* імітує затримку в обробці заявки при відсутності вільних локомотивів у депо.

**Висновок.** Дослідження та розробка методів нормування технологічної надійності станційних парків і залізничних станцій є по суті важливою науково-виробничою проблемою, оскільки дозволяє встановити технологічні стандарти функціонування та визначити пріоритетність розвитку залізничного транспорту. Використання принципів імітаційного комп'ютерного моделювання в даному випадку дозволяють найбільш точно на сьогодні імітувати процес і врахувати максимальну кількість параметрів. Для імітації технологічних ліній з обробки поїздів і вагонів достатньо зручним є дискретно-подієвий спосіб моделювання, оскільки він дозволяє розробити моделі, що за структурою дуже нагадують роботу систем масового обслуговування та колійний розвиток станцій. Одними із суттєвих переваг імітаційного моделювання є можливість дослідження складного стохастичного процесу та визначення затримок між етапами обробки поїздів на коліях парків.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції, затверджені Наказом Укрзалізниці від 22.12.2009 р. № 715-Ц (ЦД-0081). – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2010. – 230 с.
2. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи дільничної станції, затверджені Наказом Укрзалізниці від 03.03.2010 р. № 163-Ц (ЦД-0082). – К.: ТОВ «Інпрес», 2010. – 204 с.
3. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України. Міністерство транспорту України. Київ: Транспорт України, 2002. – 202 с.
4. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
5. AnyLogic Help System – електронний ресурс, режим доступу – <http://www.anylogic.com/anylogic/help/>.

*Viacheslav I. Matsiuk, PhD (Technical Sciences)*  
*(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)*

**RESEARCH OF TECHNICAL STATIONS TECHNOLOGICAL SETS  
OF TRACKS RELIABILITY BY DISCRETE-EVENT SIMULATION**

*The expediency of modeling of dynamic processes in sets of tracks of technical stations by discrete-event simulation. Considered in detail the process of transit service with change of locomotive train as a process agent-based service applications. All the time the relevant train service is decomposed into three parts, each in accordance with the object-oriented paradigm represents the object. The application served as a model represented as an object. We give a complete description of each object: properties and options for states.*

*Schematically represented process simulation model of transit processing line sorting park. Implementation of the model carried out in software AnyLogic Packages Java (Oracle).*

**Keywords:** *technical station, train technological line processing, simulation, discrete-event Simulation.*

**REFERENCES**

1. Praktychni rekomendatsiyi shchodo skladannya tekhnolohichnoho protsesu roboty sortuval'noyi stantsiyi [Operational Guidelines for the drafting process of sorting yards], zatverdzeni Nakazom Ukrzaliznytsi vid 22.12.2009 r. № 715-Ts (TsD-0081). – Kiev: TOV «NVP Polihrafservis», 2010. – 230 p.
2. Praktychni rekomendatsiyi shchodo skladannya tekhnolohichnoho protsesu roboty dil'nychnoyi stantsiyi [Operational Guidelines for the drafting process of the district yards], zatverdzeni Nakazom Ukrzaliznytsi vid 03.03.2010 r. № 163-Ts (TsD-0082). – Kiev: TOV «Inpres», 2010. – 204 p.
3. Instruktsiya z rozrakhunku nayavnoyi propusknoyi spromozhnosti zaliznyts' Ukrainy [Instructions for calculating available capacity of Ukrainian railways]. Ministerstvo transportu Ukrainy. Kyiv: Transport Ukrainy, 2002. – 202 p.
4. Gruntov P.S. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' stantsiy [Operational reliability of stations]. – Moscow: Transport, 1986. – 247 p.
5. AnyLogic Help System – Electronic Resource, Access Mode – <http://www.anylogic.com/anylogic/help/>.

*Науково-виробниче видання*

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

**Серія «Транспортні системи і технології»**

**Випуск 26-27**

Відповідальний за випуск Ю. В. Черняк  
Головний редактор О. В. Ємець  
Редактор Н. В. Щербак  
Макет і верстка В. О. Полічев

Підписано до друку 28.04.2015. Формат 60x90 1/8.  
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі.  
Ум. друк. арк. 22,8. Обл.-вид. арк. 11,25.  
Наклад 100 прим. Зам. № 121/15.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ.  
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007.  
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.