

ЗМІСТ
РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

<i>Сулим А.О., Павленко Ю.С., Білецький О.М.</i> Аналіз механічних пошкоджень несних конструкцій тепловозів промислового залізничного транспорту з завершеним строком служби.....	7
<i>Багров О.М., Мірошкін С.М., Пономарьова І.С., Соляник М.І.</i> Дослідження впливу використання надливів та екзотермічних вставок на виникнення дефектів у литих деталях.....	18
<i>Панченко С.В., Ловська А.О., Равлюк В.Г.</i> Виявлення причин клинодуального зносу та його впливу на навантаженість композиційних колодок вантажних вагонів.....	33
<i>Семко Ж.О., Герко Н.П.</i> Технічне регулювання в Україні. Добровільна оцінка відповідності. Переваги, помилки, перспективи.....	53
<i>Брусило Д.О., Гладких І.В.</i> Водневі технології у залізничному транспорті: аналіз перспектив впровадження на основі інноваційних рішень, представлених на InnoTrans 2024.....	61
<i>Федоров В.В.</i> Дослідження технічного стану несних металоконструкцій вагонів-хоперів для перевезення охолодженого коксу.....	72
<i>Федорак І.І., Сулим А.О., Хозя П.О., Столєтов С.О.</i> Експериментальні дослідження вагона-платформи моделі 13-1894 для великотоннажних контейнерів.....	81
<i>Мартинов І.Е., Труфанова А.В., Шовкун В.О., Балашов О.О.</i> Аналіз чинників, впливаючих на аеродинамічний опір універсальних напіввагонів.....	94
Вимоги до оформлення статей.....	104

CONTENTS
«RAILBOUND ROLLING STOCK»

<i>A.O. Sulym, Yu.S. Pavlenko, O.M. Biletskyi</i> An overview of mechanical damages to load-bearing structures of industrial railway diesel locomotives with an expired service life	15
<i>O.M. Bahrov, S.M. Miroshkin, I.S. Ponomarova, M.I. Solianyk</i> Studying the impact of the foundry casting basins and exothermic inserts use on the occurrence of defects in cast parts.....	30
<i>S.V. Panchenko, A.O. Lovska, V.G. Ravlyuk</i> Identification of the causes of wedge-dual wear and its impact on the load of composite brake pads of freight wagons.....	49
<i>N.P. Herko, Zh.O. Semko</i> Technical regulation in Ukraine, voluntary conformity assessment. Advantages, failures, prospects.....	59
<i>D.O. Brusylo, I.V. Hladkykh</i> Hydrogen technologies in rail transport: analysis of implementation prospects based on innovative solutions presented at InnoTrans 2024.....	70
<i>V.V. Fedorov</i> Study of the technical condition of the load-bearing metal structures of hopper cars for the transportation of cooled foundry coke.....	78
<i>I.I. Fedorak, A.O. Sulym, P.O. Khozia, S.O. Stoletov</i> Experimental studies of the flat car model 13-1894 for large-capacity containers.....	91
<i>I.E. Martynov, A.V. Trufanova, V.O. Shovkun, O.O. Balashov</i> Analysis of factors affecting the aerodynamic drag of universal gondolacars.....	102
Requirements for drawing-up of articles.....	104

А.О. Сулим

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-03-54, E-mail: sulim1.ua@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

Ю.С. Павленко

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-12-57, E-mail: usp.mmm.un@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8612-3228>

О.М. Білецький

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-12-57, E-mail: biletzkyi81@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1729-2777>

АНАЛІЗ МЕХАНІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛОВОЗІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ЗАВЕРШЕНИМ СТРОКОМ СЛУЖБИ

В статті обґрунтовано необхідність проведення науково-експериментальних досліджень, спрямованих на отримання нових знань про вплив навколишнього середовища, роду виконуваних робіт та інших умов експлуатації на несні конструкції кузовів та візків тепловозів промислового залізничного транспорту, а саме виникнення механічних пошкоджень у цих конструкціях. Виконано оцінку технічного стану несних конструкцій тепловозів промислового транспорту.

Проаналізовано результати науково-експериментальних досліджень несних металоконструкцій кузовів і візків тепловозів промислового залізничного транспорту різних типів, які мають завершений строк служби та експлуатуються від 25 до 50 років, за критерієм наявності механічних пошкоджень. При цьому об'єкти досліджень територіально перебувають у різних областях України, мали різні навантаження та вплив навколишнього середовища.

Запропоновано класифікацію механічних пошкоджень несних конструкцій тепловозів та їх візків на підставі отриманих даних технічного діагностування. Запропоновано класифікацію умов роботи тепловозів промислового залізничного транспорту залежно від їх умов експлуатації. Наведено критерії виключення тепловоза з інвентарного парку за наявністю механічних пошкоджень. Визначено експлуатаційні умови, за яких зафіксовано найбільшу кількість механічних пошкоджень. Перелічено деталізовані механічні пошкодження несних конструкцій тепловозів, що підлягали списанню з інвентарного парку підприємств.

© Сулим А.О., Павленко Ю.С., Білецький О.М., 2024

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Визначено, що інтенсивність механічних пошкоджень не залежить від типу тепловозу, а в значній мірі залежить від умов експлуатації цього тепловозу. Визначено найбільш характерні типи механічних пошкоджень несних конструкцій тепловозів залежно від роду виконуваних робіт. У більшості випадків механічні пошкодження несних конструкцій обстежуваних типів тепловозів відсутні, а їх стан оцінюється як задовільний, з можливістю подовження строку служби.

Ключові слова: візок, механічне пошкодження, несна конструкція, промисловий залізничний транспорт, строк служби, тепловоз.

Вступ та постановка проблеми. Тепловозний парк промислового залізничного транспорту України складається із різних моделей тепловозів закордонного виробництва, випущених переважно до 1995 року. Основу цього парку складають тепловози типу ЧМЕ, ТЕМ, ТГМ, 2ТЕ10, 2ТЕ116, М62, ТГК та їх модифікації. В нинішніх реаліях у промислових підприємств України немає можливості закупівлі новостворених вітчизняних тепловозів, оскільки їх виробництво на теперішній час не освоєно, та недостатньо коштів для закупівлі тепловозів закордонних виробників, тому гостро стоїть питання необхідності подовження строку служби існуючих.

Подовження строку служби тепловозів виконують згідно розроблених та погоджених встановленим порядком методик досліджень, які передбачають проведення технічного діагностування кожного окремого тепловоза. Основою рішення про можливість подовження строку служби тепловоза є позитивні результати досліджень в ході проведення його технічного діагностування. Під час технічного діагностування аналізують механічні та корозійні пошкодження несних конструкцій тепловозів та їх візків з визначенням їх фактичних величин методами неруйнівного контролю. Порівнюють отримані фактичні величини пошкоджень та зносів з допустимими значеннями, встановленими в нормативній документації та методиках досліджень. За результатами досліджень оформлюють технічні рішення щодо можливості подальшої експлуатації обстежених тепловозів та рекомендують вид ремонту за умови подовження строку служби тепловоза. Під час технічного діагностування змінні вузли та деталі тепловоза огляду та аналізуванню не підлягають.

Аналіз останніх досліджень. Питання подовження строку служби, технічного діагностування, модернізації з подальшим подовженням строку служби тепловозів розглядалися в роботах [1–7]. Так, в роботах [1, 2] виконано дослідження з визначення можливості подовження строку служби тепловозів ЧМЕЗ, 2ТЕ10 та їх модифікацій. В публікації [3] проаналізовано інтенсивність зносу несних конструкцій маневрових тепловозів промислового залізничного транспорту. В статтях [4–6] розглядалися питання модернізації тепловозів, які експлуатуються на магістральних коліях та коліях промислових підприємств. В роботах [4, 5] розглянуто підвищення ефективності роботи магістральних тепловозів 2ТЕ116 шляхом їх модернізації. В публікації [6] проаналізовано питання модернізації маневрових тепловозів ТГМ6 в Україні. Дослідження механічних пошкоджень тепловозів виконувались та наведені в роботах [1, 2, 7].

Однак в розглянутих наявних роботах не виконувались дослідження з визначення характерних типів механічних пошкоджень залежно від роду виконуваних робіт тепловозами та умов їх експлуатації. Під умовами експлуатації мається на увазі вплив різних умов навколишнього середовища та ударних навантажень. Так, в роботі [3] зокрема стверджується, що умови навколишнього середовища (умови гірничо-збагачувальних комбінатів, заводів металевих виробів, портів тощо) здійсню-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ють різний вплив на інтенсивність корозійного зносу тепловоза промислового залізничного транспорту. Проте в цій роботі не розглянуто яким чином ті чи інші умови навколишнього середовища і навантаження впливають на інтенсивність виникнення механічних пошкоджень рам кузовів тепловозів та їх візків. В роботі [2] наведено типові місця виникнення механічних пошкоджень рам кузовів та візків тепловозів серії 2TE10, що працюють на магістральних коліях переважно здійснюючи вивізну роботу та коліях промислових підприємств у кар'єрах, здійснюючи маневрові роботи. Проте в цій роботі також детально не досліджується виявлені типи механічних пошкоджень залежно від впливу умов їх експлуатації. Тому в цій роботі пропонується зупинитись на цих питаннях та детальніше їх дослідити.

Мета статті – аналізування механічних пошкоджень несних конструкцій тепловозів промислового залізничного транспорту залежно від роду виконуваних робіт та умов експлуатації, насамперед кліматичних та агресивних умов навколишнього середовища.

Матеріал та результати досліджень. У період з 2018 по 2024 роки спеціалістами Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») на коліях промислових підприємств України були проведені науково-експериментальні дослідження несних металоконструкцій кузовів і візків тепловозів державних та приватних власників, побудованих у 1963-2002 роках. Об'єктами науково-експериментальних досліджень стали тепловози промислового призначення з завершеним строком служби:

- маневровий тепловоз серії ЧМЕЗ всіх модифікацій, капотного типу з електричною передачею, виробництва виробничого об'єднання ЧКД-Прага;
- маневрові тепловози серій ТЕМ1, ТЕМ2, ТЕМ15, ТЕМ18 всіх модифікацій, капотного типу з електричною передачею, виробництва Брянського машинобудівного заводу та Ворошиловградського тепловозобудівного заводу;
- маневрові тепловози серій ТГМ4, ТГМ6 всіх модифікацій, капотного типу з гідравлічною передачею, виробництва Людиновського тепловозобудівного заводу;
- маневрово-вивізний тепловоз серії ТЕМ7, капотного типу з електричною передачею, виробництва Людиновського тепловозобудівного заводу;
- тепловоз серії 2TE10 всіх модифікацій, кузовного типу з електричною передачею, виробництва Ворошиловградського тепловозобудівного заводу;
- тепловоз серії 2TE116 всіх модифікацій, кузовного типу з електричною передачею, виробництва Ворошиловградського тепловозобудівного заводу;
- тепловоз серії М62 всіх модифікацій, кузовного типу з електричною передачею, виробництва Ворошиловградського тепловозобудівного заводу;
- маневровий тепловоз серії ТГМ40 всіх модифікацій, капотного типу з гідравлічною передачею, виробництва Камбарського машинобудівного заводу;
- маневровий тепловоз серії ТГМ23 всіх модифікацій, капотного типу з гідравлічною передачею, виробництва Муромського тепловозобудівного заводу;
- маневровий тепловоз серії ТГК2 всіх модифікацій, капотного типу з гідравлічною передачею, виробництва Калужського машинобудівного заводу.

Зовнішній вигляд деяких із вищезазначених типів тепловозів промислового залізничного транспорту, яким проведено науково-експериментальні дослідження несних металоконструкцій кузовів і їх візків, зображено на рис. 1.

У цей період було виконано технічне діагностування 437 тепловозам зазначених типів та їх модифікацій, що експлуатувалися з різними навантаженнями, кліматичними умовами та різним ступенем агресивності навколишнього середовища.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



і)



к)



л)



м)

Рис. 1. Тепловози промислового залізничного транспорту типу:

*а – ТГМ4; б – ТГМ6; в – ТГМ23; г – ТЕМ2; д – ТЕМ7; е – ТЕМ15; ж – ЧМЕЗ; з – 2ТЕ10;
і – 2ТЕ116; к – М62; л – ТГМ40; м – ТГК2*

Науково-експериментальні дослідження несних металоконструкцій кузовів і візків тепловозів було проведено згідно вимог типових методик [8, 9] з використанням ультразвукового, магнітопорошкового, капілярного та інших методів неруйнівного контролю за вимогами [10-12].

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Під час аналізу механічних пошкоджень було прийнято таку класифікацію умов експлуатації тепловозів промислового залізничного транспорту:

- за родом виконання робіт: маневрово-вивізні, маневрові, вивізні;
- за кліматичними умовами: помірні та помірні з підвищеною вологістю;
- за агресивністю умов середовища: звичайні, з підвищеним вмістом пилу (робота у різного типу кар'єрах), з підвищеними температурами (металургійні, сталеплавильні, гірничо-збагачувальні комбінати), з підвищеним вмістом хімічних сполук (хімічні підприємства).

Тепловоз, у якого завершився строк служби підлягає виключенню з інвентарного парку за наявності одного з наступних механічних пошкоджень рами:

- тріщина одного з швелерів хребтової балки;
- тріщини, розриви у вузлі з'єднання хребтової балки з кронштейном опори;
- горизонтальний, більший за 100 мм або вертикальний прогин, більший за 200 мм хребтової балки;
- відхилення від площинності рами більше ніж 75 мм;
- вертикальний прогин в середній частині рами 100 мм і більше (для тепловозів пошкоджених при пожежах).

Візок тепловоза підлягає виключенню з експлуатації за наявності одного з наступних пошкоджень:

- тріщини (тріщина) зварних швів у місці з'єднання поздовжньої і поперечної балки рами, які виходять на елементи зварювальних вузлів;
- тріщина вертикального листа поперечної балки рами з переходом на горизонтальний лист;
- дві та більше тріщин елементів поздовжньої або поперечної балки рами незалежно від їхнього місця розташування, напрямку і розмірів;
- тріщини (тріщина) в зварних швах або основному металі поперечних та поздовжніх балок рами.

За результатами аналізу значної вибірки даних щодо механічних пошкоджень в процесі науково-експериментальних досліджень тепловозів з завершеним строком служби для різних їх умов експлуатації встановлено таке.

1. Запропоновано наступну класифікацію механічних пошкоджень несних конструкцій тепловозів та їх візків на підставі даних технічного діагностування.

ЧМЕЗ та їх модифікації: тріщина, деформація, прогин хребтової балки 1, 2 консольної частини (код 01; 02); тріщина, деформація, прогин хребтової балки 3, 4 середньої частини (код 03; 04); тріщина, деформація, прогин шворневої балки 1, 2 лівої сторони (код 05; 06); тріщина, деформація, прогин шворневої балки 1, 2 правої сторони (код 07; 08); тріщина, деформація, прогин поперечної балки 1, 2 (код 09; 10); тріщина, деформація, прогин буферного бруса 1, 2 лівої сторони (код 11; 12); тріщина, деформація, прогин буферного бруса 1, 2 правої сторони (код 13; 14); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 15). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 16); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки (код 17); тріщина, деформація, прогин поперечної балки (код 18).

ТГМ4, ТГМ6 та їх модифікації: тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (ліва сторона) (коди 01-04); тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (права сторона) (коди 05-08); тріщина, деформація, прогин кронштейну опори 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (коди 09-16); тріщина, деформація, прогин кронштейна (код 17); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 18). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 19); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки (код 20); тріщина, деформація, прогин поперечної балки (код 21).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ТЕМ1, ТЕМ2, ТЕМ15 та їх модифікації: тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (ліва сторона) (коди 01-04); тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (права сторона) (коди 05-08); тріщина, деформація, прогин листа настилу верхнього (код 09); тріщина, деформація, прогин листа настилу нижнього (код 10); тріщина, деформація, прогин поперечного листа (код 11); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 12); тріщина, деформація, прогин кронштейну опори 1, 2, 3, 4 (коди 13-16). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 17); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки (код 18); тріщина, деформація, прогин поперечної балки (код 19).

ТЕМ7: тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (ліва сторона) (коди 01-04); тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (права сторона) (коди 05-08); тріщина, деформація, прогин листа настилу верхнього (код 09); тріщина, деформація, прогин листа настилу нижнього (код 10); тріщина, деформація, прогин поперечного листа (код 11); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 12); тріщина, деформація, прогин кронштейну опори 1/5, 2/6, 3/7, 4/8 (коди 13-16). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 17); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки (код 18); тріщина, деформація, прогин бокової балки проміжної рами (код 19); тріщина, деформація, прогин шворневої балки проміжної рами (код 20).

ТЕМ18: тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (ліва сторона) (коди 01-04); тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (права сторона) (коди 05-08); тріщина, деформація, прогин кронштейну опори 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (коди 09-16); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 17); тріщина, деформація, прогин листа настилу верхнього (код 18); тріщина, деформація, прогин поперечного листа (код 19). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 20); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки в середині (код 21); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки ззовні (код 22); тріщина, деформація, прогин поперечної балки (код 23).

ТЕ10, ТЕ116, М62 та їх модифікації: тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (ліва сторона) (коди 01-04); тріщина, деформація, прогин поздовжньої балки 1, 2, 3, 4 (права сторона) (коди 05-08); деформація, прогин кронштейну опори 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (коди 09-16); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 17); тріщина, деформація, прогин листа настилу верхнього (код 18); тріщина, деформація, прогин поперечного листа (код 19). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 20); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки (код 21); тріщина, деформація, прогин бокової поперечної балки (код 22).

ТГМ40 та його модифікації: тріщина, деформація, прогин хребтової балки 1, 2, 3, 4 (ліва сторона) (коди 01-04); тріщина, деформація, прогин хребтової балки 1, 2, 3, 4 (права сторона) (коди 05-08); деформація, прогин кронштейну опори 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (коди 09-16); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 17). **Візки:** тріщина, деформація, прогин бокової балки (код 18); тріщина, деформація, прогин кінцевої балки (код 19); тріщина, деформація, прогин бокової поперечної балки (код 20).

ТГМ23, ТГК2 та їх модифікації: тріщина, деформація, прогин хребтової балки 1, 2 консольної частини (коди 01-02); тріщина, деформація, прогин хребтової балки 3, 4 середньої частини (коди 03-04); тріщина, деформація, прогин лобового листа (код 05); тріщина, деформація, прогин кронштейну настилу (код 06); тріщина, деформація, прогин поперечної балки 1, 2, 3 настилу (коди 07-09); тріщина, деформація, прогин обносного поясу (код 10); тріщина, деформація, прогин верхнього поясу

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

права сторона 1, 2 (коди 11-12); тріщина, деформація, прогин верхнього поясу ліва сторона 1, 2 (коди 13-14).

2. Визначено, що найбільше механічних пошкоджень зафіксовано у несних конструкціях тепловозів, які здійснюють переважно маневрові роботи з високою інтенсивністю співударів та експлуатуються в помірних кліматичних умовах з підвищеною вологістю, а також металургійних та хімічних підприємствах з підвищеною температурою та підвищеним вмістом хімічних сполук відповідно. До маневрових робіт з високою інтенсивністю слід віднести роботи у кар'єрах, металургійних підприємствах, морських портах тощо. У свою чергу, механічних пошкоджень у несних конструкціях тепловозів за умов дотримання правил технічної експлуатації та ремонту, які займаються вивізними та маневрово-вивізними роботами за помірних кліматичних умов та звичайних неагресивних умов середовища, практично не зафіксовано.

3. Виключено з інвентарного парку 3 з-поміж 437 тепловозів, яким проводилось технічне діагностування, за наявності таких механічних пошкоджень:

Тепловоз типу ТГМ4, 1985 року побудови: тріщина довжиною 150 мм поперечної перегородки між повздовжніми балками хребтової балки в зоні паливного баку; тріщина довжиною 90 мм правої повздовжньої балки хребтової в зоні паливного баку; тріщина довжиною 30 мм лівої повздовжньої балки хребтової між заклепками в зоні розташування заднього стяжного ящика ударно-поглинального апарату; прогин повздовжніх балок та хребтової балки в консольній частині тепловоза до 20 мм (в районі кабіни машиніста).

Тепловоз типу ТГМ23В48, 1991 року побудови: горизонтальна тріщина довжиною 140 мм правого вертикального листа хребтової балки в зоні кріплення заднього стяжного ящика ударно-поглинального апарату; тріщина довжиною 130 мм правого вертикального листа заднього стяжного ящика в зоні упора ударно-поглинального апарату; деформація правого вертикального листа хребтової балки в зоні кріплення заднього стяжного ящика ударно-поглинального апарату розмірами 410x35 мм.

Тепловоз типу ТЕМ2М, 1987 року побудови: деформація хребтової балки (вигин до 85 мм) рами кузова тепловоза в районі кабіни машиніста (рис. 2, а); чотири Г-образні ремонтні накладки на вертикальних стінках правого та лівого двотаврів хребтової балки рами кузова тепловоза, у вузлі з'єднання хребтової балки з кронштейном опори в районі кабіни машиніста розміром (400x300 мм) (рис. 2, б); чотири ремонтні накладки на нижніх горизонтальних полицях правого та лівого двотаврів хребтової балки рами кузова тепловоза, у вузлі з'єднання хребтової балки з кронштейном опори в районі кабіни машиніста розміром (300x300 мм); відхилення від площинності рами більше ніж 75 мм.

4. Визначено, що інтенсивність механічних пошкоджень не залежить від типу тепловозу, а в значній мірі залежить від умов експлуатації цього тепловозу, зокрема роду та інтенсивності виконуваних робіт, кліматичних умов та агресивності умов навколишнього середовища.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



а

б

Рис. 2. Дефекти несної конструкції тепловоза:

а – деформація хребтової балки (вигин до 85 мм); б – ремонтні накладки на вертикальних стінках правого та лівого двотаврів хребтової балки рами кузова

5. Визначено, що найбільш характерним типом механічних пошкоджень для тепловозів, що здійснюють вивізні та маневрово-вивізні роботи є тріщини та деформації (прогини) листів у середніх частинах хребтових балок. Для тепловозів, що здійснюють маневрові роботи значної інтенсивності в кар'єрах, металургійних комбінатах, морських портах найбільш характерним типом механічних пошкоджень є горизонтальні тріщини в листах поздовжніх хребтових балок в консольній частині тепловоза в зоні упора ударно-поглинального апарату, прогин повздовжніх балок хребтової балки в консольній частині тепловоза, деформація листів хребтової балки в зоні кріплення заднього стяжного ящика ударно-поглинального апарату.

Висновки. За результатами виконаних науково-експериментальних досліджень щодо аналізу механічних пошкоджень тепловозів промислового залізничного транспорту запропоновано класифікацію механічних пошкоджень їх несних конструкцій; визначено експлуатаційні умови тепловозів, за яких зафіксовано найбільша кількість механічних пошкоджень несних конструкцій та існує висока ймовірність їх виникнення; детально перераховані механічні пошкодження тепловозів, за якими ті було виключено з інвентарного парку промислових підприємств; встановлено відсутність залежності виникнення механічних пошкоджень від типу обстежуваного тепловозу, проте визначено, що існує залежність кількості механічних пошкоджень від умов експлуатації тепловоза; визначено найбільш характерні типи механічних пошкоджень залежно від роду виконуваних робіт та умов експлуатації. В цілому у більшості випадків (за виключенням поодиноких випадків) пошкодження механічного характеру несних конструкцій на кожному із розглянутих типів обстежуваних тепловозів з завершеним строком служби відсутні, що свідчить про наявність запасу міцності цих конструкцій та можливості подовження строку служби тепловозам на визначений термін за умови виконання призначеного виду ремонту. Отримані результати науково-експериментальних досліджень щодо аналізу механічних пошкоджень тепловозів промислового залізничного транспорту дозволять у подальшому удосконалити методики технічного діагностування тепловозів шляхом приділення окремої уваги зонам, у яких існує найбільша ймовірність виникнення механічних пошкоджень залежно від умов експлуатації тепловозів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кара С.В., Петренко В.О., Прокопенко П.М., Гордієнко Т.М. Дослідження несучих конструкцій тепловозів серії ЧМЕЗ та визначення можливості продовження терміну їх експлуатації. *Залізничний транспорт України*. 2019. № 3. С. 9–13. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13>
2. Леонєць В.А., Кара С.В., Прокопенко П.М. Оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій тепловозів серії 2ТЕ10 та визначення можливості продовження терміну їх експлуатації. *Залізничний транспорт України*. 2019. № 4. С. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-133-4-19-28>
3. Горобець Є.В. Аналіз динаміки зносу несучих конструкцій маневрових тепловозів промислового залізничного транспорту під впливом корозії матеріалу. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2020. № 6 (90). С. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/224336>
4. Єжов Ю.В., Павленко Ю.С., Полулях С.М. Питання модернізації магістральних тепловозів 2ТЕ116 в Україні. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. 2020. Вип. 21. С. 78–96. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309.2020.21.78-96>
5. Матяш В.О., Бова М.М. Підвищення ефективності роботи тепловоза серії 2ТЕ116 шляхом його модернізації. *Залізничний транспорт України*. 2018. № 1. С. 57–63.
6. Павленко Ю.С., Войтенко О.І., Полулях С.М. Питання модернізації маневрових тепловозів ТГМ6 в Україні. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. 2023. Вип. 26. С. 25–39. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2023-26-25-39>
7. Леонєць В.А. Вплив тривалої експлуатації залізничного рухомого складу на працездатність його несучих конструкцій. *Залізничний транспорт України*. 2017. № 1. С. 24–31.
8. М 4.1.00740. Технічне діагностування та оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій тепловозів з метою подовження їх терміну служби. *Методика технічного діагностування*. Кременчук, ДП «УкрНДІВ», 2018. 46 с.
9. М 4.1.00740. Технічне діагностування та оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій тепловозів з метою подовження їх терміну служби. *Методика технічного діагностування (зі змінами та доповненнями)*. Кременчук, ДП «УкрНДІВ», 2018. 56 с.
10. ДСТУ EN ISO 3059:2016 (EN ISO 3059:2012, IDT; ISO 3059:2012, IDT) Неруйнівний контроль. Капілярний та магнітопорошковий контроль. Умови огляду. Чинний від 01.08.2016. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 10 с.
11. ДСТУ EN ISO 16823:2016 (EN ISO 16823:2014, IDT; ISO 16823:2012, IDT) Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Метод проходження. Чинний від 01.08.2016. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 15 с.
12. ДСТУ EN 13018:2017 (EN 13018:2016, IDT) Неруйнівний контроль. Візуальний контроль. Загальні принципи. Чинний від 01.10.2017. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 8 с.

A.O. Sulym

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-03-54, E-mail: sulim1.ua@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

Yu.S. Pavlenko

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-12-57, E-mail: usp.mmm.un@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8612-3228>

O.M. Biletskyi

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-12-57, E-mail: biletskyi81@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1729-2777>

AN OVERVIEW OF MECHANICAL DAMAGES TO LOAD-BEARING STRUCTURES OF INDUSTRIAL RAILWAY DIESEL LOCOMOTIVES WITH AN EXPIRED SERVICE LIFE

The article substantiates the need for scientific and experimental research aimed at obtaining new knowledge about the influence of the environment, the type of work performed, and other operating conditions on the bearing structures of bodies and bogies of industrial railway locomotives, namely, the occurrence of mechanical damage in these structures. The technical condition of the bearing structures of industrial railroad locomotives is assessed.

The results of scientific and experimental studies of non-supporting metal structures of bodies and bogies of diesel locomotives of industrial railway transport of various types, which have an expired service life and have been in operation from 25 to 50 years, are analyzed according to the criterion of mechanical damage. At the same time, the objects of research are geographically located in different regions of Ukraine, had different loads and environmental impact.

The classification of mechanical damage to the bearing structures of diesel locomotives and their bogies based on the obtained technical diagnostic data is proposed. The classification of operating conditions of industrial railway locomotives depending on their operating conditions is proposed. The criteria for excluding a diesel locomotive from the inventory fleet in the presence of mechanical damage are given. The operating conditions, under which the greatest number of mechanical damages were recorded, are identified. The detailed mechanical damages of the bearing structures of diesel locomotives that were subject to write-off from the inventory of enterprises are listed.

It has been determined that the intensity of mechanical damage does not depend on the type of diesel locomotive, but largely depends on the operating conditions of this locomotive. The most characteristic types of mechanical damage to the bearing structures of diesel locomotives have been determined, depending on the type of work performed. In most cases, there are no mechanical damages to the bearing structures of the examined types of locomotives, and their condition is assessed as satisfactory, with the possibility of extending their service life.

Key words: bogie, mechanical damage, load-bearing structure, industrial railway transport, service life, diesel locomotive.

REFERENCES

1. Kara, S.V., Petrenko, V.O., Prokopenko, P.M., & Hordienko, T.M. (2019). Doslidzhennia nesuchykh konstruksii teplovoziv serii ChME3 ta vyznachennia mozhyvosti prodovzhennia terminu yikh ekspluatatsii [Study of load-bearing structures of CHME3 series diesel locomotives and determination of the possibility of extending their service life]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy - Railway transport of Ukraine*, 3, 9–13. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13> [in Ukrainian]
2. Leonets, V.A., Kara, S.V., & Prokopenko, P.M. (2019). Otsinka zalyshkovoho resursu nesuchykh konstruksii teplovoziv serii 2TE10 ta vyznachennia mozhyvosti prodovzhennia terminu yikh ekspluatatsii [Estimation of the residual service life of bearing structures of 2TE10 series locomotives and determination of the possibility of extending their service life]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy - Railway transport of Ukraine*, 4, 19–28. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-133-4-19-28> [in Ukrainian]
3. Horobets, Ye.V. (2020). Analiz dynamiky znosu nesuchykh konstruksii manevrovyykh teplovoziv promyslovoho zaliznychnoho transportu pid vplyvom korozii materialu [Analysis of the dynamics of wear of

bearing structures of shunting diesel locomotives of industrial railway transport under the influence of material corrosion]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu - Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipro National University of Railway Transport*, 6 (90), 57–65. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/224336> [in Ukrainian]

4. Yezhov, Yu.V., Pavlenko, Yu.S., & Poluliakh, S.M. (2020). Pytannia modernizatsii mahistralnykh teplovoziv 2TE116 v Ukraini [Issues of modernization of mainline diesel locomotives 2TE116 in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of research papers «Railbound rolling stock»*, 21, 78–96. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309.2020.21.78-96> [in Ukrainian]

5. Matiash, V.O., & Bova, M.M. (2018). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty teplovoza serii 2TE116 shliakhom yohomodernizatsii [Increasing the efficiency of the 2TE116 series diesel locomotive by its upgrading]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy - Railway transport of Ukraine*, 1, 57–63 [in Ukrainian]

6. Pavlenko, Yu.S., Voitenko, O.I., & Poluliakh, S.M. (2023). Pytannia modernizatsii manevrovnykh teplovoziv THM6 v Ukraini [Issues of modernization of shunting diesel locomotives TGM6 in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of research papers «Railbound rolling stock»*, 26, 25–39. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2023-26-25-39> [in Ukrainian]

7. Leonets, V.A. (2017). Vplyv tryvaloï ekspluatatsii zaliznychnoho rukhomoho skladu na pratsezdattist yoho nesuchykh konstrukttsii [Influence of long-term operation of railway rolling stock on the performance of its bearing structures]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy - Railway transport of Ukraine*, 1, 24–31 [in Ukrainian]

8. Tekhnichne diahnostuvannia ta otsinka zalyshkovoho resursu nesuchykh konstrukttsii teplovoziv z metoiu podovzhennia yikh terminu sluzhby [Technical diagnostics and assessment of the residual life of bearing structures of heat carriers in order to extend their service life]. (2018). *M 4.1.00740. Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannia – Procedure for technical diagnostics*. Kremenchuk, DP «UkrNDIV» [in Ukrainian]

9. Tekhnichne diahnostuvannia ta otsinka zalyshkovoho resursu nesuchykh konstrukttsii teplovoziv z metoiu podovzhennia yikh terminu sluzhby [Technical diagnostics and assessment of the residual life of bearing structures of heat carriers in order to extend their service life]. (2018). *M 4.1.00740. Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannia (zi zminamy ta dopovnenniamy) - Procedure for technical diagnostics (with changes and additions)*. Kremenchuk, DP «UkrNDIV» [in Ukrainian]

10. Neruinivnyi kontrol. Kapiliarnyi ta mahnitoporoshkovyi kontrol. Umovy ohliadu [Non-destructive testing. Capillary and magnetic particle testing. Conditions of inspection]. (2016). *DSTU EN ISO 3059:2016 (EN ISO 3059:2012, IDT; ISO 3059:2012, IDT) from the 1-st August 2016*. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian]

11. Neruinivnyi kontrol. Ultrazvukovyi kontrol. Metod prokhozhenia [Non-destructive testing. Ultrasonic inspection. Method of passing]. (2016). *DSTU EN ISO 16823:2016 (EN ISO 16823:2014, IDT; ISO 16823:2012, IDT) from the 1-st August 2016*. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian]

12. Neruinivnyi kontrol. Vizualnyi kontrol. Zahalni pryntsyipy [Non-destructive testing. Visual inspection. General principles]. (2017). *DSTU EN 13018:2017 (EN 13018:2016, IDT) from the 1-st October 2017*. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian].

О.М. Багров

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-11-80, E-mail: anbagrov@meta.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8984-7595>

С.М. Мірошкін

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-11-80, E-mail: lab7ukrndiv@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-5144-0101>

І.С. Пономарьова

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-11-80, E-mail: lab7ukrndiv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5541-9495>

М.І. Соляник

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-11-80, E-mail: lab7ukrndiv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7482-1874>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИВІВ ТА ЕКЗОТЕРМІЧНИХ ВСТАВОК НА ВИНИКНЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ЛИТИХ ДЕТАЛЯХ

Сучасне вагонобудування неможливо уявити без виготовлення литих деталей. Але, на жаль, ливарне виробництво стикається з розповсюдженою проблемою у цій галузі, що полягає у виникненні ливарних дефектів, таких як усадкові пористості, раковини тощо. Виробники ливарної продукції розробляють велику кількість заходів, спрямованих на зменшення кількості цих дефектів. Особливу увагу слід приділяти дефектам, що виникають у тілі вилівка без виходу на поверхні деталі, так звані внутрішні дефекти. Найрозповсюдженішими дефектами є усадкові раковини та пористості, які виникають у вилівку під час застигання та зменшення лінійних розмірів металу. Тому необхідно виконати нелегке завдання, а саме привести вилівки до одночасної кристалізації по об'єму. Це досягається використанням різноманітних методів, одним з таких, найбільш сучасним, є встановлення екзотермічних вставок. Використання екзотермічних вставок збільшує час проходження екзотермічної реакції, під час якої відбувається виділення великої кількості теплової енергії, що дозволяє металу зберігати рідкий стан тривалий час. При цьому метал з надливу живить

© Багров О.М., Мірошкін С.М., Пономарьова І.С., Соляник М.І., 2024

деталь більш рівномірно по формі. Після закінчення екзотермічної реакції матеріал вставки зберігає теплоізоляційні властивості тим, самим забезпечуючи спрямоване затвердіння.

У статті наведено результати досліджування впливу встановлених екзотермічних вставок на виникнення ливарних дефектів усадкового характеру порівняно з надливами. Дослідження було проведено на прикладі найбільш проблемної деталі – бічної рами, яка характеризується коробчастими перерізами та великою кількістю термічних вузлів. Було використано сучасне програмне забезпечення, що дозволяє на етапі проєктування ливникової системи передбачити ймовірні місця виникнення ливарних дефектів. Виконаний порівняльний аналіз ливарних процесів без надливів, з надливами та надливами з екзотермічними вставками дозволяє обрати найбільш ефективну схему, яка призведе до зменшення ймовірності виникнення ливарних дефектів та зменшити металоемність ливарної форми. Використання надливів з екзотермічними вставками може в значній мірі зменшити кількість надливів, що будуть встановлені, тим самим скоротити витрати на виробництво литва.

Ключові слова: надливи, усадкова раковина, усадкова пористість, екзотермічна вставка, критерій Ніями.

Вступ. Литі деталі продукції вагонобудування у більшості виготовляють з вуглецевих сталей марок 20ГЛ, 20ФЛ, 20ГФЛ та інших, отриманих в електричних печах. Хімічний склад, механічні властивості сталі та вимоги до внутрішніх дефектів встановлені в чинній нормативній документації, зокрема ДСТУ ГОСТ 22703:2018 [1] та ДСТУ ГОСТ 32400:2016 [2]. Коригування хімічного складу виконують на етапі варіння сталі, механічних властивостей – на етапі термічного оброблювання. Ці процеси є більш контрольованими на етапах виробництва, тоді як внутрішні дефекти виявляють, коли деталь уже вилита, тому здійснити вплив на їх виникнення неможливо. У такому разі на допомогу приходять сучасні методи та інженерні програми, які мають можливість на стадії проєктування ливникової системи визначити зони, більш схильні до виникнення ливарних дефектів усадкового характеру, задля коригування ливникової системи з встановленням елементів, що дозволяють виконати коригування температурного впливу.

1. Аналіз технологій виготовлення литих деталей продукції вагонобудування

У цілому послідовність технологічного процесу виготовлення литої деталі така:

1. Виготовлення форм і стрижнів деталі.
2. Складання форми.
3. Заливання деталі.
4. Охолодження деталі у формі.
5. Вибивання деталі з форми.
6. Виявлення та усунення дефектів технологічного походження.
7. Термічне оброблювання.
8. Механічне оброблювання.

На теперішній час під час виробництва литих деталей вагонобудування використовують такі технології.

Лиття в піщані форми, ущільнення струшуванням і пресуванням – піщане формування (ПФ)

Розплавлений метал заливають у роз'ємну форму, піщинки якої пов'язані між собою добавками глини, води та інших зв'язувальних компонентів. Ливарна суміш

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ущільнюється в опоках вручну або на механічних, або на автоматичних формувальних лініях (АФЛ) спочатку за допомогою вібрації, а потім пресом.

Найпоширенішими сумішами для лиття в піщану форму є піщано-глинисті суміші (ПГС) і піщано-смоляні суміші (ПСС).

Робота із ПГС дозволяє досягти високої продуктивності за відносної дешевизни процесу, оскільки вартість початкових матеріалів порівняно низька, а відпрацьована суміш піддається регенерації.

Технологія ПГС є найбільш відпрацьованою і добре вивченою з усіх розглянутих технологій. ПГС впроваджена на багатьох підприємствах України.

Вакуумно-плівкове формування (ВПФ, V-процес)

Розплавлений метал заливають у роз'ємну форму із сухого піску без зв'язувальних компонентів. Ливарна суміш ущільнюється на АФЛ за допомогою струшування та завдяки вакууму, що створюється між нижньою натягнутою на модель плівкою, опокою та верхньою плівкою.

Якість продукції та умови виробництва:

- шорсткість поверхні виливків ~ 100 мкм для сталі;
- можливість отримувати особливо точні геометричні розміри, площинність і грані виливків;
- у результаті забезпечуються мінімальні припуски на механічне оброблення литих деталей і точне відтворення форм і маркування;
- можливість виготовлення тонкостінних і довгих сталевих виливків;
- можливість відтворення формувального ухилу до 0° або негативних ухилів за допомогою відніманих частин моделі;
- екологічність – мінімум забруднень робочої зони цеху і відходів ливарної суміші.

Поточні витрати:

- зниження маси сплавів, що заливаються, на 10–20 % шляхом зменшення ливарних надливів і припусків на механічне оброблення;
- скорочення витрат на витратні матеріали – додаткові витрати необхідні тільки на плівку при економії за всіма іншими статтями; для ПФ – значні витрати на регенерацію ливарної суміші ~ 50 % (пісок, бентоніт тощо), вивезення паленої землі у «відвали»;
- скорочення частки браку до 1–2 % завдяки зменшенню умов для виникнення «гарячих тріщин»;
- зменшення витрат на термічне й механічне оброблення (шляхом скорочення ливарних припусків); затрати часу на механічне оброблення знижуються приблизно на 30–40 %; можливість вибивання виливків за високих температур.

У підсумку, залізничні виливки, отримані V-процесом, можуть бути на 25–30 % дешевші, ніж аналогічні виливки, отримані піщаним формуванням.

Капітальні витрати: V-процес не вимагає приготування й регенерації ливарних сумішей (тільки охолодження й транспортування звичайного сухого кварцового піску). Пісок у V-процесі циркулює в обігу з найпростішим видаленням різних включень та охолодженням.

Лиття у форми з холодно-твердких сумішей (ХТС)

No-bake-процес охоплює два його різновиди: Фуран-процес та Альфа-сет.

Розплавлений метал заливають у роз'ємну форму, піщинки якої пов'язані за допомогою синтетичної смоли. Ливарна суміш ущільнюється на АФЛ вібрацією та пресуванням.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Цей спосіб виготовлення форм широко поширився завдяки своїй простоті та можливості виробляти найрізноманітніші типи виливків. Але, як показав світовий досвід, лиття у форми з ХТС генерує підвищені поточні витрати й дозволяє випускати деталі гіршої якості, ніж V-процес. Особливо гострою проблемою є низька екологічність сумішей зі смоляними зв'язувальними компонентами, що призводить до великого обсягу відходів і виділення шкідливих газів у робочу зону цеху.

Таким чином, згідно з результатами аналізу особливостей технологій виготовлення [3, 4], що використовують на підприємствах, можна зробити висновок, що для розгляду доцільно використовувати ПГС формування, яке має широке застосування. Вакуумно-плівкове формування має ряд переваг, а саме, високу чистоту поверхні виливків, відсутність необхідності регенерації формувальної суміші й порівняно екологічну чистоту процесу. Проте витрати на енергоносії і організацію виробництва вище на 10–20 %, а саме виробництво вимагає додаткових капіталовкладень на переобладнання. Тому ця технологія ще не має масового впровадження. Використання технології формування ХТС доцільно для виготовлення особливо великих виливків, і тільки за відсутності жодної альтернативи. Пов'язано це з тим, що витрати на формувальні матеріали й організацію виробництва набагато вищі, ніж у ПГС і ВПФ, а саме виробництво є екологічно шкідливим через шкідливі зв'язувальні елементи форми.

Основою формувальних сумішей для виливання деталей вагонобудування є зворотна суміш (горіла земля) і кварцовий пісок, які змішуються з вогнетривкою глиною, деревно-вугільним піском і сульфідним лугом.

Компонентами стрижневих сумішей є сухий кварцовий пісок, мелена глина, сульфідний луг і спеціальна зв'язувальна суміш, що складається з натуральної оліфи, пляної олії та відходів перегонки сланців.

Задля підвищення податливості стрижнів за високої температури (зменшення опору вільної усадки вилівка з метою запобігання гарячих тріщин) до стрижневих сумішей додають тирсу.

Велике та середнє литво деталей вагонобудування має складну форму, тому під час лиття вимагають великої кількості стрижнів, необхідних для отримання внутрішніх порожнин.

Стрижні можуть виконуватися складеними, тобто після формування й сушіння їхні окремі частини з'єднують разом за допомогою спеціальних клеїв. Правильність з'єднання контролюють спеціальними шаблонами. Більшість стрижнів виготовляють на формувальних стрижневих машинах, а стрижні складної форми – вручну.

Для забезпечення необхідної міцності й жорсткості стрижнів у них закладають арматуру, виготовлену у вигляді окремих прутків або просторових каркасів з малоуглецевого сталевих дроту. Для полегшення відведення газів у стрижнях створюють вентиляційні канали. Збільшення здатності відведення газів, підвищення газопроникності й міцності стрижнів досягається сушінням. Сушіння стрижнів проводять у спеціальних печах за температури 210–230 °С протягом 1,5–2 годин. Після сушіння для зменшення пригару стрижні покривають дрібним кварцовим піском.

Виготовлені стрижні контролюють. При цьому перевіряють, їхню форму, щільність набивки, якість сушіння та інші можливі відхилення.

Деталі виливають у ливарні форми, що складаються з верхньої та нижньої опок (півформ). Моделі деталей виготовляють з алюмінієвих сплавів. Під час формування разом із ливниковою системою їх закріплюють на модельних плитах.

Формування проводять на формувальних машинах поточних ліній. Спочатку опоки заповнюють облицювальною, а потім наповнювальною сумішами. Суміші в опоках ущільнюються струшуванням столу формувальної машини.

Окремі зони додатково ущільнюються пневматичним трамбуванням. Після закінчення формування з опок видаляють моделі виливок. Під час виконання цієї операції часто відбуваються обвали крайок. Суміш, що обвалилась, призводить до утворення поверхневих дефектів на вилівках і тому повинна віддалятися продувкою стисненим повітрям. Зруйновані крайки відновлюють вручну.

Процес виготовлення півформ завершується створенням каналів для видалення газів, що утворюються від зіткнення розплавленого металу з формувальною землею і стрижнями, а також встановленням холодильників, жеребейок та інших технологічних елементів. Особливу увагу при цьому приділяють контролю правильності встановлення стрижнів, оскільки відхилення можуть призвести до утворення різної товщини стінок виливків. Верхню півформу кантують і стикують з нижньою.

Форми заливають на заливальній ділянці з ковшів при температурі сталі 1560–1590 °С. Збільшення температури сталі значно знижує ймовірність вторинного окислення металу, проте може призвести до утворення тріщин. Тому задля збільшення рідкоплинності сталі використовують фарбування форм покриттями. Особливу увагу приділяють швидкості заливання. Якщо швидкість заливання невисока, збільшується ймовірність появи плен, недоливів і незлитин [5, 6].

Для рівномірного й поступового охолодження виливків їх витримують протягом 1–1,5 годин безпосередньо у формах.

Вибивають півформи й стрижні з куца виливків на механізованих вибивних грахах. Потім куц виливків подають на ділянку, де видаляють дровові каркаси стрижнів з внутрішніх порожнин виливків, відрізають ливникову систему, видаляють ливарні надливи.

Вилиті деталі оглядають, виявляють можливі дефекти технологічного походження (гарячі тріщини, раковини тощо) і заварюють допустимі ливарні дефекти до термічного оброблення.

Деякі деталі залежно від необхідних механічних властивостей сталі для отримання однорідної дрібнозернистої структури та зняття внутрішніх напружень піддають нормалізуванню згідно з технологічним процесом підприємства-виробника. Загальна кількість термічних оброблень має не перевищувати трьох.

Нормалізування проводять у спеціальних печах з нагріванням до температури 920–940 °С, витримуючи в них протягом 4 години та охолоджуючи на повітрі в приміщенні цеху.

Після закінчення термічного оброблення деталі подають у дробоструминні камери для очищення виливків від пригорілої формувальної суміші. Ця операція дозволяє додатково виявляти деякі дрібні поверхневі дефекти, такі як невеликі тріщини, раковини, які можна усунути заварюванням відповідно до технологічної документації.

Процес виготовлення деталей завершується на ділянці механічного оброблення.

2. Дослідження ймовірності утворення усадкових раковин та усадкової пористості

Одним з найбільш проблемних виливків є бічна рама [7], тому дослідження утворення дефектів усадкового характеру виконаємо на цій деталі. Велика кількість закритих термічних вузлів, наявність різких переходів від тонких перерізів стінок до товстих, від коробчастих перерізів до суцільнолитих підвищує ймовірність утво-

рення ливарних дефектів у вигляді усадкових раковин, гарячих тріщин і мікропористості [8]. Задля усунення дефектів на підприємствах-виробниках залежно від технології застосовують різні методи: встановлення ливарних надливів, внутрішніх і зовнішніх холодильників, протиусадкових ребер тощо.

Досліджування ймовірності утворення дефектів усадкового характеру виконувалося із використанням програмного забезпечення LVMflow – системи моделювання ливарних процесів. У LVMflow реалізована математична модель, що описує процес заповнення форми металом, кінетику охолодження, кінетику кристалізації, утворення усадкових дефектів.

Порівняльний комп'ютерний аналіз проводили для двох варіантів ливникової системи (рис. 1). У першому випадку в місцях можливої появи дефектів були встановлені ливарні надливи, у другому випадку – ливарні надливи з екзотермічними вставками [9, 10]. Використання екзотермічних вставок дозволяє зменшити розмір ливарних надливів, отже, і металомісткість ливарної форми, знижує ймовірність виникнення дефектів усадкового характеру, при цьому збільшуючи обсяг придатного литва.

З огляду на симетрію конструкції та для оцінювання виникнення дефектів на одній половині деталі ливарні надливи не показані. Параметри заливання були вказані для сталі 20ГЛ з температурою заливання 1590 °С, критичними температурами солідус 1474 °С і ліквідус 1513 °С, час заповнення форми 35 с.

Для отримання достовірних результатів розрахунок проведено за схемою заливання з кристалізацією. Результати оцінювали за показниками усадки та критерієм Ніями [11, 12].

У ливарному виробництві критерій Ніями використовують, перш за все, для якісної ідентифікації зон у виливку, які могли б містити усадкову пористість. Усадкова пористість буде утворюватися в зонах, де критерій Ніями нижче за критичну величину. Для сталі найнебезпечнішими зонами є ті, де критерій Ніями менше за 1. Критерій Ніями є локальним термічним параметром, що його визначають за формулою (1).

$$N_{iy} = \frac{G}{\sqrt{R}}, \quad (1)$$

де G – градієнт температури;

R – швидкість охолодження.

Обидві величини взяли за певної температури поблизу кінця кристалізації.

Зміни вдосконаленої конструкції стосувалися консольної частини, тому будуть розглянуті перерізи, які характеризують запропоновані зміни (рис. 2).

Концентрація усадки в теплових вузлах і розподіл величин критерію Ніями для ливникової системи з використанням звичайних ливарних надливів представлені на рис. 3-7. Значення, що відповідають критичній величині усадки, обмежені зеленою лінією, а зона має червоний колір. Значення, що відповідають критерію Ніями менше за 1, обмежені червоною лінією.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

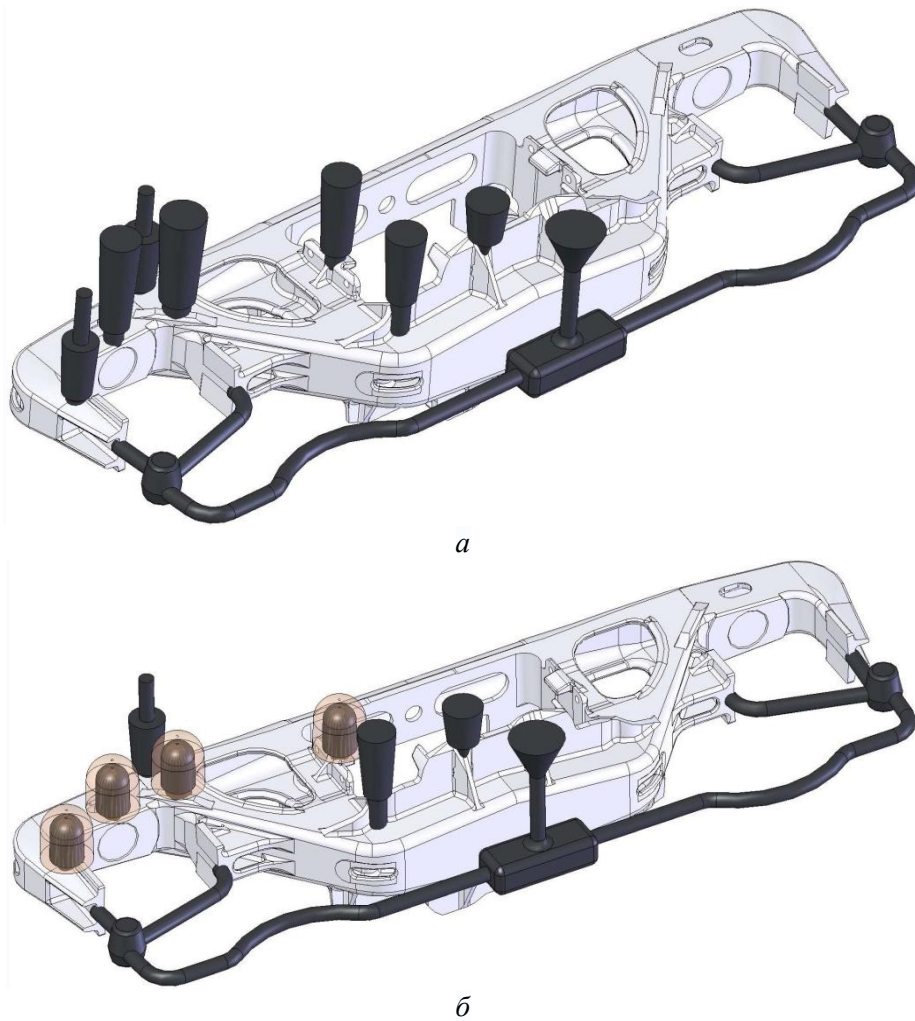


Рис. 1. Ливникова система вилівка «бічна рама»:
а – з використанням звичайних ливарних надливів; б – з використанням екзотермічних вставок

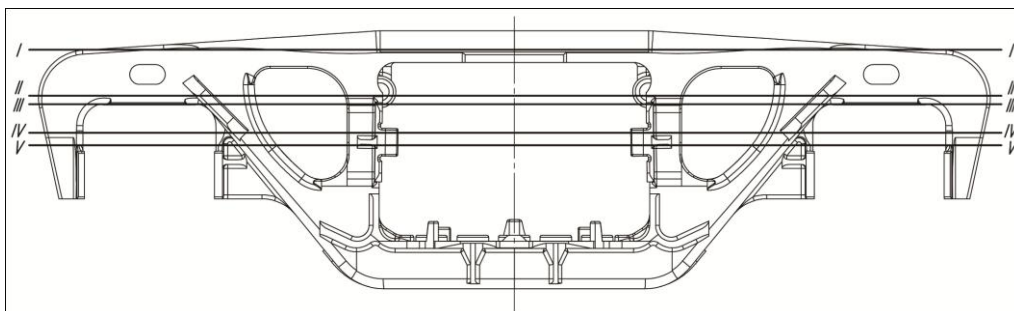


Рис. 2. Перерізи бічної рами, досліджувані на ймовірність виникнення ливарних дефектів

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

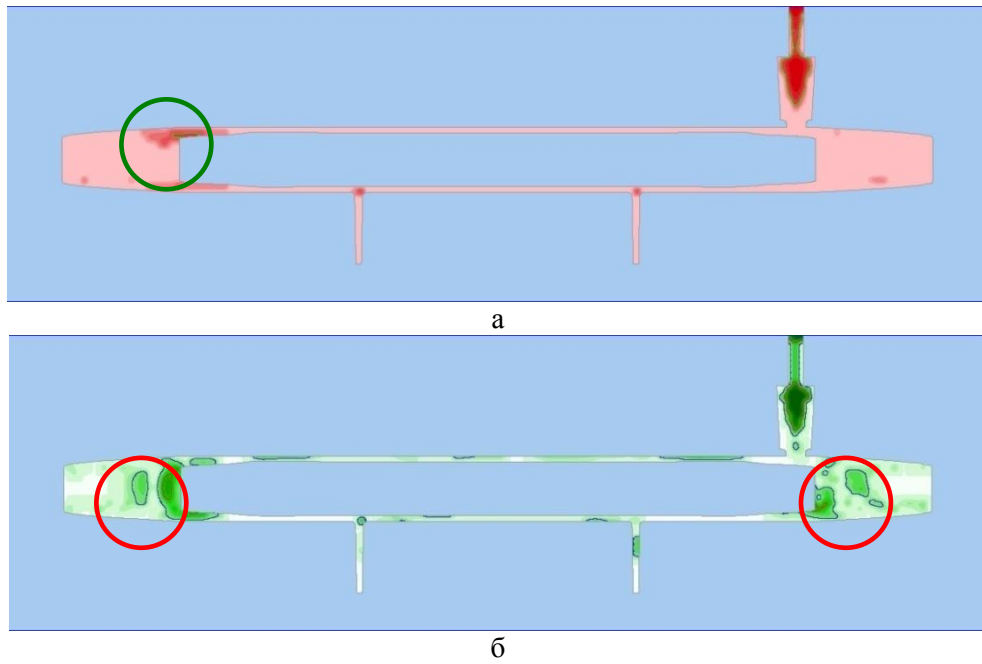


Рис. 3. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі I-I

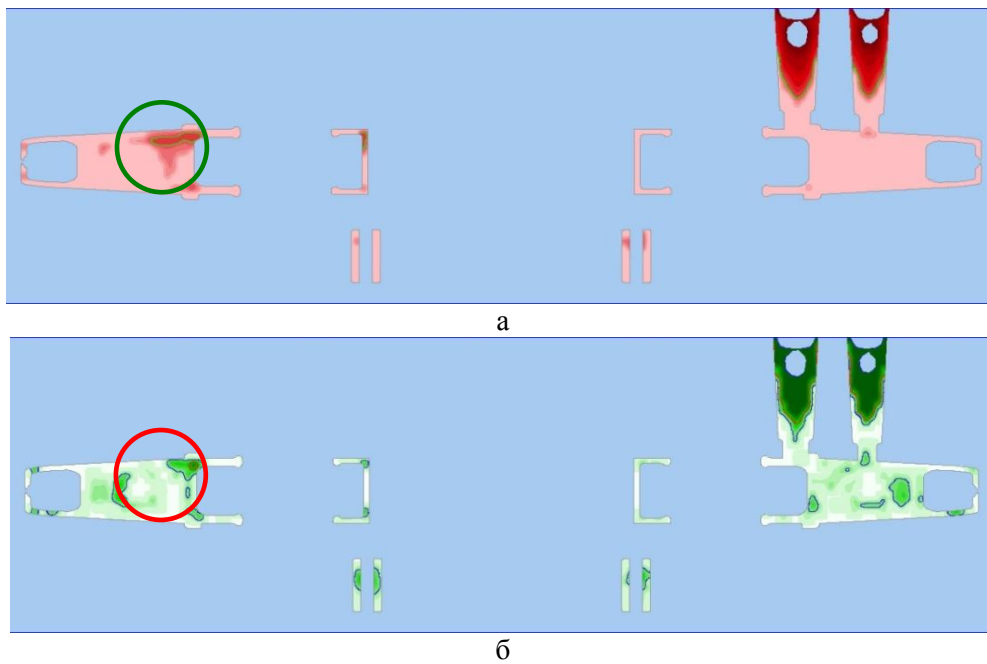
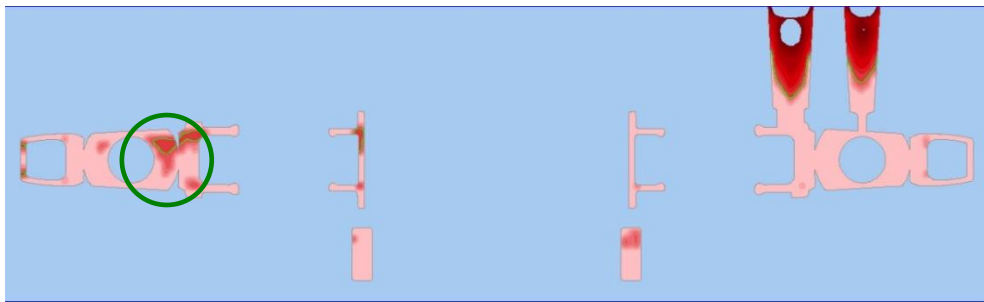


Рис. 4. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі II-II

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

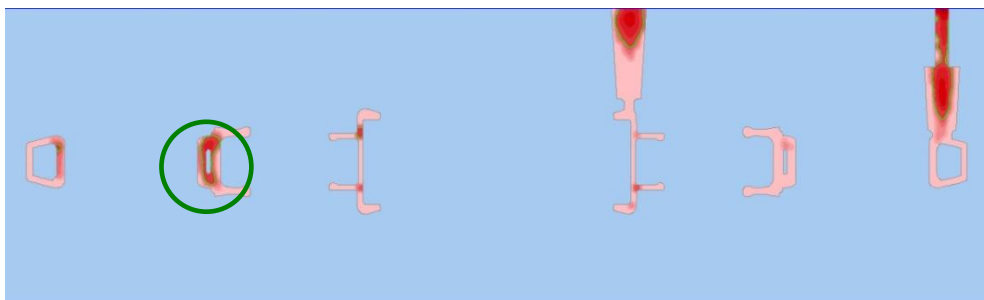


а

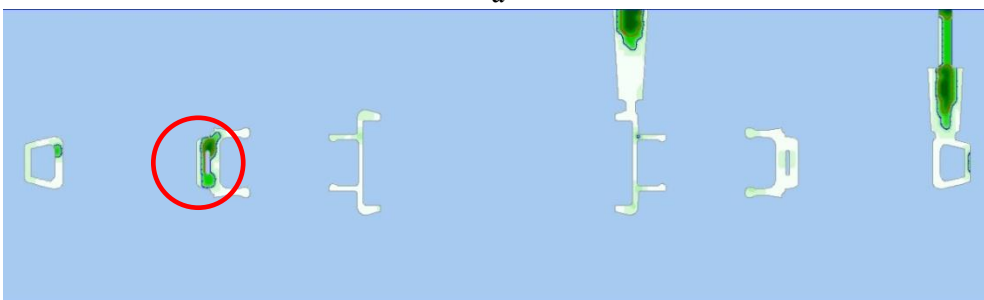


б

Рис. 5. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі III-III



а



б

Рис. 6. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі IV-IV

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

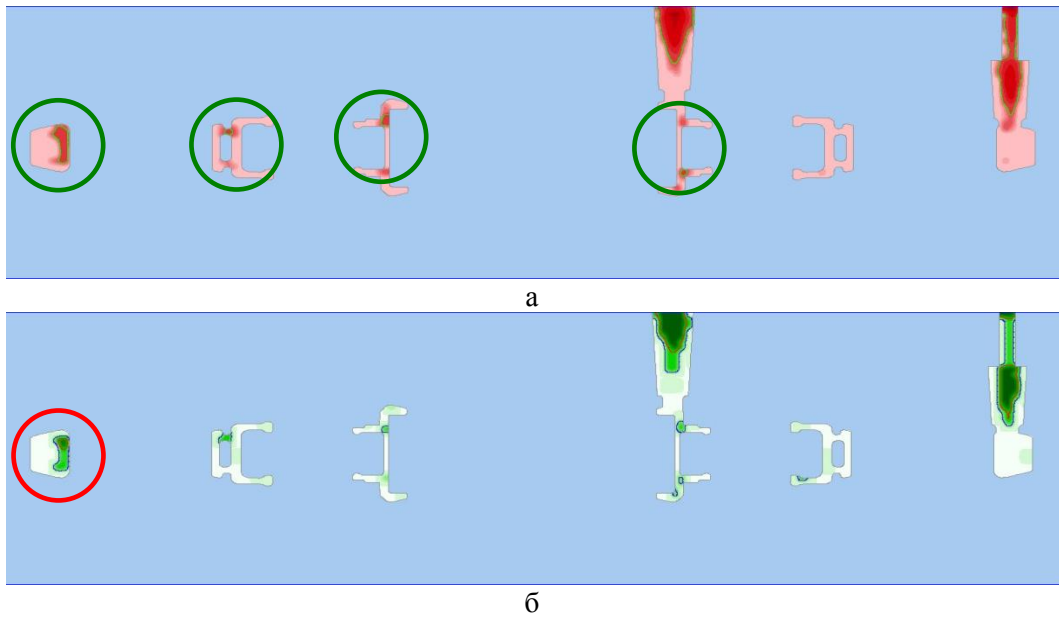


Рис. 7. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі V-V

Концентрація усадки в теплових вузлах і розподіл величин критерію Ніями для ливникової системи з використанням екзотермічних вставок представлені на рис. 8-12.

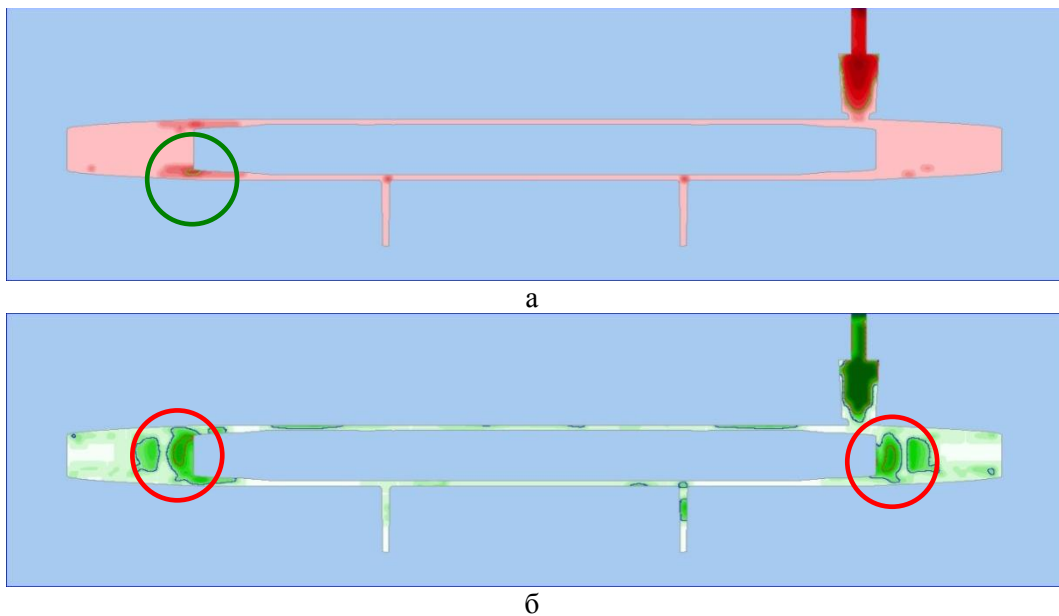


Рис. 8. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі I-I

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

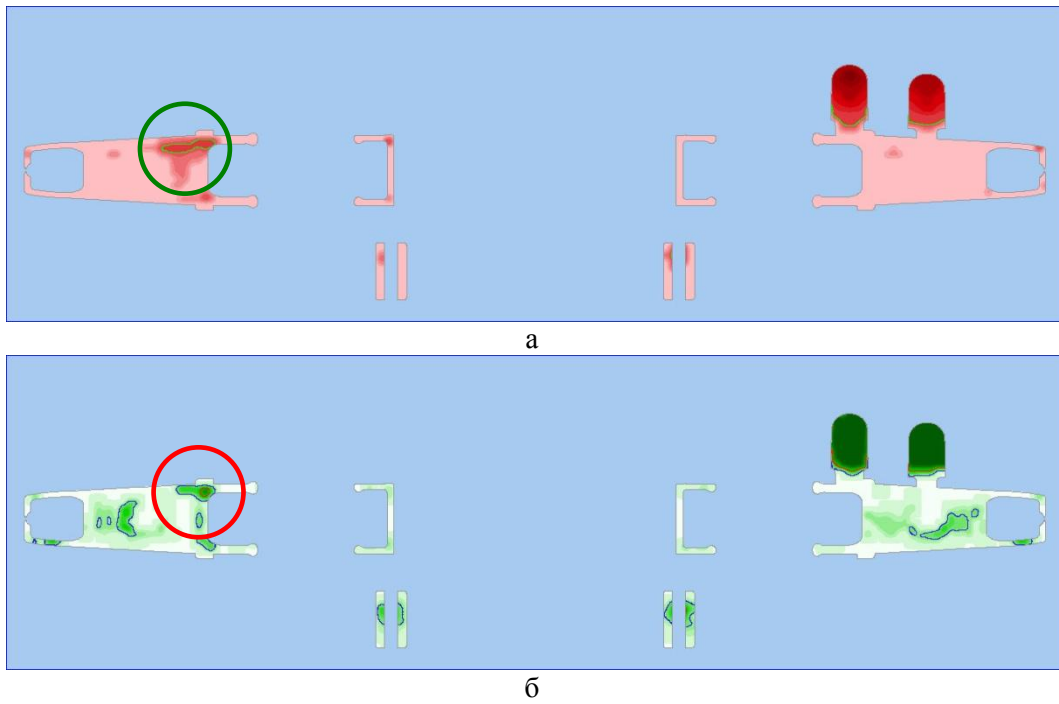


Рис. 9. Усадка в теплових вузлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі II-II

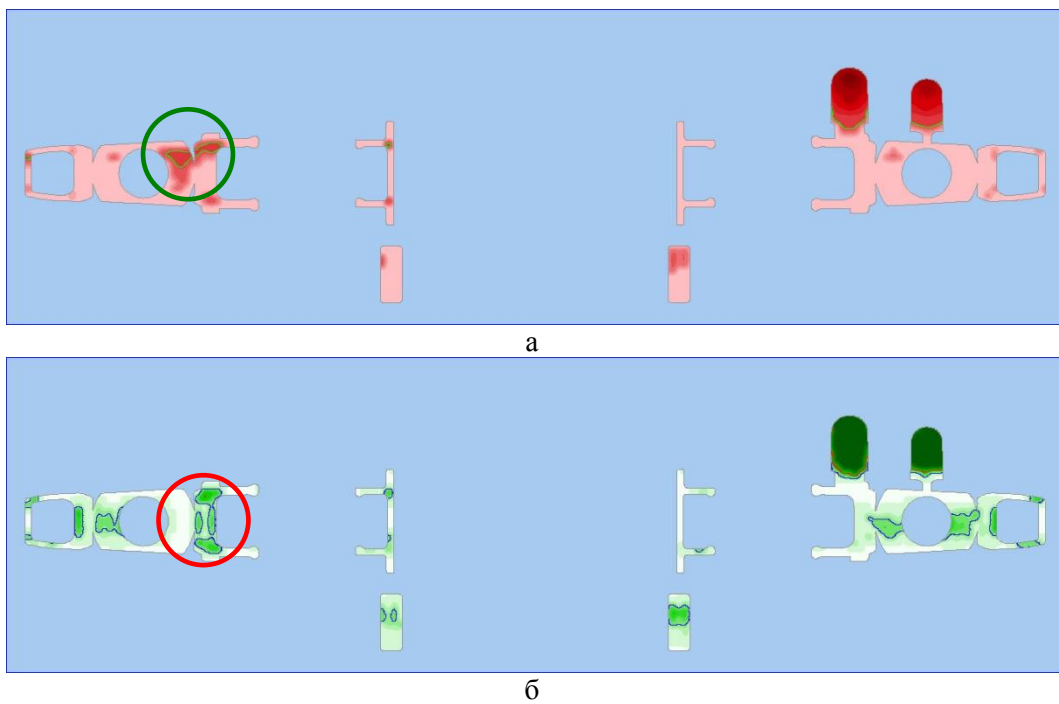


Рис. 10. Усадка в теплових вузлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі III-III

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

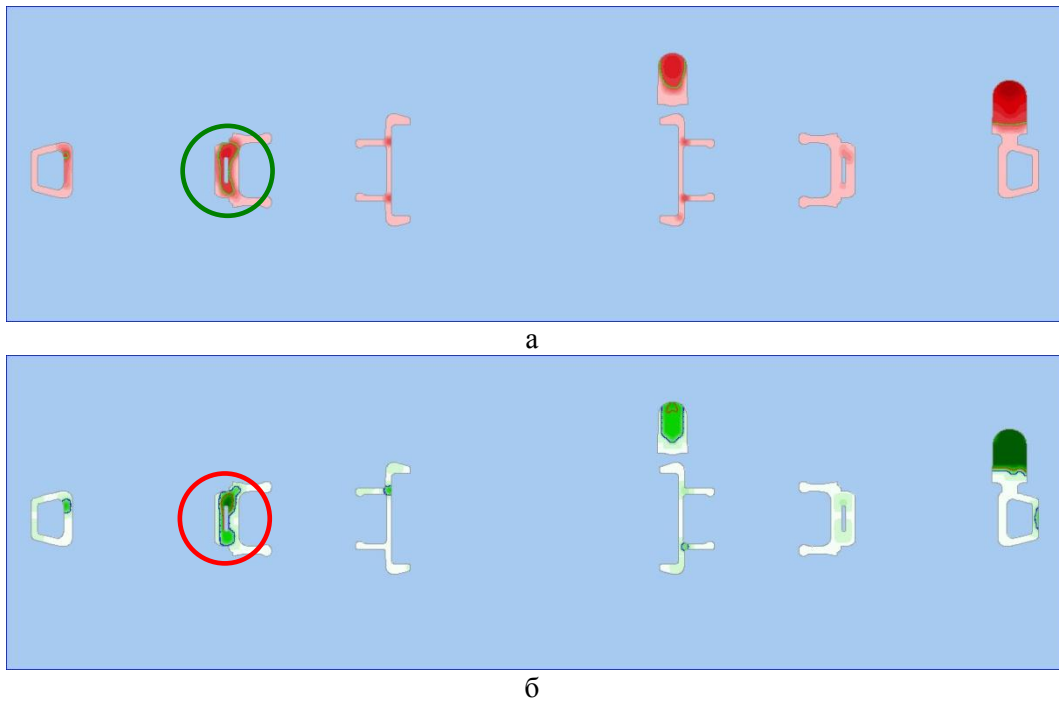


Рис. 11. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі IV-IV

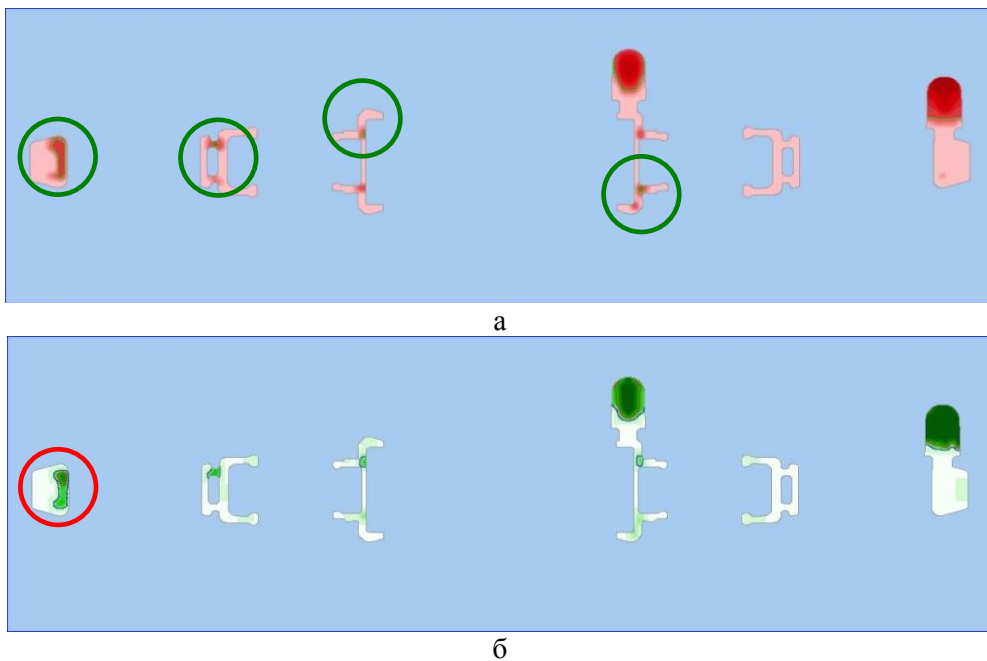


Рис. 12. Усадка в тепловых узлах (а) і розподіл величин критерію Ніями (б) в перерізі V-V

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Висновки.

Проведені дослідження показали основні місця можливого виникнення дефектів усадкового характеру, а саме: верхня стінка верхнього пояса в надбуксовій зоні, внутрішній кут прорізу під колісну пару, з'єднання нижньої стінки похилого пояса з внутрішніми щелепними напрямними, горизонтальна поличка закінчення консольної частини. У разі використання ливарних надливів утворення дефектів мінімальне, і більшість дефектів іде в ливарний надлив, а використання екзотермічних вставок дозволить істотно збільшити відсоток придатного литва, зменшити на 10–20 % металомісткість ливарної форми та знизити витрати на виробництво. Для усунення дефектів, розташованих у нижній частині півформи, доцільно застосовувати холодильники. Таким чином, під час розроблення ливниково-живильної системи в умовах підприємства-виробника на початковому етапі виконують її розрахунок, а потім шляхом численних експериментів підбирають ефективнішу.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ГОСТ 22703:2018 (ГОСТ 22703-2012, IDT) Деталі литі зчпних та автозчпних пристроїв залізничного рухомого складу. Загальні технічні умови 15с.
2. ДСТУ ГОСТ 32400:2016 (ГОСТ 32400-2013, IDT) Рама бічна та балка надресорна литі візків залізничних вантажних вагонів. Технічні умови 49с.
3. Буданов Е. Н. Семь основных мифов и заблуждений относительно литейного производства. Литейное производство. 2009. № 8. С. 2-8.
4. Буданов Е. Н. Семь основных мифов и заблуждений относительно литейного производства. Литейное производство. 2009. № 9. С. 2-10.
5. Каторгин С. В., Воронин Ю. Ф. Ликвидация вторичного окисления стали 20ГЛ с применением на формах восстановительных покрытий. Молодой ученый. 2012. №5. С. 29-32.
6. Каторгин С. В., Воронин Ю. Ф. О влиянии технологических параметров на качество отливок «Рама боковая». Молодой ученый. 2011. №11. Т.1. С. 50-52.
7. Пирайнен В. Ю., Пономаренко Г. М., Глебов С. М. Новое в проектировании технологии изготовления отливки рама боковая. Литейное производство. 2009. № 4. С. 23-26.
8. Лакедемонский А.В., Кваша Ф.С., Медведев Я.И. и др. Литейные дефекты и способы их устранения. М.: Машиностроение, 1972. 152 с.
9. Гацуро В.М., Вовся С.А. Использование экзотермических вставок при производстве стального литья – путь к экономии. Литье и металлургия. 2008. № 2(46). С. 131-133.
10. Малый А.В., Каргинов В.П., Иванов В.Г. Применение экзотермических вставок для получения качественного литья. URL: <https://lityo.com.ua/primenenie-ekzotermicheskikh-vstavok-dlya-polucheniya-kachestvennogo-litya>
11. Поляков С., Коровин В.М., Коротченко А.Ю., Баст Ю. Значение критического числа Ниямы как функция от технологических условий литья. URL: http://www.newcomrccast.ru/Artikel/Niayama/Niayama-12_2012.pdf
12. Андреев С. П., Щербина А. П. Оптимизация литниково-питающих систем отливок поршней. Двигатели внутреннего сгорания. 2005. № 2. С. 115-117.

O.M. Bahrov

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel: (05366) 6-11-80, E-mail: anbagrov@meta.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8984-7595>

S.M. Miroshkin

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel: (05366) 6-11-80, E-mail: lab7ukrndiv@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-5144-0101>

I.S. Ponomarova

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel: (05366) 6-11-80, E-mail: lab7ukrndiv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5541-9495>

M.I. Solianyk

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel: (05366) 6-11-80, E-mail: lab7ukrndiv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7482-1874>

STUDYING THE IMPACT OF THE FOUNDRY CASTING BASINS AND EXOTHERMIC INSERTS USE ON THE OCCURRENCE OF DEFECTS IN CAST PARTS

Modern railcar building is impossible to imagine without the production of cast parts. But, unfortunately, the foundry faces a common problem in this industry, i.e., the occurrence of casting defects, such as shrinkage porosity, sinks, etc. Manufacturers of foundry products are developing a large number of measures aimed at reducing the number of these defects. Particular attention should be paid to defects that occur in the body of the casting without appearing on the surface of the part, the so-called internal defects. The most common defects are shrinkage sinks and porosity, that occur in the casting during solidification and reduction of the linear dimensions of the metal. Therefore, it is necessary to accomplish a difficult task, namely to bring castings to simultaneous crystallization in volume. This is achieved by using a variety of methods, one of which is the most modern, is the installation of exothermic inserts. The use of exothermic inserts increases the time of the exothermic reaction, during which a large amount of thermal energy, which allows the metal to retain its liquid state for a long time. At the same time, the metal from the casting basin feeds the part more evenly over the shape. After the end of the exothermic reaction, the insert material retains its thermal insulation properties, thereby ensuring directional solidification.

The article presents the results of a study of installed exothermic inserts influence on the occurrence of casting defects of a shrinkage nature compared to casting basins. The study was carried out on the example of the most problematic part - the bogie side frame, which is characterized by box sections and a large number of thermal nodes. Modern software was used to predict the likely locations of casting defects at the design stage of the casting system. A comparative analysis of casting processes with/without casting basins, and foundry casting basins with exothermic inserts allows us to choose the most efficient scheme that will reduce the likelihood of casting defects and reduce the metal consumption of the casting mold. The use of exothermic inserts can signifi-

cantly reduce the number of pours to be installed, thereby reducing the cost of casting production.

Key words: *foundry casting basins, shrinkage sink, shrinkage porosity, exothermic insert, Niyama criterion.*

REFERENCES

1. Detali lyti zchipnykh ta avtozchepnykh prystroiv zaliznychnoho rukhomoho skladu. Zahalni tekhnichni umovy [Cast parts of coupling and autocoupling devices for railway rolling stock. General technical conditions] (2018). DSTU HOST 22703:2018 (HOST 22703-2012, IDT) [in Ukrainian]
2. Rama bichna ta balka nadresorna lyti vizkiv zaliznychnykh vantazhnykh vahoniv. Tekhnichni umovy [Side frame and superstructure beam for cast bogies of railway freight cars. Technical specifications]. (2016). DSTU HOST 32400:2016 (HOST 32400-2013, IDT) [in Ukrainian]
3. Budanov, E. N. (2009) Sem osnovnykh mifov i zabluzhdeniy otnositelno liteinogo proizvodstva [Seven main myths and misconceptions about foundry]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry*, 8, 2-8
4. Budanov, E. N. (2009) Sem osnovnykh mifov i zabluzhdeniy otnositelno liteinogo proizvodstva [Seven main myths and misconceptions about foundry]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry*, 9, 2-10
5. Katorgin, S. V., & Voronin, Yu. F. (2012). Likvidatsiya vtorichnogo okisleniya stali 20GL s primeneniem na formakh vosstanovitelnykh pokritii [Elimination of secondary oxidation of steel 20GL with the use of reducing coatings on the molds]. *Molodoy uchenyy - Young Scientist*, 5, 29-32
6. Katorgin S. V., & Voronin, Yu. F. (2011). O vliyaniy tekhnologicheskikh parametrov na kachestvo otlivok «Rama bokovaya» [On the influence of technological parameters on the quality of “Side frame castings”]. *Molodoy uchenyy - Young Scientist*, 11. (Vol. 1), 50-52
7. Pirainen V. Yu., Ponomarenko, G. M., & Glebov S. M. (2009). Novoe v poektirovaniy tekhnologii izgotovleniya otlivki rama bokovaya [New in designing of the casting manufacturing technology for a side frame]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry*, 4, 23-26
8. Lakedemskii, A.V., Kvasha, F.S., & Medvedev, Ya. I. (1972). Liteynye defekty i sposoby ikh ustraneniya [Foundry defects and ways of their elimination]. Moscow: «Mashinostroenie»
9. Gatsuro, V.M., & Vovsya, S.A. (2008). Ispolzovanie ekzotermicheskikh vstavok pri proizvodstve stalnogo litya – put k ekonomii [Use of exothermic inserts in steel casting production – the way to economy]. *Lite i metallurgiya - Casting and metallurgy*, 2(46), 131-133
10. Malii, A.V., Karginov, V.P., & Ivanov V.G. Primenenie ekzotermicheskikh vstavok dlya polucheniya kachestvennogo litya [Application of exothermic inserts for obtaining high-quality castings]. <https://lityo.com.ua/primenenie-ekzotermicheskikh-vstavok-dlya-polucheniya-kachestvennogo-litya>
11. Polyakov S., Korovin, V.M., Korotchenko, A.Yu., & Bast, Yu. Znachenie kriticheskogo chisla Niyami kak funktsiya ot tekhnologicheskikh usloviy litya [The value of critical Niyama number as a function of technological conditions of casting]. http://www.newcompcast.ru/Artikel/Niyama/Niyama-12_2012.pdf
12. Andreev, S. P. & Shcherbina, A. P. (2005). Optimizatsiya litnikovo-pitayushchikh sistem otlivok porshnei [Optimization of the gutter-feeding systems of the piston castings]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya - Internal Combustion Engines*, 2, 115-117

С.В. Панченко

Український державний університет залізничного транспорту
м-н. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: 057-730-10-00, E-mail: panchenko074@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>

А.О. Ловська

Український державний університет залізничного транспорту
м-н. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: 066-338-19-46, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

В.Г. Равлюк

Український державний університет залізничного транспорту
м-н. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: 095-444-59-74, E-mail: ravvg@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>

ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН КЛИНОДУАЛЬНОГО ЗНОСУ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА НАВАНТАЖЕНІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОЛОДОК ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У статті висвітлено результати виробничих обстежень гальмових систем візків вантажних вагонів, які проводилися переважно у весняно-літньо-осінній період відповідно до розробленої «Програми та методики». Обстеження виконано для напіввагонів, так як вони складають найбільший відсоток інвентарного парку. Виробничі обстеження проводилися з метою виявлення статистичних даних про несправності елементів важільних передач, які зумовлюють утворення клинодуального зносу колодок. Встановлено, що умови тертя колодок кожної колісної пари візка відрізняються між собою, також як і нормальні напруження, що підвищують експлуатаційний знос колодок. За результатами розрахунків визначено зусилля в колодці й елементах підвішування, які демонструють головну тенденцію їх чисельних змін через збільшення довжини шкідливої стертості й площі шкідливої стертості у верхній частині гальмової колодки. Це призводить до зростання питомих напружень на робочу поверхню колодки під час гальмувань відносно їх номінальних значень. Тому внаслідок зменшення ефективної площі контакту, мають місце збільшені відносно нормативів зносу колодки.

Наведено результати комп'ютерного моделювання з визначення термонапруженого стану композиційної гальмової колодки з фактичними параметрами ненормативного зносу, що виник під час експлуатації напіввагона.

© Панченко С.В., Ловська А.О., Равлюк В.Г., 2024

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Результати розрахунків показали, що максимальні напруження складають 17,4 МПа та перевищують допустимі значення на 13,8%. Це пояснюється тим, що зменшення корисного тіла колодки призводить до зменшення її робочої площі контакту, а це супроводжується збільшенням навантаженості колодки під час гальмування.

Проведені дослідження доводять негативні наслідки від клинодуального зносу композиційних колодок, що впливають на оцінку ефективності засобів гальмування і створюють небезпеку для руху поїздів. Це зумовлює необхідність створення напрямків досліджень, спрямованих на ліквідацію ненормативного зносу гальмових колодок в експлуатації.

Ключові слова: безпека руху поїздів, композиційна колодка вагона, ненормативний знос колодок, термонапружений стан колодки, транспортна механіка.

Вступ та постановка проблеми. Створення рухомого складу нового покоління повинно здійснюватися на підставі інноваційного підходу, тобто створення якісно нових конструкцій вагонів, які характеризуються високою надійністю, економічністю в експлуатації та технічному утриманні [1 – 4].

Вантажний рухомий склад, що застосовується для перевезень, повинен надійно працювати й гарантувати безпеку руху, особливо під час гальмування. У зв'язку з цим гальма є однією з найбільш важливих складових, якій повинна приділятися увага при проектуванні новітнього рухомого складу. Від рівня досконалості конструкції гальм, їх надійності, ефективності й безперебійної роботи залежить безпека руху поїздів, а також пропускна та перевізна здатність залізниць.

Техніко-економічні показники ефективності роботи вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» свідчать про те, що гальмові системи сучасних вантажних поїздів є дуже вразливими в нинішніх умовах експлуатації, і значна частина робочого вагонного парку перебуває в незадовільному стані. З огляду на це в АТ «Укрзалізниця» та науково-дослідних установах залізничного транспорту виконуються роботи, спрямовані на зменшення експлуатаційних витрат, підвищення надійності вантажних поїздів і забезпечення безпеки руху.

У результаті обстежень механічної частини гальм у візках вантажних вагонів було виявлено, що чим менше відведення колодки від колеса і кут між поверхнею обода колеса та робочою частиною колодки, тим більша довжина колодки починає зношуватися з верхнього кінця під час попущених гальм. Однак, слід зауважити, що при понаднормовому зазорі, який переважно більший внизу колодки на відміну від її верху, відбувається інтенсивний знос у верхній крайковій частині колодки (рис. 1). Це призводить до погіршення ефективності гальмувань. Також у процесі експлуатації клинодуально зношених колодок виникають поверхневі несправності коліс, від яких зазнає збитків як рухомий склад, так і залізнична колія.

Для запобігання явищу клинодуального зносу колодок необхідним є створення заходів, за яких колодки будуть зношуватися нормативно. Це дозволить використовувати їх на гарантований міжремонтний період експлуатації, а також зменшити витрати в сотні тисяч гривень на утримання вантажного рухомого складу та закупівлю нових колодок для АТ «Укрзалізниця» та інших підприємств.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

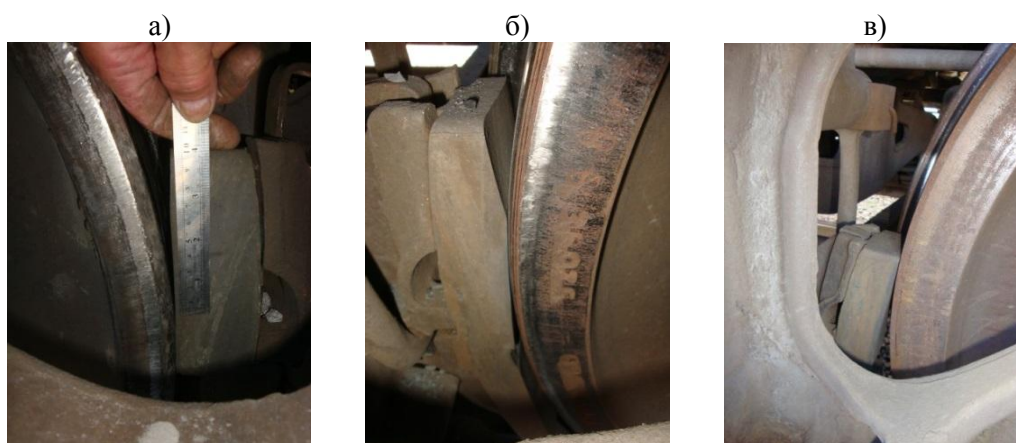


Рис. 1. Фото ненормативно зношених колодок внаслідок конструкційних особливостей ГВП

(а) – шкідлива стертість у верхній частині; (б) – розвернута колодка, яка має невелику площу контакту з колесом під час гальмування; (в) – взаємодія верхнього кінця колодки з колесом під час руху поїзда в режимі тяги та вибігу

Аналіз існуючих досліджень. Питання, які стосуються забезпечення руху вантажних поїздів є досить актуальними і насамперед залежать від надійності елементів гальм і навантаженості їх складових. Так, наприклад, у дослідженні [5] висвітлено науковий підхід для оцінювання результатів, які отримано під час натурних досліджень ефективності гальмової системи вантажних вагонів. Для дослідження процесів гальмування з використанням методів комп'ютерного моделювання пропонується застосовувати інформаційну модель у вигляді диференціального рівняння руху вагона. Сформульовано математичні моделі, що визначають характеристики гальмової системи та дають можливість оцінювати гальмову ефективність поїзда. Проте, автор при виконанні гальмових розрахунків у своєму дослідженні не врахував величину коефіцієнта клинодуальності композиційних колодок, який впливає на оцінювання дійсного гальмового шляху вантажного поїзда.

Фахівцями у працях [6, 7] наведено результати натурних досліджень поверхневих дефектів коліс від дії на них композиційних колодок. Автори пропонують застосовувати інноваційні композиційні колодки, які мають чавунні вставки, що дасть можливість зменшити кількість таких дефектів. Однак, під час огляду елементів гальмового обладнання вантажних вагонів, виявлено різні несправності як механічної, так і пневматичної частини гальм. У композиційних гальмових колодках виявлено клиновий вид зносу, що спричинено недосконалістю гальмової важільної передачі (ГВП). Слід зазначити, що автори дослідження не приділяли належної уваги причинам виникнення клинодуального зносу колодок, який впливає на зменшення гальмової ефективності рухомого складу незалежно від використання гальмових колодок.

Дослідження, що висвітлено у роботі [8] присвячено визначенню негативних якостей гальмових колодок, що застосовуються на вантажному та пасажирському рухомому складі й їх впливу на техніко-економічні показники роботи залізничного транспорту. При цьому аналізуються негативні якості композиційних гальмових

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

колодок, які спричиняють високотемпературний вплив на поверхню кочення коліс і призводять до несправностей термічного характеру.

У дослідженні [9] визначено спосіб стабілізації температурних величин при контакті триботехнічної пари «гальмова колодка – колесо» за рахунок модернізації конструкції колодки. Запропоновано застосовувати вставки у колодці, які виготовляються з інноваційного матеріалу, що розширюється за гальмувань рухомого складу. Виконано обґрунтування діаметру й глибини отворів, які зменшують інтенсивність зносу колодки. Проте недоліком дослідження є те, що автори не врахували конструктивні особливості гальмової системи візків з ГВП, елементи якої спричиняють клинодуальний знос гальмових колодок, який впливає на безпеку руху поїздів. Тому використання сучасних гальмових колодок у вантажному рухомому складі призведе до збільшення витрат на утримання вагонів і не дасть бажаного результату щодо ефективної й надійної роботи гальм залізничного транспорту.

У працях [10, 11], висвітлено особливості роботи гальмових колодок у важких умовах експлуатації рухомого складу. Такі колодки мають володіти високою зносостійкістю та міцністю, щоб запобігти появи тріщин і руйнуванню, а також високою твердістю, яка дасть змогу забезпечити їм мінімальну зносостійкість під час гальмувань рухомого складу [12]. Досягнення цього можливо за рахунок зміни структури матеріалу колодки. Проте, триботехнічні властивості колодок повинні володіти достатнім коефіцієнтом тертя, який би міг забезпечувати високу гальмову ефективність під час регулювання швидкості поїзда та його зупинки.

Дослідження впливу матеріалу гальмових колодок на прикладі композиційної гумосуміші на поверхню кочення коліс в умовах експлуатації представлено у роботі [13]. За результатами аналізу встановлено, що на причини появи несправностей коліс впливають теплові режими під час гальмувань. Автори доводять, що температура на поверхні кочення коліс під час гальмування композиційними колодками з гумосуміші може досягати великих значень – більше ніж 900 °С. Основною причиною цього є відносно низька теплопровідність композиційних колодок з гумосуміші у порівнянні з теплопровідністю колодок, що виготовлені з чавуну. Проте у даних дослідженнях не враховано того факту, що у більшості вантажних вагонів 90 % композиційних гальмових колодок зношені клинодуально. Тому такі колодки мають меншу гальмову площу в порівнянні з новими колодками, що негативно впливає як на ефективність гальмування, так і на появу поверхневих високотемпературних дефектів коліс в експлуатації.

Чимало закордонних науковців зосереджено на дослідженнях дискових гальм, в тому числі розрахунках на міцність їх елементів, експлуатаційними спостереженнями за їхньою роботою тощо. Також їх дослідження сконцентровано на розрахунках температурних режимів деяких елементів гальмових систем рухомого складу [14, 15]. За гальмувань поїзда фрикційними гальмами у зоні контакту триботехнічних тіл виникає тепла енергія, яка розсіюється примусовою конвекцією, провідністю і випромінюванням від відкритих поверхонь гальма. У працях [16, 17] зазначено, що перегрів триботехнічних пар може викликати несправність гальмової системи та не забезпечує належної безпеки руху. У зв'язку з цим виконується значна теоретична робота щодо зниження температури під час гальмування для різних швидкостей руху і конструкції гальмових дисків. При цьому не приділяється увага ГВП.

Дослідження літературних джерел [5–17] дали змогу встановити, що питання, які стосуються проблем клинодуального зносу гальмових колодок рухомого складу

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

вітчизняного й сучасного робочого парку є досить актуальними й потребують подальшого дослідження й розвитку.

Метою роботи є виявлення причин клинодуального зносу та його впливу на навантаженість композиційних колодок візків вантажних вагонів.

Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- провести виробничі обстеження гальмових систем візків експлуатаційного парку напіввагонів для визначення несправностей їх елементів;
- дослідити особливості утворення ненормативного зносу гальмових колодок вантажних вагонів в експлуатації;
- визначити зусилля в елементах ГВП, які обумовлені шкідливою стертістю клинодуально зношеної колодки;
- дослідити міцність гальмової колодки вантажного напіввагона, яка має ненормативний знос.

Матеріали та результати досліджень.

Проблемні питання стосовно клинодуального зносу колодок пов'язані зі зниженням ефективності гальмувань вантажного рухомого складу. Це спричинено немонотонними змінами (зменшенням) робочої площі контакту колодок з колесами вантажних вагонів, що в свою чергу призводить до збільшення ремонтних робіт, додаткових витрат енергоресурсів на тягу поїздів і зниження кількісних та якісних показників використання вантажних вагонів.

З метою виявлення слабких місць у конструкції ГВП візків, протягом кількох років для АТ «Укрзалізниця» виконувалася відповідна «Науково-дослідно-конструкторська робота». Тому здійснювалися масштабні виробничі обстеження гальмових систем візків вагонів як в умовах експлуатації, так і під час їхнього ремонту.

Виробничі обстеження з виявлення статистичних даних про наявність дефектних деталей, які зумовлюють утворення й розвиток клинодуального зносу гальмових колодок та інших дефектів, проводилися переважно в весняно-літньо-осінній період відповідно до розробленої «Програми та методики проведення наукових виробничих досліджень гальмових систем і коліс вантажних вагонів» [18].

Під час виробничих обстежень було оглянуто гальмові системи візків різних типів вантажних вагонів. У роботі наведено результати обстежень напіввагонів, оскільки вони складають найбільший відсоток інвентарного парку. Крім того, напіввагони найбільш часто задіяні для перевезень різноманітних видів вантажів на АТ «Укрзалізниця», особливо тих, які не потребують захисту від атмосферних опадів. У більшості вантажних напіввагонів перевозяться насипні вантажі. Тому за умов розвантаження напіввагонів через кришки люків здійснюється пил під час висипання вантажу. Це призводить до того, що порохоподібні частинки заповнюють щілини шарнірних з'єднань і прилипають до поверхонь вузлів і деталей вагонів, у тому числі й до гальмових колодок та коліс, що суттєво впливає на знос колодок.

Отримані кількісні результати одного з етапів досліджень щодо наявності несправностей або дефектів в обстежених конструкціях 3735 гальмових підсистем візків напіввагонів. У розгорнутому вигляді результати обстежень після оброблення статистичного матеріалу наведено на рис. 2.

За значущістю отриманих результатів позиції, що зайняли ті чи інші несправності або дефекти гальмових систем вантажних напіввагонів, розподілено за ранжованим рядом.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Перше місце – клинодуальний знос гальмових колодок.

Як видно серед усіх несправностей елементів ГВП перше місце (перша позиція на рис. 2) посідає клинодуальний знос гальмових колодок, який виявлено у 3398 колодок, що складає 90,98 % від всіх обстежених елементів ГВП. Такі несправності, як пояснюється в роботі [19], виникають від подвійного (дуального) зносу колодки: верхня її частина починає зношуватися під час руху з попущеними гальмами, а верхня й нижня (разом) – під час гальмувань. У зв'язку з цим, верхній кінець колодки зношується інтенсивніше ніж нижній, тобто на колодці у верхній частині спершу виникає шкідлива стертість, потім — клиноподібний знос. А нижня частина колодки приймає участь у роботі переважно за ступеневого гальмування і зношується клиноподібно.

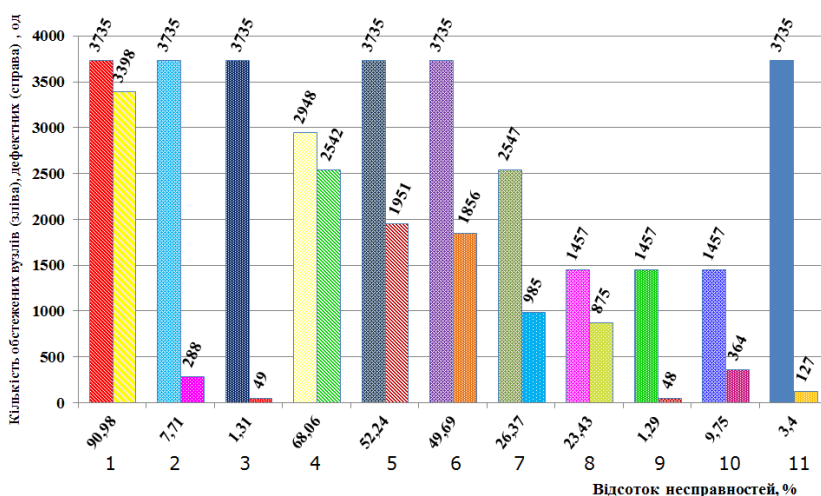


Рис. 2. Порівняльна гістограма загальної кількості обстежених і дефектних вузлів і деталей гальмової підсистеми візків напіввагонів

За такою роботою колодки і її станом на практиці, коли верхній кінець колодки зношується швидше за нижній, здійснюється неприпустиме за Інструкцією [20] «повторне» використання колодок. Через те, що зазвичай придатних до використання у пунктах технічного обслуговування (ПТО) вагонів – нових колодок недостатньо. Тому робітники вагонного господарства вимушені розвертати колодки на 180° і встановлювати їх на вагони для подальшої експлуатації. Особливим попитом тут безперечно користуються колодки, в яких нижня частина ще має значну товщину (мало зношена).

Друге місце – несправність пристрою рівномірного зносу гальмових колодок.

Це місце (четверта позиція на рис. 2) дістало досить розповсюджений вид несправностей гальмових систем, який призводить до відмови пристрою сприяння рівномірному зносу колодок, яким обладнані ГВП візків вантажних вагонів. Передові позиції 1; 2 і 3 (рис. 2) якраз і є основними джерелами виникнення ненормативного зносу композиційних гальмових колодок вантажних вагонів. Виникнення цих несправностей відбувається через низьку надійність деталей і вузлів

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

пристроїв ГВП, які після 50 тис. км пробігу вагонів дуже часто виходять з ладу [21]. У них найчастіше відбувається пошкодження замків і виникають значні деформації скоб, що призводить до порушень працездатності ГВП в цілому. Такі види несправностей було виявлено у 2542 із 2948 обстежених вузлів та елементів, що відповідає 68,06 %.

Третє і четверте місце – відведення колодки від колеса менше або більше нормативної величини.

На цих місцях (п'ята і шоста позиція, відповідно на рис. 2) опинилися несправності, що пов'язані з відведенням колодок від коліс тобто, які спричинені як незадовільною роботою ГВП, так і пристрою сприяння рівномірному зносу колодок.

Із 3735 обстежених гальмових колодок напіввагонів було зафіксовано величину відведення менше 5 мм у 1951 гальмових колодок, а це становить 52,24 %, відповідно більше 8 мм у 1856 колодок, що становить 49,69 % від всіх обстежених вагонів. Основна причина зафіксованих несправностей – це розрегульована ГВП і непрацездатний авторегулятор. Так само цей вид несправності з'являється від того, що в процесі експлуатації відбувається «місцевий» знос на розпірці триангеля і скобі, тому колодки під дією крутного моменту і ваги деталей ГВП починають у верхній частині активно наближатися до коліс, а у нижній навпаки відходити від них.

Для того, щоб позбутися такого явища розроблено велику кількість конструкторських й технологічних заходів стосовно рівномірного відведення колодок у візках вантажних вагонах, проте вони показали незадовільні результати в експлуатації через різні причини [22].

П'яте місце – зношеність або руйнування шарнірних з'єднань маятникових підвісок.

П'яте місце (сьома позиція на рис. 2) посів такий вид несправності, як зношеність або/та руйнування шарнірних з'єднань маятникових підвісок триангелів. Його було зафіксовано й виявлено у 985 вузлах, що становить 26,37 % від 2547 обстежених елементів ГВП вагонів. Причиною цієї несправності є спрацювання валиків втулок, що суттєво збільшує зазори між деталями, їх викришування та наявність різного роду тріщин.

Шосте місце – пошкодження кріплень гальмових башмаків на цапфах триангелів.

На шостому місці (восьма позиція на рис. 2) опинилися пошкодження кріплення гальмових башмаків на цапфах триангелів. Їх було виявлено у 875 вузлах, що становить 23,43 % від обстежених 1457 вузлів вагонів. Основні причини появи такого виду несправностей – це пошкодження різбового кріплення на кінцях цапф триангелів, зрив гайок та ін. Вони, вочевидь, виникають під час неякісного обслуговування візків з ГВП в результаті недостатнього загвинчування гайкою гальмового башмака в горизонтальному напрямку й самовідкручування гайок в умовах експлуатації вагонів, під час зсувів башмака з колодкою у горизонтальному напрямі, а також зі зрізанням кріплень шплінтів гайками триангелів.

Сьоме місце – порушення кріплень колодок у гальмових башмаках.

На сьомому місці (десята позиція на рис. 2) виявився такий вид несправності, як порушення кріплення колодки у башмаку. Його було виявлено у 364 вузлах, що становить 9,75 % від обстежених 1457 вузлів. Несправність такого характеру виникає в результаті фрикційного спрацювання чеки або/та гнізд в башмаку в які вона встановлюється.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Восьме місце – моністичний знос колодок.

На восьмому місці (друга позиція на рис. 2) виявився такий природно очікуваний вид несправності – моністичний знос колодки. Його було підтверджено у 288 колодках, що становить 7,71% від всіх обстежених 3735 вузлів напіввагонів. Цей різновид зносу гальмових колодок виникає в результаті того, що колодки за гальмування природно нахиляються до впирання кінцями у поверхню кочення коліс через дію гальмового крутного моменту. Внаслідок цього процесу відбувається шкідливий знос, який притаманний композиційним гальмовим колодкам. Якщо колеса обертаються за годинниковою стрілкою, тоді формування моністичного зносу колодки здійснюється клином вверху, а якщо проти годинникової стрілки, тоді утворення моністичного зносу колодки здійснюється клином вниз. Це відбувається як наслідок силових дій на колодку з наволочуванням мікрочастинок контактуючих матеріалів, які перерозподіляються за її робочою поверхнею під час гальмування [18, 23], створюючи цим самим моністичний знос.

Необхідно зазначити, що саме моністично зношені колодки (клином вверху) якраз і використовують на практиці ремонтники ПТО, як ремонтні ресурси: за рахунок розвертання колодок на 180° для подальшої експлуатації у вагонах.

Дев'яте місце – наволочування металу колеса на колодку.

На дев'ятому місці (одинадцята позиція на рис. 2) опинився вид несправності, пов'язаний з наволочуванням металу колеса на колодку та її розлом. Це було виявлено у 127 колодках за температурною ознакою, що становить 3,4 % від оглянутих 3735 напіввагонів.

Процес утворення намолочування мікрочастинок металу в тіло гальмової колодки є результатом фрикційної взаємодії триботехнічних пар «колодка – колесо». В результаті відбувається схоплювання контактуючих поверхонь за рахунок пластичної деформації, яка виникає під дією фрикційного місцевого нагрівання, великих контактних нормальних і дотичних напружень. Слід ще відмітити, що наволочуванню частинок металу колеса на поверхню тіла колодки сприяють дефекти технологічного характеру, які мають місце на поверхнях тертя [18, 23]. Внаслідок цього частинки сталі колеса, які знаходяться між поверхнями колодки і колеса, в умовах відносного їх ковзання, з високим місцевим тиском, температурою і підвищеною згодом пластичністю. Тому за гальмування ці частинки неправильної форми розкочуються і проникають (вкраплюються) у тіло гальмової колодки.

Десяте місце – рівномірний знос колодки більше гранично-допустимої величини.

На десятому місці (третья позиція на рис. 2) опинився такий майже не очікуваний вид несправності, як рівномірний знос колодки більше граничної величини. Його було виявлено у 49 колодках, що становить 1,31 % від всіх обстежених 3735 колодок вагонів. Причина появи такого виду несправності полягає в тому, що деякі робітники ПТО не дуже якісно виконують технічне обслуговування вузлів вантажних вагонів у тому числі й їх гальмових систем.

Одинадцятьте місце – тріщини та/або відколи в гальмових башмаках.

На одинадцятому місці (дев'ята позиція на рис. 2) зафіксовано зовсім не типовий вид несправності у вигляді тріщин або/та відколів в гальмових башмаках. Виникнення такої несправності відбувається, як правило, за наявності дефектів виготовлення. Тріщини з відколами було виявлено у 48 башмаках, що становить 1,29 % від всіх обстежених 1457 вузлів вагонів. Скоріш за все поява цього виду пошкоджень обумовлена наявністю тріщин втомного характеру в башмаках, які виникають у процесі експлуатації на місцях, де були ливарні дефекти.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Для дослідження можливих явищ виникнення ненормативного зносу гальмових колодок наведена теоретична розрахункова схема (рис. 3), яка дозволяє встановити причини утворення такого зносу. Точка прикладення рівнодіючої реакції колеса від середини робочої частини колодки зміщується в сторону кінця колодки, що «набігає». Це призводить до нерівномірного розподілення питомих тисків за всією робочою площею колодки, яка приймає участь в процесі гальмування вагона [22, 24].

Розглянувши схему дії гальмових сил на колеса трьохелементного візка вагона (рис. 3) можна встановити, що зовнішнє гальмове зусилля N_k – зусилля від триангеля, яке передається на башмак з колодкою під час гальмування, розкладається на дві складові: горизонтальне – $N_{гор}$ і зусилля вздовж осі маятникової підвіски, що викликає появу P_{II} – реакції на дію гальмового зусилля і є причиною виникнення деформацій розтягнення та стиснення маятникової підвіски відповідно для правого та лівого колеса. Під час обертання колісних пар проти годинникової стрілки за наведеною схемою зусилля $N_{к,л}$ для правого та лівого колеса передається під різним кутом, завдяки конструктивному виконанню важільної передачі та наявності зазорів у зоні контакту маятникової підвіски з башмаком. За такої умови, коли $\alpha'' > \alpha'$ і $\alpha' < \alpha < \alpha''$, де α – кут підвішування гальмових колодок, $F_{мп}$ – сила тертя за твірною колеса [25].

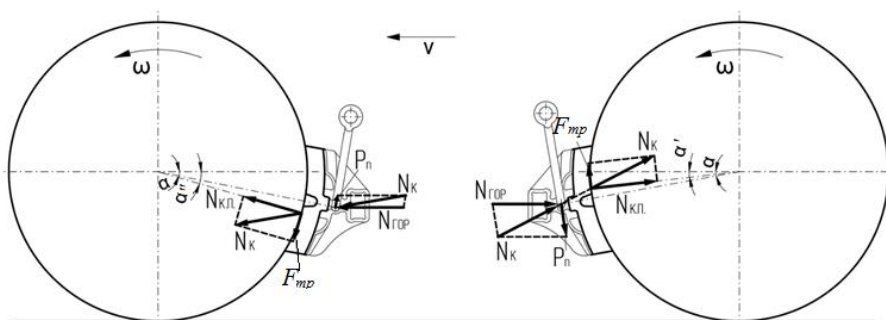


Рис. 3. Схема дії гальмових зусиль на колеса

У гальмових системах візків вантажних вагонів точка з'єднання вертикальних важелів з розпірною триангеля зміщена в сторону колеса відносно точок з'єднання башмаків триангеля з маятниковими підвісками. Це призводить до впирання верхньою частиною колодки у обід колеса під час попущених гальм. У результаті цього виникає значний за товщиною знос верхнього кінця гальмової колодки, як наслідок зменшується довжина її робочої поверхні [18].

Через такі дії ефективна площа робочої поверхні колодки $Q_{эф}$ під час гальмування буде зменшуватися за збільшенням площі шкідливої стертості $Q_{уст}$. Тобто, для першого наближення будемо мати:

$$Q_{эф} = (Q - Q_e) - Q_{уст} = m[(l - l_e) - l_{уст}] = m \cdot l_{эф}, \quad (1)$$

де Q – прямокутна проекція площі робочої поверхні колодки, $Q = 2l \cdot m$;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$Q_в$ – вилучена з Q така ж проекція площі під «виїмку», $Q_в = m \cdot l_в$;
 $Q_{уст}$ – змінна проекція площі шкідливої стертості, $Q_{уст} = m \cdot l_{уст}$;
 m – ширина колодки;
 $l_{эф}$ – змінна ефективна протяжність нової колодки, $l_{эф} = (2l - l_в - l_{уст})$.

Припустимо, що «виїмка» відсутня. Тоді, ефективна протяжність колодки без урахування «виїмки» приблизно дорівнює: $l_{эф} = (2l - l_{уст})$.

Для з'ясування особливостей зносу колодки під час гальмування колеса, обґрунтуємо причинно-наслідкову хронологію задіяння ненормативно зношеної колодки на спрощеній умовній моделі її контакту з колесом.

За аналогією з завданням визначення сил тертя бруса вагою G , що рухається по горизонтальній площині, схема для досліджень зображена з повертанням на 90° у вигляді профільних проекцій «розпрямленого» колодкового бруса і «розпрямленого» ободу колеса нескінченного радіусу при їх відносному русі (рис. 4).

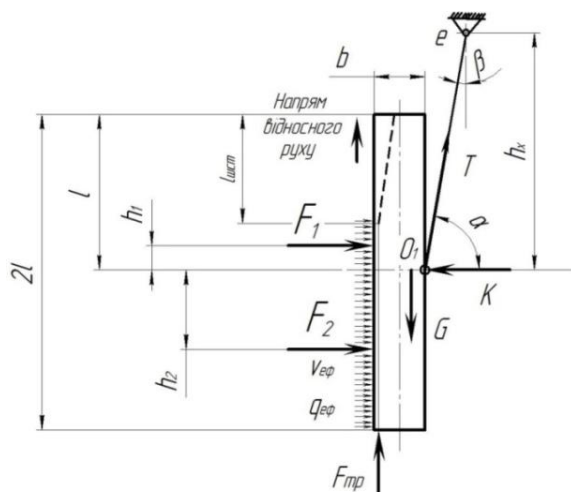


Рис. 4. Схема силової взаємодії колодки з колесом нескінченного радіуса (плоска система)

Брус-колодка з початковими параметрами ($2l \times m \times b$) силою натиснення K , притиснена до напівпростору, що імітує обід колеса нескінченного радіусу. Брус-колодка вже має початкову шкідливу стертість довжиною $z = l_{уст}$. Умовно колодку тут можна вважати клиномоністично зношеною. Як вже було позначено ефективна протяжність робочої поверхні колодки під час гальмування буде: $l_{эф} = (2l - l_{уст})$ (на рис. 4 наведено пунктиром).

Сила натиснення K , що притискує масив «колодка-башмак» до умовно розпрямленого ободу колеса, врівноважується кінетостатично відповідними силами і реакціями сил до яких слід віднести: саму силу натиснення K ; силу T , що спрямована під кутом β до своєї маятникової підвіски, яка підтримує колодку з башмаком сумарною вагою G і кососиметрично розподілені за площею робочої поверхні нормальні напруження $q_{эф}$, які припустимо рівномірно діють за всією ефективною контактною площею $Q_{эф} = m \cdot (2l - z)$. Їх паралельну дію, зазвичай у теоретичній механіці, можна представити двома зосередженими паралельними силами:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$F_1=q_{ef} \cdot m \cdot (l-z)$ і $F_2=q_{ef} \cdot m \cdot l$, які пов'язані співвідношенням:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot (l-z)}{l}. \quad (2)$$

Тут діють також дотичні напруження v_{ef} , що об'єднані в силу F_{mp} кулонового тертя, яку можна розглядати, як силу, яка разом з силою T підтримує у миттєвій рівновазі гальмову колодку, що притиснена до колеса гальмовим зусиллям K . Ця сила F_{mp} під час гальмування вочевидь пов'язана з тертям спокою (ковзання) колодки відносно колеса, яке так чи інакше або при нерухомому колесі, або при обертанні за рахунок джерела кінетичної енергії має нескінченну потужність. Тому в цьому прикладі миттєвої рівноваги, коефіцієнт тертя можна прийняти рівним одиниці [25].

Згідно теоретичної механіки: тверде тіло «колодка-башмак» знаходиться в рівновазі, якщо сили й моменти сил, які на нього діють в даний момент часу, відповідають класичній системі рівнянь:

$$\begin{cases} \sum X = 0; \\ \sum Z = 0; \\ \sum M_0 = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} F_1 + F_2 - K + T \sin \beta = 0; \\ -F_{mp} + G - T \cos \beta = 0; \\ -F_{mp} - F_1 \cdot h_1 + F_2 \cdot h_2 = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де h_1 і h_2 – плечі сил F_1 та F_2 відносно точки O_1 – точки силового об'єднання елементів маятникової підвіски колодки (умовно співпадає з центром тяжіння гальмової колодки з башмаком).

Відносно пошуку рішень системи (3) важливо зауважити, що при параметричній зміні $z=l_{уст}$ в межах існування додаткового до (3) рівняння (2), маємо такі завдання:

1) коли $z=0$: $F_1=F_2 \approx K/2$: завдання доволі симетричне. Щоб визначити F_{mp} і T потрібно рівняння системи (3), що звідси випливає, записати для суми моментів усіх сил відносно іншої контрольної точки, наприклад O_1 .

2) коли $z=l$: $h_1=0$; $h_2=l/2$; $F_1=0$, а сили F_2 і F_{mp} можна знайти або, як у першому випадку, або з системи (3).

3) якщо z знаходиться в інтервалі $(0, l)$, то обидва значення F_1 і F_2 можна знайти з рішення системи (3), хоча вони й теж залежать параметрично від параметру z . Наприклад, для $z=l/2$ отримуємо: $h_1=(l-(l/2))/2$; $h_2=(l+(l/2))/2$; $K=41690 \text{ Н}$.

Розв'язок системи виконуємо за формулами Крамера (або методом підстановки) відносно невідомих F_2, T, F_{mp} .

Визначення за формулами Крамера: права частина (для усіх рівнянь однакова):

$$\begin{pmatrix} K \\ G \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 41690 \\ 31,36 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

1. якщо $z=0$: $F_1=F_2 \approx K/2$, $h_1=l/2$; $h_2=l/2$. Система (3), як було сказано, перетворюється, тоді пошук T і F_{mp} не має сенсу. Тому треба скласти нову систему рівнянь;

2. якщо $z=l$: $h_1=0$; $h_2=l/2$. При цьому $F_1=0$, а F_2 можна шукати з нової системи рівнянь (3):

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\begin{cases} F_2 - K + T \sin \beta = 0; \\ -F_{mp} + G - T \cos \beta = 0; \\ -F_{mp} \Delta_0 + F_2 \cdot l / 2 = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} F_2 + T \sin \beta = K; \\ F_{mp} + T \cos \beta = G; \\ -F_{mp} \Delta_0 + F_2 \cdot l / 2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Матриця завдання:

$$\begin{pmatrix} 1 & \sin \beta & 0 \\ 0 & \cos \beta & 1 \\ \frac{l}{2} & 0 & -\Delta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0,173648178 & 0 \\ 0 & 0,984807753 & 1 \\ 0,17 & 0 & -0,065 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Розв'язок системи:

$F_2 = 77360,0 \text{ Н}$; $T = -205415,6 \text{ Н}$ (стрижень маятникової підвіски стиснутий);

$F_{mp} = 202326,3 \text{ Н}$ (сила тертя внаслідок припущень має умовне граничне значення);

3. якщо $z = l/2$: $h_1 = (l - (l/2))/2$; $h_2 = l/2$.

Додаткове параметричне рівняння (2) до системи (3) буде:

$F_1 = F_2 \cdot (l - (l/2))/l = F_2 \cdot (l^2/2)$.

Пошук рішень:

$$\begin{cases} F_2 - K + T \sin \beta = 0; \\ -F_{mp} + G - T \cos \beta = 0; \\ -F_{mp} \Delta_0 - F_1 \cdot \frac{\left(l - \frac{l}{2}\right)}{2} + F_2 \cdot \frac{l}{2} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} F_2 + T \sin \beta = K; \\ F_{mp} + T \cos \beta = G; \\ -F_{mp} \Delta_0 - F_2 \cdot \frac{l^3}{8} + F_2 \cdot \frac{l}{2} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} F_2 + T \sin \beta = K; \\ F_{mp} + T \cos \beta = G; \\ -F_{mp} \Delta_0 + F_2 \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{l^3}{8}\right) = 0. \end{cases} \quad (9)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Матриця для вирішення завдання коли z має різні початкові дані:

$$\begin{pmatrix} 1 & \sin \beta & 0 \\ 0 & \cos \beta & 1 \\ \frac{l}{2} - \frac{l^3}{8} & 0 & -\Delta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0,173648178 & 0 \\ 0 & 0,984807753 & 1 \\ 0,165087 & 0 & -0,065 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Розв'язок системи:

$$F_2 = 75492816 \text{ Н}; T = -194662,656 \text{ Н}; F_{mp} = 191736,653 \text{ Н}.$$

У табл. 1. наведено результати розрахунків для різних величин шкідливої стертості колодки.

У виконаному дослідженні припущено, що сумарно циліндрична поверхня колодки, яка зношується шкідливо або корисно під час гальмування розглядається, як сума площин двох прямокутників верхньої та нижньої її частин з вилученням середини під «виймку».

Таблиця 1. – Результати розрахунків параметричних завдань, які залежать від шкідливої стертості колодки вверху

Випадок	Параметри, що визначаються за розрахунковими значеннями				
	$z=l_{уст}, \text{ м}$	$F_1, \text{ Н}$	$F_2, \text{ Н}$	$T, \text{ Н}$	$F_{mp}, \text{ Н}$
1	0	20845,0	20845,0	-	-
2	0,005	20795,51	21173,61	-1607,26	1614,197
3	0,01	20744,67	21512,99	-3268,89	3250,588
4	0,02	20629,94	22216,86	-6661,66	6591,813
5	0,03	20496,51	22956,09	-10150,4	10027,52
6	0,04	20342,68	23733,12	-13739,2	13561,78

Примітки:

1. Для випадку 1, не виконувалися окремі розрахунки для визначення зусиль T і F_{mp} .

2. Для випадків 2 – 3, знак мінус при визнанні зусилля T в обох випадках підтверджує факт стиснення маятникового стрижня маятнкової підвіски колодки з башмаком, що спостерігалось під час експериментальних випробувань.

Отже, клинодуальний знос гальмових колодок відбувається через недосконалу конструкцію триангеля та низьку надійність пристрою рівномірного відведення колодок від коліс. Тому спрощена схема, в деякій мірі, підтверджує уявлення про розлади в непередбаченості процесів нормативного зносу колодок за невдалих конструкційних рішень в елементах гальмових систем візків.

На наступному етапі дослідження визначено вплив ненормативного зносу композиційної гальмової колодки на її міцність. У якості прикладу обрано гальмову колодку, зняту з вантажного напіввагона (рис. 5, а), яка має такі параметри зносу:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

товщину верхнього кінця $\Delta_6=8$ мм; товщину у місці лінії розмежування площин $\Delta_{др}=23$ мм; товщину нижнього кінця $\Delta_n=32$ мм і довжину шкідливої стертості верхньої частини $l_{уст}=78$ мм.

Розрахунок на міцність колодки здійснено за методом скінчених елементів. При цьому застосовано програмний комплекс SolidWorks Simulation [26, 27]. В якості розрахункового використано критерій максимальних напружень. Даний критерій обрано у зв'язку з тим, що матеріал колодки має ортотропні властивості. Розрахункову схему колодки наведено на рис. 5, б. Під час її складання враховано, що на колодку діє поперечне навантаження P_n , сила тертя $P_{тр}$, а також температурне навантаження P_T . Розрахунок проведено для вантажного режиму роботи повітророзподільника ум. № 483 [20].

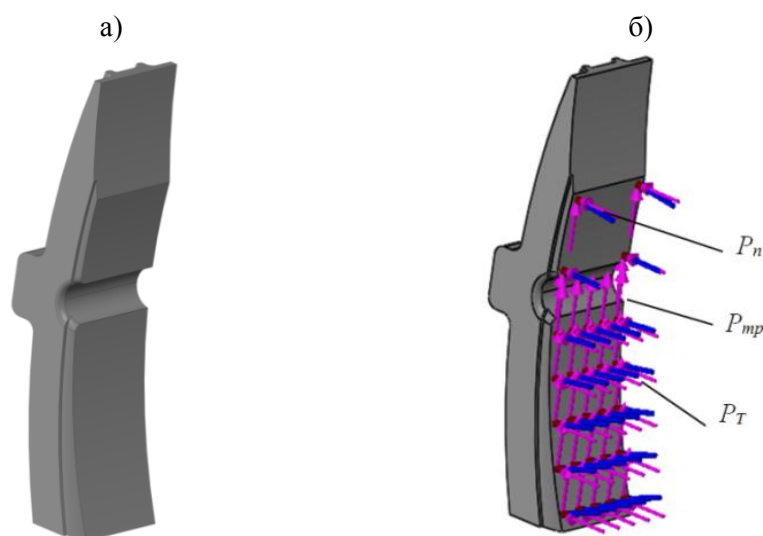


Рис. 5. Просторова модель та розрахункова схема композиційної гальмової колодки

(а) – просторова модель з клинодувальним зносом; (б) – розрахункова схема

Під час складання скінчено-елементної моделі використано ізопараметричні тетраедри, чисельність яких розраховано графоаналітичним методом. Кількість елементів моделі склала – 21456, а вузлів – 4829. Максимальний розмір елементу дорівнює 12 мм, а мінімальний – 2,4 мм. Закріплення моделі колодки здійснено за спинку. У якості її матеріалу застосовано композит з межею міцності 15 МПа [28]. Результати розрахунку наведено на рис. 6.

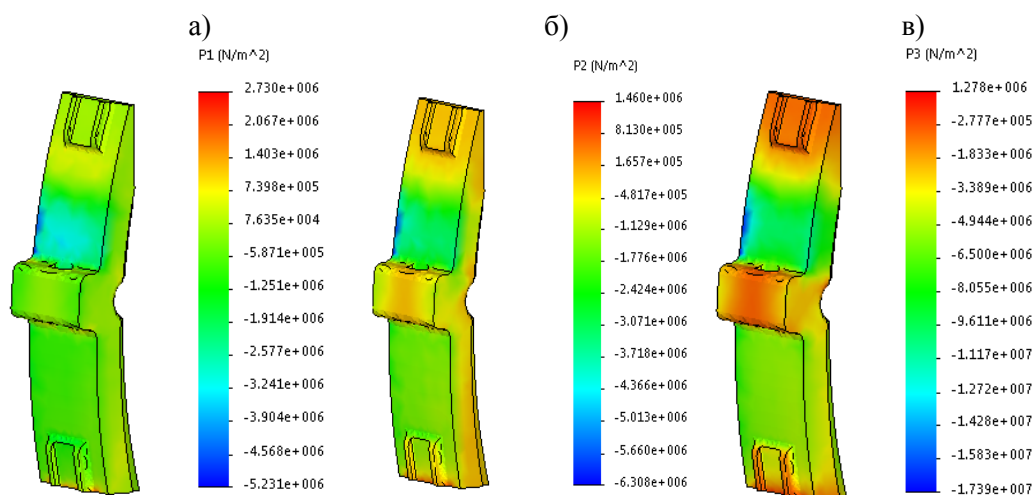


Рис. 6. Головні напруження композиційної гальмової колодки
(а) – перше; (б) – друге; (в) – третє

Отже, максимальні напруження в гальмовій колодці мають місце для третього головного напруження і складають 17,4 МПа, що вище за допустиме значення на 13,8 %. Тобто міцність колодки не забезпечується.

Проведені дослідження доводять, що для забезпечення безпеки руху вантажних вагонів у складі поїздів необхідним є створення заходів, спрямованих на ліквідацію ненормативного зносу гальмових колодок в експлуатації.

Висновки.

1. Виконано виробничі обстеження гальмових систем візків експлуатаційного парку напіввагонів за результатами яких встановлено, що перше місце за їх пошкодженнями посідає клинодувальний знос гальмових колодок, який підтверджено у 3398 обстежених колодок, що складає 90,98 %. Досить розповсюджений вид несправностей гальмових систем стосується й пристрою рівномірного зносу гальмових колодок, який зайняв друге місце серед усіх несправностей. За результатами огляду його виявлено у 2542 із 2948 обстежених вузлів й елементів, що відповідає 68,06 %. Провідні місця посіли й наднормативні зазори між колодкою і колесом. Встановлено, що відведення колодки від колеса менше 5 мм – складає 52,24 %, що відповідає 1951 оглянутій деталі. А більше 8 мм – складає 49,69 %, що відповідає 1856 колодкам, які піддавалися огляду. Також за результатами статистичних матеріалів проаналізовано пошкодження й інших елементів гальмових систем візків напіввагонів, які обстежено переважно у весняно-літньо-осінній період відповідно до розробленої «Програми та методики».

2. Досліджено особливості утворення ненормативного зносу гальмових колодок вантажних вагонів в експлуатації. Встановлено, що зовнішнє гальмове зусилля від триангеля, яке передається на башмак з колодкою під час гальмування, розкладається на дві складові. Воно викликає появу реакції на дію гальмового зусилля, що є причиною виникнення деформацій розтягнення та стиснення маятникової підвіски. Під час обертання колісних пар проти годинникової стрілки зусилля для правого та лівого колеса передається під різним кутом. Це має місце внаслідок конструктивного виконання важільної передачі та наявності зазорів у зоні контакту маятникової підвіски з башмаком. На підставі проведених досліджень

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

встановлено, що умови тертя колодок в кожній з двох колісних пар візків вантажних вагонів будуть відрізнятися, так само, як і нормальні напруження, що підвищують експлуатаційний знос колодок.

3. Визначено зосереджені паралельні сили колодки, силу в маятниковій підвісці і силу тертя, які демонструють головну тенденцію їх чисельних змін через збільшення довжини шкідливої стертості й площі шкідливої стертості у верхній частині клинодуально зношеної колодки. В усіх випадках цього зростання має місце збільшення питомих напружень на робочу поверхню колодки під час гальмувань відносно їх номінальних значень, закладених при проектуванні в конструкціях ГВП. Тобто внаслідок зменшення ефективної площі контакту, мають місце збільшені відносно нормативів зноси колодки. Встановлено, що оскільки робоча поверхня колодки у дійсності має циліндричну форму, то вона шарнірно спирається за кривизною на колесо (тобто в додаток до своєї маятнкової підвіски має допоміжну «опору»), майже при відсутності руху візка. Тому напрям інтегральної сили в залежності від гальмування слід направляти у протилежну сторону відносного руху колеса.

4. Здійснено розрахунок термонапруженого стану клинодуально зношеної композиційної гальмової колодки. Встановлено, що максимальні напруження (третє головне напруження) складають 17,4 МПа та є більшими за допустимі на 13,8%. Тобто міцність колодки не дотримується. Внаслідок зменшення корисного тіла колодки відбувається й зменшення робочої площі контакту, що призводить до збільшення її навантаженості під час гальмування.

Результати проведених досліджень доводять негативні наслідки від клинодуального зносу композиційних колодок, що впливають на ефективність гальмування, в тому числі міцність самих колодок і створюють небезпеку для руху поїздів. Це зумовлює необхідність створення напрямків досліджень, що спрямовані на ліквідацію такого ненормативного зносу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сулим А. О., Мельник О. О., Бялобржеський О. В., Ломонос А. І. Дослідження факторів та оцінка рівня їх впливу на показник питомих витрат електроенергії рухомого складу. Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. 2021. № 4. С. 118–127. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-118-127>
2. Сафронов О. М. Дослідження дискової гальмівної системи пасажирського вагона. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, серія «Транспортні системи і технології». 2009. Вип. 14. С. 51–67.
3. Гладких І. В., Сулим А. О., Лупітько Н. В. Основні дослідження динаміки оновлення та розвитку парку вантажних вагонів в Україні. Аналітичний огляд. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2020. № 20. С. 4–13.
4. Дячков Д. В., Сулим А. О. Особливості застосування інформаційних систем управління підприємством в умовах цифрової економіки. Bulletin of Sumy National Agrarian University. 2020. Вип. 1 (83). С. 79–86.
5. Сафронов О. М. Застосування комп'ютерного моделювання для уточненої оцінки гальмівної ефективності вантажних вагонів. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи і технології. 2018. Вип. 32(2). С. 61–75.
6. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Шикунів О. А. Несправності гальмівного обладнання та дефекти колісних пар вантажних вагонів. Вісн. сертифікації залізн. трансп. 2021. № 3 (67). С. 5–15.
7. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винстрот Б. У., Муковоз С. П. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины. Локомотив-информ. 2015. № 7/8. С. 20–22.
8. Мазур В. Л., Найдек В. Л., Попов Є. С. Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці. Метал та лиття України. 2021. №2 (29). С. 30-39.

9. Gerlici J., Kravchenko, K., Fomina Y. Development of an Innovative Technical Solution to Improve the Efficiency of Rolling Stock Friction Brake Elements Operation. In: International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 28-38.
10. Cruceanu C. Train Braking, Reliability and Safety in Railway, Intech. 2012. P 29–74.
11. Zhang Y., Chen Y., He R., Shen B. Investigation of tribological properties of brake shoe materials - phosphorous cast irons with different graphite morphologies. Wear. 1993. Vol. 166(2), P 179–186.
12. Pascu L.V. Cercetări privind îmbunătățirea calității saboților de frână destinați materialului rulant, University Politehnica Timisoara, doctoral thesis. 2015.
13. Сіренко К. А., Мазур В. Л. Аналіз впливу матеріалу гальмівних колодок на утворення дефектів на поверхні кочення коліс залізничного транспорту. Метал та лиття України. 2024. №2(32). С. 57–63. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.008>
14. Gupta V., Saini K., Garg A. K., Krishan G., Parkash O. Comparative Analysis of Disc Brake Model for Different Materials Investigated Under Tragic Situations. Asian Review of Mechanical Engineering. 2016. Vol. 5(1). P. 18–23.
15. Sarip S. Design Development of Lightweight Disc Brake for Regenerative Braking – Finite Element Analysis. International Journal of Applied Physics and Mathematics. 2013. Vol. 3 (1). P. 52–58.
16. Day A. J. A finite element approach to drum brake analysis. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1847-1982. 1979. Vol. 193. P. 401–406.
17. Day A. J. Drum brake interface pressure distributions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 1989-1996. 1991. Vol. 205. P. 127–136.
18. Равлюк В. Г. Розвиток наукових основ з забезпечення руху поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації гальмових систем вантажних вагонів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. Харків, 2024. 408 с.
19. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Ткачук М. Р. Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2019. Вип. 187. С. 63–74.
20. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. ЦТ-ЦВ-ЦЛІ-0015: затв. Наказом Укрзалізниці від 28 жовтня 1997 р. № 264-Ц. Київ. 2004. 146 с.
21. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження ненормативного зносу гальмових колодок і його вплив на ефективність гальмування вантажних поїздів. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2022. № 25. С. 30–50.
22. Равлюк В., Равлюк М., Фісіна Я., Нуруллаєв Р. Уточнені розрахунки 2D схем-моделей гальмових важільних передач для збільшення ресурсу колодок вантажних вагонів. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». 2020. № 35. С. 24–34.
23. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Виявлення причин утворення поверхневих дефектів коліс вагонів, обладнаних композиційними колодками. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». 2022. № 40. С. 102–120.
24. Бабаєв А. М., Дмитрієв Д. В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навчальний посібник. Київ: ДЕТУТ, 2007. 176 с.
25. Шпачук В. П., Пушня В. О., Рубаненко О. І., Гарбуз А. О. Теоретична механіка. Динаміка: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 222 с.
26. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник. Херсон: ОЛДІ-плюс, 2018. 252 с.
27. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2018. 174 с.
28. Колодки гальмові композиційні з сітчато-дротяним каркасом для залізничних вантажних вагонів. Технічні умови: ТУ У 6-05495978.017-2001: затв. Головою правління Білоцерківського ВАТ «Трібо» від 30.01.2001 р. 27 с.

S.V. Panchenko

Ukrainian State University of Railway Transport

Feuerbakh sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine

Телефон: 057-730-10-00, E-mail: panchenko074@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>

A.O. Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport
Feuerbakh sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
Tel.: 066-338-19-46, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

V.G. Ravlyuk

Ukrainian State University of Railway Transport
Feuerbakh sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
Tel.: 095-444-59-74, E-mail: ravvg@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>

IDENTIFICATION OF THE CAUSES OF WEDGE-DUAL WEAR AND ITS IMPACT ON THE LOAD OF COMPOSITE BRAKE PADS OF FREIGHT WAGONS

The article highlights the results of production inspections of brake systems of freight wagons, which were carried out mainly in the spring-summer-autumn period in accordance with the developed "Program and methodology". The survey was carried out for open wagons, as they make up the largest percentage of the inventor fleet. Production inspections were carried out with the aim at identifying and accumulating a sufficient amount of the statistical data on malfunctions of lever gear elements, which lead to the formation of wedge-dual wear of pads. It was established that the friction conditions of the pads of each wheel pair of the bogie differ from each other, as well as the normal stresses that increase the operational wear of the pads. Based on the results of the calculations, the forces in the pad and brake mechanism elements were determined. It demonstrates the main tendency of their numerical changes due to the increase of the length of the harmful abrasion and the area of the harmful abrasion in the upper part of a brake pad. This leads to an increase of specific stresses on a pad working surface during braking relative to their nominal values. There fore, as a result of the reduction of the effective contact area, increased pad wear occurs relative to standards.

The results of computer modelling for determining the thermally stressed state of a composite brake pad with real parameters of abnormal wear that occurred during the operation of an open freight wagon are given. The results of the calculations showed that the maximum stresses are of 17.4 MPa, which exceed the permissible value by 13.8%. This is explained by the fact that the reduction of the useful body of the pad leads to a decrease of its working contact area, and this is accompanied by an increase of the load on the pad during braking.

The conducted studies prove the negative consequences of wedge-dual wear of composite pads, which affect the evaluation of the effectiveness of braking devices, the strength of the pads and they create a danger of the trains' movement. This necessitates finding ways to reduce abnormal wear of brake pads during operation.

Key words: train traffic safety, composite wagon pads, abnormal wear of pads, thermal stress state of the pad, transport mechanics.

REFERENCES

1. Sulym, A. O., Melnyk, O. O., Bialobrzheskyi, O. V., & Lomonos, A. I. (2021). Doslidzhennia faktoriv ta otsinka rivnia yikh vplyvu na pokaznyk pytomykh vytrat elektroenerhii rukhomoho skladu. [Study of factors and assessment of their influence on the indicator of specific electricity consumption of rolling stock]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia - Bulletin of the East Ukrainian National University named after V. Dahl*, 4, 118–127. doi: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4> [in Ukrainian]
2. Safronov, O. M. (2009). Doslidzhennia dyskovoi halmivnoi systemy pasazhyrskoho vahona. [Research of the disc brake system of a passenger car]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tehnolohichnoho universytetu transportu, seriia «Transportni systemy i tekhnohii» - Collection of scientific works of the State Economic and Technological University of Transport, series “Transport Systems and Technologies”*, 14, 51–67 [in Ukrainian]
3. Hladkykh, I. V., Sulym, A. O., & Lupitko, N. V. (2020). Osnovni doslidzhennia dynamiky onovlennia ta rozvytku parku vantazhnykh vahoniv v Ukraini. analitychnyi ohliad. [Basic research on the dynamics of renewal and development of the freight car fleet in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of scientific papers “Railbound rolling stock”*, 20, 4–13 [in Ukrainian]
4. Diachkov, D. V. & Sulym, A. O. (2020). Osoblyvosti zastosuvannia informatsiinykh system upravlinnia pidpriemstvom v umovakh tsyfrovoy ekonomiky. [Features of the application of enterprise management information systems in the digital economy]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, 1(83), 79–86 [in Ukrainian]
5. Safronov, O. M. (2018). Zastosuvannia kompiuternoho modeliuвання dlia utochnenoi otsinky halmivnoi efektyvnosti vantazhnykh vahoniv. [Application of computer modeling for a refined assessment of the braking efficiency of freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnohii. Serii: Transportni systemy i tekhnohii - Collection of scientific papers of the State University of Infrastructure and Technology. Series: Transport systems and technologies*, 32(2), 61–75 [in Ukrainian]
6. Muradian, L. A., Shaposhnyk, V. Yu., & Shykunov, O. A. (2021). Nespravnosti halmivnoho obladdannia ta defekty kolisnykh par vantazhnykh vahoniv. [Malfunctions of brake equipment and defects of freight cars wheelsets]. *Visnyk sertyfikatsii zaliznychnoho transport - Journal of Certification of Railway Transport*, 3 (67), 5–15 [in Ukrainian]
7. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., Vinstrot, B. U., & Mukovoz, S. P. (2015). Ispytaniya perspektivnykh tormoznykh kolodok na zheleznykh dorogah Ukrainy [Tests of perspective brake pads on the railways of Ukraine]. *Lokomotyv-inform - Lokomotyv-inform*, 7/8, 20–22 [in Ukrainian]
8. Mazur, V. L., Naidek, V. L., & Popov, Ye. S. (2021). Porivniannia chavunnykh i kompozytsiinykh z chavunnymy vstavkami halmovykh kolodok dlia rukhomoho skladu zaliznytsi [Comparison of cast iron and composite with cast iron brake pads for railway rolling stock]. *Metal ta lyttia Ukrainy - Metal and casting of Ukraine*, 2 (29), 30–39 [in Ukrainian]
9. Gerlici, J., Kravchenko, K., Fomina, Y. (2019). Development of an Innovative Technical Solution to Improve the Efficiency of Rolling Stock Friction Brake Elements Operation. In: *International Conference TRANSBALICA: Transportation Science and Technology*. Cham: Springer International Publishing, 28–38.
10. Cruceanu, C. (2012). Train Braking, Reliability and Safety in Railway, *Intech*. 29–74.
11. Zhang, Y. Chen, Y. He, R. & Shen, B. (1993). Investigation of tribological properties of brake shoe materials - phosphorous cast irons with different graphite morphologies. *Wear*, 166(2), 179–186.
12. Pascu, L.V. (2015). Cercetări privind îmbunătățirea calității saboților de frână destinați materialului rulant. *Doctoral thesis*. University Politehnica Timisoara
13. Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2024). Analiz vplyvu materialu halmivnykh kolodok na utvorennia defektiv na poverkhni kochennia kolis zaliznychnoho transportu [Analysis of the influence of brake pad material on the formation of defects on the rolling surface of railway transport wheels]. *Metal ta lyttia Ukrainy - Metal and casting of Ukraine*, 2(32), 57–63. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.008> [in Ukrainian]
14. Gupta, V., Saini, K., Garg, A. K., Krishan, G., & Parkash, O. (2016). Comparative Analysis of Disc Brake Model for Different Materials Investigated Under Tragic Situations. *Asian Review of Mechanical Engineering*, 5(1), 18–23.
15. Sarip, S. (2013). Design Development of Lightweight Disc Brake for Regenerative Braking – Finite Element Analysis. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 3 (1), 52–58.
16. Day, A. J. (1979). A finite element approach to drum brake analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1847-1982*, 193, 401–406.
17. Day, A. J. (1991). Drum brake interface pressure distributions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 1989-1996*, 205, 127–136.

18. Ravlyuk, V. G. (2024). Rozvytok naukovykh osnov z ubezpechennia rukhu poizdiv shliakhom pidvyschennia efektyvnosti ekspluatatsii halmovykh system vantazhnykh vahoniv [Development of scientific bases for train traffic safety by increasing the efficiency of freight car brake systems operation]. *Candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian]
19. Ravlyuk, V. G., Ravlyuk, M. G., Hrebenuk, V. A., & Tkachuk, M. R. (2019). Vyznachennia faktoriv, shcho vplyvaiut na nadiinist roboty halmovoi vazhilnoi peredachi vizkiv vantazhnykh vahoniv [Determination of factors influencing the reliability of the brake lever transmission of freight car bogies]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu - Collection of scientific papers of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 187, 63–74 [in Ukrainian]
20. *Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy [Instruction for the operation of rolling stock brakes on the railways of Ukraine]* (2004). TsT-TsV-TsL-0015 approved by the Order of Ukrzaliznytsia of October 28, 1997 No. 264-C Kyiv [in Ukrainian]
21. Lovska, A. O., & Ravlyuk, V. G. (2022). Doslidzhennia nenormatyvnoho znosu halmovykh kolodok i yoho vplyv na efektyvnist halmuvannia vantazhnykh poizdiv [Study of abnormal wear of brake shoes and its influence on the efficiency of braking freight trains]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of scientific papers "Railbound rolling stock"*, 25, 30–50 [in Ukrainian]
22. Ravliuk, V., Ravliuk, M., Fisina, Ya., & Nurullaiev, R. (2020). Utochneni rozrakhunky 2D skhem-modelei halmovykh vazhilnykh peredach dlia zbilshennia resursu kolodok vantazhnykh vahoniv [Improved calculations of 2D schemes-models of brake lever gears to increase the service life of freight cars.]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnologii: Seriya «Transportni systemy i tekhnologii» - Collection of scientific papers of the State University of Infrastructure and Technology: Series "Transport Systems and Technologies"*, 35, 24–34 [in Ukrainian]
23. Lovska A. O., & Ravliuk, V. G. (2022). Vyiavlennia prychnyn utvorennia poverkhnevnykh defektiv kolis vahoniv, obladnanykh kompozytsiinymy kolodkami [Identification of the causes of wheels surface defects generation on rail cars equipped with composite pads]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnologii: Seriya «Transportni systemy i tekhnologii» - Collection of scientific papers of the State University of Infrastructure and Technology: Series "Transport Systems and Technologies"*, 40, 102–120 [in Ukrainian]
24. Babaiev, A. M., & Dmytriiev, D. V. (2007). Pryntsyyp dii, rozrakhunky ta osnovy ekspluatatsii halm rukhomoho skladu zaliznyts [Principle of operation, calculations and basics of operation of railway vehiclesbrakes] [in Ukrainian]
25. Shpachuk, V. P., Pushnia, V. O., Rubanenko, O. I., & Harbuz, A. O. (2016). *Teoretychna mekhanika. Dynamika [Theoretical mechanics. Dynamics]*. Kharkiv: A. M. Beketov Kharkiv National University of Oil and Gas Engineering[in Ukrainian]
26. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., & Parfeniuk, O. V. (2018). *Kompiuterna hrafika: SolidWorks [Computer graphics: SolidWorks]*. Kherson: OLDI-plus [in Ukrainian]
27. Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., & Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks [Engineering graphics in SolidWorks]*. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian]
28. Kolodky halmovi kompozytsiini z sitchato-drotianym karkasom dlia zaliznychnykh vantazhnykh vahoniv. Tekhnichni umovy [Composite brake pads with a mesh-wire frame for railway freight cars. Technical specifications. (2001). *TU U 6-05495978.017-2001* [in Ukrainian].

Ж.О. Семко

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-02-50, E-mail: shaganne@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0047-8509>

Н.П. Герко

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-02-50, E-mail: ninagerko@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9216-8511>

ТЕХНІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ В УКРАЇНІ. ДОБРОВІЛЬНА ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ. ПЕРЕВАГИ, ПОМИЛКИ, ПЕРСПЕКТИВИ

Законом України Про технічні регламенти та оцінку відповідності закріплено виконання обов'язків, що взяла на себе наша країна підписанням Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони у сфері оцінки відповідності продукції вимогам технічних регламентів. Положеннями цього закону встановлено терміни та їхні визначення, правила щодо діяльності, права та обов'язки учасників процесу, вимоги до продукції, що надається на ринку, вводиться в обіг або в експлуатацію, вимоги щодо здійснення процедур оцінки відповідності. Законом також встановлено засади та форми здійснення добровільної оцінки. При цьому, розгляд особливостей застосування добровільної оцінки відповідності, можливі ризики та помилки, переваги та перспективні напрямки нормативно – правовими актами не передбачено. Ці актуальні питання висвітлюються у національних стандартах та знаходять своє відображення у правилах здійснення діяльності з оцінки відповідності. Крім того, слід взяти до уваги, що у законодавчих актах наведено узагальнене визначення об'єктів технічного регулювання. Отже, цілком є доцільним у підзаконних актах конкретизувати перелік таких об'єктів, з наданням інформації, які саме об'єкти потребують обов'язкових дій з оцінки відповідності у розумінні виконання положень закону. Також, якщо це є об'єктивно ґрунтовним та доцільним ці переліки можуть містити вказівки щодо застосування певних модулів оцінки відповідності. Ці переліки можуть бути наведені як в самих технічних регламентах (чи відповідних додатках до технічних регламентів), так і можуть бути оформлені окремими документами, які затверджують відповідні органи виконавчої влади залежно від їхньої сфери діяльності. Законодавчо встановлено, що здійснення добровільної оцінки відповідності не вимагається технічними регламентами, але це не забороняє

© Семко Ж.О., Герко Н.П., 2024

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

проведення такої оцінки в будь-яких формах, включаючи випробування, декларування відповідності, сертифікацію та інспектування, та на відповідність будь-яким заявленим вимогам.

Ключові слова: технічні регламенти, процедури оцінки відповідності, добровільна оцінка відповідності, відповідність продукції встановленим вимогам.

Незабаром відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 692 Про внесення зміни до пункту 2 постанови Кабінету Міністрів України від 26 січня 2022 р. № 53 [1] набере чинності постанова № 53 Про внесення змін до Технічного регламенту безпеки інфраструктури залізничного транспорту і Технічного регламенту безпеки рухомого складу залізничного транспорту [2]. У зв'язку з цією подією постає актуальним питання, що буде із сертифікацією у сфері залізничного транспорту зокрема з добровільною її формою? Чи не стане проведення оцінки відповідності в законодавчо регульованій сфері панацеєю під час здійснення процесів щодо проектування, створення, виробництва, введення в експлуатацію та під час експлуатації продукції, що має відповідати вимогам технічних регламентів, та забезпечення ринку продукцією належної якості з належним рівнем безпеки.

Для отримання відповідей на поставлені вище питання слід нагадати, що законом України Про технічні регламенти та оцінку відповідності [3] встановлено такі положення:

«— закон регулює відносини, що виникають у зв'язку з розробленням та прийняттям технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінки відповідності, їх застосуванням стосовно продукції, яка вводиться в обіг, надається на ринку або вводиться в експлуатацію, а у випадках, визначених частиною другою статті 11 цього Закону, - перебуває в експлуатації в Україні, а також здійсненням добровільної оцінки відповідності (частина перша статті 2);

— дія закону поширюється на всі види продукції, за винятком: об'єктів будівництва; об'єктів авіаційної діяльності; виробів мистецтва та унікальних виробів народного художнього промислу; предметів антикваріату» (частина друга статті 2);

«— дія закону не поширюється на санітарні та фітосанітарні заходи, суб'єктів авіаційної діяльності» (частина третя статті 2).

Отже, продукція, що не підпадає під вище наведені виключення, стає об'єктом сфери технічного регулювання, якого стосуються положення закону [3].

Але, слід визнати, що у разі наявності загальної вимоги щодо продукції, яка має відповідати вимогам технічних регламентів із застосуванням під час їхньої оцінки передбачених процедур оцінки відповідності, у проведенні саме оцінки відповідності деяких видів продукції, зокрема для залізничного транспорту, є певні особливості.

Відповідно до технічних регламентів у сфері залізничного транспорту визначено такі об'єкти технічного регулювання:

- 1) у технічному регламенті безпеки інфраструктури залізничного транспорту [4]:
 - залізничні колії загального користування (в тому числі під'їзні колії),
 - інженерні споруди (мости, тунелі, віадуки тощо),
 - електричні мережі, тягові підстанції та інші пристрої технологічного електропостачання, контактну мережу,
 - системи сигналізації, централізації, блокування, зв'язку і телекомунікацій, інформаційні комплекси та системи управління рухом поїздів,

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

– шляхи доступу пасажирів та вантажів до елементів інфраструктури,
– захисні лісонасадження,
– локомотивні і вагонні депо, пункти технічного обслуговування вагонів,
– вокзали, а також інші будівлі, споруди, пристрої та обладнання, що забезпечують функціонування такого комплексу та використовуються для надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом;

2) у технічному регламенті безпеки рухомого складу залізничного транспорту [5]:

- локомотиви;
- моторвагонний рухомий склад;
- пасажирські вагони локомотивної тяги (далі - пасажирські вагони);
- вантажні вагони;
- спеціальний рухомий склад залізничного транспорту;
- складові частини рухомого складу залізничного транспорту.

Не має сумнівів, що таке загальне визначення об'єктів технічного регулювання ставить цілком обґрунтоване питання: чи усі ці об'єкти потребують дій з оцінки відповідності у розумінні виконання положень закону [3].

На це питання є відповідь у додатках під номером 1 до кожного з перелічених технічних регламентів [4] та [5] згідно із постановою № 53 [2].

Отже, є ПЕРЕЛІК складових елементів інфраструктури залізничного транспорту, які підлягають оцінці відповідності та ПЕРЕЛІК рухомого складу та його складових частин, що підлягають оцінці відповідності, в яких надано не тільки конкретні види та типи продукції, але й процедури оцінки відповідності, за якими може бути проведена оцінка відповідності. Виконання цих вимог забезпечує презумпцію відповідності продукції встановленим у технічних регламентах вимогам.

Але, до цих переліків, звісно, потрапила продукція, яку визначено як об'єкти, відповідність яких має особливий вплив на загальну безпеку залізничного транспорту в цілому та на його окремі системи чи підсистеми зокрема.

Тоді справедливим стає питання: що робити з іншими об'єктами залізничного транспорту, які не потрапили до цих переліків, оскільки відповідно до частини четвертої статті 11 закону України Про залізничний транспорт [6]:

– «рухомий склад, обладнання та інші технічні засоби, які постачаються залізничному транспорту, повинні відповідати вимогам безпеки руху, схоронності вантажів, охорони праці, екологічної безпеки і мати відповідний сертифікат.»

Виникає інше логічне питання: який документ можна вважати відповідним сертифікатом?

У розумінні закону [3] сертифікат (у тому числі сертифікат відповідності), а також декларація (в тому числі декларація про відповідність), звіт, висновок, свідоцтво, або будь-який інший документ, що підтверджує виконання заданих вимог, які стосуються об'єкта оцінки відповідності є документом про відповідність. При цьому, в законі [3] надано визначення таких термінів:

декларування відповідності – підтвердження відповідності першою стороною;

сертифікація – підтвердження відповідності третьою стороною, яке стосується продукції, процесів, послуг, систем або персоналу.

Таким чином, підтвердження відповідності продукції засвідчується одним із наведених вище документів (декларація, сертифікат, звіт, висновок, свідоцтво).

Тоді треба розібратися хто і за яких умов видає документи, що підтверджують відповідність.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Отже, якщо сертифікація – це підтвердження відповідності третьою стороною, то сертифікат відповідності, як документ, може надавати та третя сторона, що проводила оцінку відповідності. Згідно із визначенням закону [3] це – органи з оцінки відповідності – органи (підприємство, установа, організація чи їх структурний підрозділ), що здійснюють діяльність з оцінки відповідності, включаючи калібрування, випробування, сертифікацію та інспектування.

До речі, оцінку відповідності може здійснювати перша сторона (виробник або його уповноважений представник) та друга сторона (користувач, споживач). Кожна з цих сторін за результатами оцінки відповідності може скласти документи, що підтверджують відповідність продукції (протоколи випробувань, звіти, висновки, тощо), але декларацію про відповідність складає під свою особисту відповідальність тільки виробник або його уповноважений представник, від імені та під відповідальність виробника (стаття 28 закону [3]). При цьому, не має різниці чи то мова йде про продукцію, що внесена до переліків додатку 1 до технічних регламентів [4] та [5], чи то продукцію, якої в цих переліках не має. Декларація має бути складена на будь-яку продукцію відповідно до положень частини першої статті 2 закону [3].

Але очевидно, що заявлена виробником відповідність продукції має базуватись на фактах, які мають відповідне підтвердження. Тобто, у разі відсутності продукції у переліках додатку 1 до технічних регламентів, є доцільним проведення добровільної оцінки відповідності за участю незалежної (чи то від виробника, чи то від користувача) організації. Таку можливість передбачено частиною другою статті 24 закону [3], а саме: «добровільна оцінка відповідності здійснюється на добровільних засадах, в будь-яких формах, включаючи випробування, декларування відповідності, сертифікацію та інспектування, та на відповідність будь-яким заявленим вимогам» з наголошенням у частині першій цієї статті, що «здійснення добровільної оцінки відповідності не вимагається технічними регламентами». При цьому, орган з оцінки відповідності залучається до здійснення добровільної оцінки відповідності на умовах, визначених договором між заявником і таким органом.

Отже, здійснення добровільної оцінки відповідності цілком є рішенням виробника або його уповноваженого представника. Але, і в цьому випадку є деякі особливості.

Як зазначено вище однією із форм оцінки відповідності є декларування, тобто заява виробника про відповідність його продукції будь-яким заявленим вимогам. Ці вимоги можуть бути наведені у будь-яких нормативних документах (національних стандартах, галузевих або стандартах підприємства), у технічних умовах на продукцію, та взагалі у документах, в яких можуть бути подані не стандартизовані рішення щодо виконання вимог. При цьому, слід розуміти, що в силу суб'єктивних обставин оцінка відповідності, проведена першою стороною із складанням декларації, може виявитися не зовсім або зовсім недостовірною. Тому, задля створення цілковитої довіри до відповідності продукції, при складанні декларації є доцільним використовувати посилання на документи, що підтверджують відповідність, видані третьою стороною. Тобто, обґрунтованим фактом достовірності заявленої відповідності продукції для виробника є проведення оцінки відповідності третьою стороною з видачею за результатами такої оцінки сертифіката відповідності (у разі залучення органу з сертифікації), або протоколу випробувань (якщо до оцінки відповідності була залучена випробувальна лабораторія), або звіту про аудит (орган з сертифікації систем менеджменту), або звіту чи висновку (орган з інспектування).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таким чином, до переваг добровільної оцінки відповідності можна віднести можливість проводити таку оцінку щодо не стандартизованих рішень. Але в даному випадку стає об'єктивно необхідною умовою те, що оцінювач має дуже добре розумітися на вимогах, що встановлені до цієї продукції, особливостях технологічного процесу її виготовлення, та на досягненнях технічного прогресу у відповідній сфері діяльності.

Іншою перевагою добровільної оцінки є той факт, що проведення оцінки за участю третьої сторони залежить суто від рішення виробника з наступною відповідальністю щодо складання декларації на підставі результатів цієї оцінки.

Як в кожній справі не можливо уникнути певних ризиків та помилок, так й під час прийняття рішення та здійснення добровільної оцінки цілком є можливим здійснити помилкові дії. Насамперед це може стосуватися правильності вибору вимог, стосовно яких буде проводитись оцінка. Очікування споживачів певних якостей продукції важливий фактор у прийнятті рішення, але не єдиний, який може досить суттєво вплинути на процес. Характер виробництва, його оснащення виробничим обладнанням, якість сировини, комплектувальних виробів, які до речі теж можуть бути або є об'єктом оцінки відповідності. Можливим стає досить великий ризик не врахувати якусь невеличку деталь або характеристику і на виході отримати незадовільний результат. Отже, незначна помилка у виборі суттєвих вимог, щодо яких має бути проведена добровільна оцінка відповідності, може обернутись досить важкими наслідками.

Ще однією дуже поширеною помилкою є думка, що принцип добровільного застосування стандартів дозволяє вважати: «хочу – виконую, не хочу – не виконую». Але це зовсім не так. Принцип застосування стандартів на добровільній основі наведений у частині другій статті 23 закону України Про стандартизацію [7], але означає це тільки те, що обрання стандарту, який буде застосовано для виготовлення продукції, є добровільним. А якщо виробник проголосив, що його продукція відповідає вимогам добровільно обраного стандарту, це обумовлює обов'язкове виконання вимог цього стандарту. Крім того у частині другій статті 23 закону [7] є уточнення, що у випадках, встановлених нормативно-правовими актами, застосування стандартів є обов'язковим.

Дуже доречним у сенсі мінімізації ризиків є впровадження ризик-орієнтовного підходу на основі стандартів ДСТУ ISO 31000 [8] та ДСТУ EN IEC 31010 [9].

З огляду на прийняте в Україні законодавство щодо впровадження системи технічного регулювання, відповідно до положень якої оцінка відповідності продукції, яку надають на ринку, вводять в обіг або експлуатацію, а у певних випадках експлуатують, є обов'язковою з точки зору виконання вимог технічних регламентів, що розповсюджуються на цю продукцію, визначити перспективи здійснення добровільної оцінки відповідності досить важко. Але зважаючи на те, що основною метою впровадження системи технічного регулювання є створення, виробництво та надання до застосування безпечної продукції, перспективним напрямком здійснення добровільної оцінки можна вважати створення загально поширеної думки щодо важливості для суспільства наявності такої продукції, що не створює ніяких загроз або має мінімально допустимі ризики щодо небезпеки. Отже, досягнення основної мети щодо отримання загальної безпечності продукції будь-якого виду чи типу шляхом здійснення добровільної оцінки відповідності є не тільки перспективною, але й об'єктивно необхідною умовою для створення життєвого простору у безпечному середовищі.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Наприкінці слід додати, що безумовною вимогою надання на ринок, введення в обіг чи експлуатацію безпечної продукції є положення закону України Про загальну безпечність нехарчової продукції [10], в якому визначено, що:

а) доказом безпечності продукції є її відповідність національним стандартам, що гармонізовані з відповідними європейськими стандартами;

б) у разі відсутності вимог щодо забезпечення безпечності продукції відповідно до законодавства або за відсутності чи незастосуванні національних стандартів, гармонізованих з європейськими, доказами, що продукція є небезпечною, можна вважати такі умови щодо відповідності продукції в такій послідовності:

1) національним стандартам інших держав щодо забезпечення безпечності продукції, гармонізованим з відповідними європейськими та міжнародними стандартами;

2) регіональним стандартам щодо забезпечення безпечності продукції відповідно до міжнародних договорів України;

3) стандартам України щодо забезпечення безпечності продукції, крім стандартів, що гармонізовані з європейськими;

4) кодексам усталеної практики із забезпечення безпечності продукції у відповідних галузях;

5) досягненням науки і техніки у сфері безпечності продукції;

6) очікуванням споживачів (користувачів) щодо безпечності продукції за звичайних або обґрунтовано передбачуваних умов її використання (у тому числі щодо строку служби та за необхідності введення в експлуатацію вимог стосовно встановлення і технічного обслуговування).

в) продукція не може вважатися небезпечною лише з тих підстав, що вже існують можливості досягнення вищого рівня безпечності або що на ринку пропонується інша продукція, яка становить менший ступінь ризику.

Отже, менш складний шлях підтвердження безпечності продукції полягає в її оцінці вимогам національних стандартів, гармонізованих з європейськими, в тому числі і з використанням добровільної оцінки відповідності.

Висновки.

1. Безпечність продукції, що надається на ринку, вводиться в обіг або експлуатацію є основною метою створення життєвого простору суспільства у безпечному середовищі.

2. Одним із шляхів підтвердження безпечності продукції є оцінка її відповідності вимогам технічних регламентів, а також, застосування добровільної оцінки будь-яким встановленим вимогам, зокрема у національних стандартах.

3. Створення загальної суспільної думки щодо перспективності та необхідності проведення оцінки відповідності продукції, зокрема на добровільних засадах, надасть змогу отримувати та використовувати продукцію, що є взагалі безпечною або такою, що створює мінімально можливі загрози.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 692 Про внесення зміни до пункту 2 постанови Кабінету Міністрів України від 26 січня 2022 р. № 53 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/692-2024-%D0%BF#Text>

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 січня 2022 р. № 53 Про внесення змін до Технічного регламенту безпеки інфраструктури залізничного транспорту і Технічного регламенту

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

безпеки рухомого складу залізничного транспорту URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/53-2022-%D0%BF#Text>

3. Закон України від 15 січня 2015 року № 124-VIII Про технічні регламенти та оцінку відповідності. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text>

4. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2013 року № 494 Про затвердження Технічного регламенту безпеки інфраструктури залізничного транспорту. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/494-2013-%D0%BF#Text>

5. Постанова Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 року № 1194 Про затвердження Технічного регламенту безпеки рухомого складу залізничного транспорту. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-%D0%BF#Text>

6. Закон України від 4 липня 2014 року № 273/96-ВР Про залізничний транспорт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96-%D0%B2%D1%80#Text>

7. Закон України від 5 червня 2014 року № 1315-VII Про стандартизацію. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text>

8. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT) Менеджмент ризиків. Принципи та настанови. Чинний від 01.01.2019. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 23 с.

9. ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 (EN ІЕС 31010:2019, IDT; ІЕС 31010:2019, IDT) Управління ризиками. Методи оцінювання ризиків. Чинний від 31.12.2023. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2023. 130 с.

10. Закон України від 2 грудня 2010 року № 2736-VI Про загальну безпечність нехарчової продукції. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2736-17#Text>

Zh.O. Semko

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

Tel.: +380 536(6) 60250, E-mail: shaganne@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0047-8509>

N.P. Herko

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

Tel.: +380 536(6) 60250, E-mail: ninagerko@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9216-8511>

TECHNICAL REGULATION IN UKRAINE, VOLUNTARY CONFORMITY ASSESSMENT. ADVANTAGES, FAILURES, PROSPECTS

The Law of Ukraine On Technical Regulations and Conformity Assessment formalizes the fulfillment of the obligations assumed by our country by signing the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand, in the scope of products conformity assessment to the requirements of technical regulations. The provisions of this law set out terms and their definitions, rules for activities, rights and obligations of participants in the process, requirements for products placed on the market, put into circulation or into operation, and requirements for conformity assessment procedures. The Law also establishes the principles and forms of voluntary assessment. At the same time, the regulations do not provide for consideration of the specific features of voluntary conformity assessment, possible risks and shortcomings, advantages and perspective approaches. These relevant issues are covered in national standards and described in the guidance for the conduct of conformity assessment activities. In addition, it should be taken into account that the legislative acts provide a

generalized definition of the objects of technical regulation. There fore, it is quite reasonable to specify the list of such objects in the by-laws, providing information on which objects require mandatory conformity assessment actions as realized by implementation of law provisions. In addition, if it is objectively reasonable and appropriate, these lists may contain instructions on the application of certain conformity assessment modules. These specified objects may be provided either in the technical regulations themselves (or in the relevant annexes to the technical regulations) or in separate documents approved by the relevant executive authorities depending on their field of activity. The law stipulates that voluntary conformity assessment is not required by technical regulations, but it does not prohibit such assessment in any form, including testing, conformity declaration, certification and inspection, and compliance with any specified requirements.

Key words: *technical regulations, conformity assessment procedures, voluntary conformity assessment, compliance of products with established requirements.*

REFERENCES

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13 chervnya 2024 roku № 692 Pro vnesennia zminy do punktu 2 postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 26 sichnya 2022 roku [*Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine On making changes to paragraph 2 of the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 2022, Yanuar 26 ”] (2024. Yune 13). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/692-2024-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].*
2. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 26 sichnnya 2022 roku № 53 Pro vnesennia zmin do Tekhnichnoho rehlamentu bezpeky infrastruktury zalizhnychnoho transport i Tekhnichnoho rehlamentu bezpeky rukhomoho skladu zalizhnychnoho transportu [*Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On approval of changes to the Technical Regulations of Infrastructure of RailwayTransport and for the Safety of Rolling Stock of Railway Transport”*]. (2022, January 26). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/53-2022-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy vid 15 sichnya 2015 roku № 124-VIII Pro tekhnichni rehlamenti ta otsinku vidpovidnosti [*Law of Ukraine “On technical regulations and conformity assessment ”, No. 124-VIII*]. (2015. January 15). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text> [in Ukrainian].
4. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11 lypnya 2013 roku № 494 Pro zatverdzhennya Tekhnichnoho rehlamentu bezpeky infrastruktury zalizhnychnoho transport [*Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On the approval of the Technical Regulations for the Safety of Infrastructure of Railway Transport”, № 494*]. (2013, July 11). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/494-2013-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
5. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 grudnya 2015 roku № 1194 Pro zatverdzhennya Tekhnichnoho rehlamentu bezpeky rukhomoho skladu zalizhnychnoho transportu” [*Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “ On the approval of the Technical Regulations for the Safety of Rolling Stock of Railway Transport ”, № 1194*]. (2015, December 30). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
6. Zakon Ukrainy vid 4 lypnya 1996 roku № 273/96-VR Pro zaliznychnyi transport [*Law of Ukraine “On Railway Transport” No. 273/96-VR*]. (1996, July 4). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96#Text> [in Ukrainian].
7. Zakon Ukrainy vid 5 chervnya 2014 roku № 1315-VII Pro standartyzatsiiu [*Law of Ukraine “On standardization”, No. 1315-VII*]. (2014, June 5). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/311315-18#Text> [in Ukrainian].
8. Menedzhment ryzykiv. Pryntsypy ta nastanovy (ISO 31000:2018, IDT). [*Risk management — Guidelines*], (2019). DSTU ISO 31000:2018. Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in English]
9. Upravlinnya ryzrkamy. Metody otsinyuvannya ryzykiv (EN IEC 31010:2019, IDT; IEC 31010:2019, IDT) [*Risk management — Risk assessment techniques*], (2023). ДСТУ EN IEC 31010:2022. Kyiv :DP «UkrNDNTS» [in English]
10. Zakon Ukrainy vid 2 hrudnya 2010 roku № 2736-VI Pro zahalnu bezpechnist nekharchovoi produktsii [*Law of Ukraine On the general safety of non-food products*] (2010, December 2). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2736-17#Text>

Д.О. Брусило

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (096) 205 5692, E-mail: tyschkovez28@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9976-0793>

І.В. Гладких

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (063)171 5009, E-mail: innagladkih59@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8674-2659>

ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ: АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ НА ОСНОВІ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ НА INNOTRANS 2024

У статті досліджуються перспективи впровадження водневих технологій у залізничному транспорті на основі інноваційних моделей представлених на виставці InnoTrans 2024, яка відбулася з 24 по 27 вересня 2024 року в Messe Berlin.

Виставка InnoTrans цього року встановила рекорд: найбільша виставкова площа з моменту заснування в 1996 році, 2 940 експонентів з 59 країн займають весь виставковий центр.

В статті проведено аналіз інноваційних рішень, що використовують водневі паливні елементи, з акцентом на їхній потенціал у зменшенні викидів парникових газів та переході до екологічно чистих видів транспорту.

Водневі технології в залізничному транспорті мають значні перспективи, зокрема: екологічність, енергоефективність, зниження залежності від викопного пального, інвестиції в інфраструктуру, системи зберігання енергії.

Однак існують і виклики, такі як висока вартість виробництва водню необхідність в розвитку відповідної інфраструктури та забезпечення безпеки. Але поступове вирішення цих питань може відкрити нові можливості для залізничного транспорту і це підтверджує зацікавленість європейської залізничної ініціативи «Shift2Rail», яка підтримує розширення використання водневих поїздів у Європі. Shift2Rail – перша європейська залізнична ініціатива, спрямована на пошук цілеспрямованих досліджень, інновацій та ринкових рішень шляхом прискорення інтеграції нових та передових технологій в інноваційні рішення для залізничної продукції.

Ключові слова: водневі технології, водневі поїзди, водневий двигун, залізничний транспорт, екологічні рішення, дослідження та інновації, безпека експлуатації

© Брусило Д.О., Гладких І.В., 2024

Вступ та постановка проблеми. Глобальні виклики, пов'язані з кліматичними змінами та екологічною нестабільністю, змушують транспортну індустрію шукати нові, більш сталі рішення. Традиційні дизельні та навіть електричні поїзди, попри їхні переваги, не завжди є екологічно безпечними або економічно доцільними, особливо в регіонах із обмеженою електрифікацією залізничної інфраструктури. Одним із найперспективніших напрямків для подолання цих викликів є розвиток водневих технологій.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження, проведені в різних містах та країнах, показали, що використання відновлюваного палива може значно зменшити шумове забруднення та викиди, що створюються громадським транспортом. Якщо Європа збільшить кількість водневих автобусів удвічі, це дозволить зменшити витрати на інфраструктуру та пришвидшити впровадження технології загалом [1].

Це відкриває нові перспективи для залізничного транспорту, де водневі поїзди можуть конкурувати за ефективністю з дизельними аналогами.

Мета статті – дослідити перспективи впровадження водневих технологій у залізничному транспорті на основі останніх досягнень, представлених на виставці InnoTrans 2024. У статті здійснюється аналіз інноваційних рішень, що використовують водневі паливні елементи, з акцентом на їхній потенціал у зменшенні викидів парникових газів та переході до екологічно чистих видів транспорту.

Матеріал та результати досліджень. У статті використано дані з інноваційних тенденцій, представлених на виставці InnoTrans 2024, а також інформацію про сучасні водневі технології у залізничному транспорті, що демонструють значний потенціал для зменшення викидів вуглекислого газу та перехід на більш ефективні екологічні рішення.

Водень є універсальним паливом для транспортних засобів завдяки своїй екологічній чистоті: його використання не супроводжується викидами шкідливих речовин, а побічним продуктом є вода. Європа вже включила водень у свою «зелену стратегію» декарбонізації транспорту [2].

Поширення водню не обмежується лише автомобільним громадським транспортом: зустрічаються приклади водневих поїздів і кораблів. Вважається, що за витратами водневі поїзди можуть конкурувати із дизельними поїздами, існує навіть окрема ініціатива Спільного підприємства «Shift2Rail», яка підтримує розширення використання водневих поїздів у Європі. Провідні суднохідні оператори та виробники також вивчають доцільність використання водню; понад 120 компаній створили коаліцію «Gettingto Zero», яка прийняла на себе амбіційне зобов'язання розробити проект комерційно вигідних суден з нульовими викидами. В даний час діють пробні проекти використання водневих паромів в Норвегії, Німеччині та Бельгії [3].

InnoTrans 2024: Вітрина інновацій

На виставці InnoTrans 2024, що відбулася в Берліні, водневі поїзди та інші технології на основі водневого палива стали однією з центральних тем. Цей вид транспорту демонструє значний потенціал для зниження викидів парникових газів і поступової заміни дизельних локомотивів. Водневі поїзди забезпечують екологічно чистий вид транспорту, працюючи на водні та виділяючи лише воду як побічний продукт, що робить їх привабливими для регіонів із частковою електрифікацією або складними ландшафтами.

InnoTrans – це також про екологічність та енергоефективні технології. Тож, компанії виставили на рейки виставки гібридні потяги, локомотиви на водневому паливі тощо.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Компанія Deutz представила новий водневий двигун, який стане важливим кроком у розвитку екологічного транспорту.

Водневий двигун TCG 7.8 H2 (рис. 1), потужністю 200 кВт, пропонує низький рівень шуму та високу ефективність. Він може бути використаний у різних сферах, зокрема у залізничному транспорті.

Deutz також представила нову систему заправки для водневих резервуарів. Резервуари можуть вміщати від 4 до 80 кг водню, що робить їх гнучкими та придатними для різних видів транспорту. Ця технологія дозволяє зменшити викиди парникових газів і скоротити використання традиційного палива.



Рис. 1. Водневий двигун TCG 7.8 H2 від компанії Deutz

Залізничний автобус RS ZERO (рис. 2) від компанії Stadler, оснащений водневими двигунами Deutz.



Рис. 2. Гібридний потяг RS ZERO

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Залізничний автобус RS ZERO (рис. 2) від компанії Stadler, оснащений водневими двигунами Deutz, також викликав великий інтерес на виставці. Ангар Брокмейер, представник компанії, пояснив, що водневі двигуни компактніші та зручніші в обслуговуванні, ніж модулі паливних елементів. Це спрощує процес їх експлуатації і знижує витрати.

Оператори транспорту можуть використовувати технології, які вже застосовуються для обслуговування дизельних двигунів, що дозволяє легко перейти на водневі рішення. Крім того, використання водневого палива допомагає знизити вуглецевий слід, що є критично важливим у сучасних умовах боротьби зі зміною клімату [4].

Компанії Vossloh Rolling Stock і Duisportrail представили Modula BFC (рис. 3), новий локомотив на акумуляторно-водневих паливних елементах, у рамках свого постійного співробітництва. Цей локомотив розроблений для задоволення зростаючого попиту на екологічні рішення у сфері залізничних вантажоперевезень з використанням водневої технології для зменшення викидів. Modula BFC буде встановлений на терміналі Duisburg Gateway Terminal (DGT), комбінованому транспортному вузлі, що працює з акцентом на кліматичну нейтральність завдяки фотоелектричній системі та водневій інфраструктурі.

Розроблений у тісній співпраці з материнською компанією CRRC ZELC, яка має досвід у технології водневих паливних елементів, Modula BFC є кроком до екологічної мобільності. Під час розробки локомотива було вирішено кілька технічних завдань, зокрема оптимізація баків з вуглецевого волокна, тиску в системі та чутливості до ударів, що забезпечує надійність і безпеку локомотива в експлуатації [5].



Рис. 3. Локомотив на акумуляторно-водневих паливних елементах Modula BFC

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

SBB Cargo та Stadler підписали угоду, яка передбачає постачання до 129 гібридних електровозів. На першому етапі застарілі моделі локомотивів замінять 36 нових.

Польська Pesa та шведські VÄTE Rail та Hankavik підписали на виставці угоду про наміри наприкінці 2027 – на початку 2028 року ввести у Швеції в експлуатацію маневрові локомотиви на водневому паливі. Компанії також мають намір спільно розвинути інфраструктуру для заправки водневим паливом та створювати установки виробництва водню з екологічно чистих джерел енергії.

Локомотив SM42-6Dn – результат співробітництва Pesa із залізницями Польщі та компанією PKN Orlen. Це перший на європейському ринку локомотив на водневому паливі, який вже отримав дозвіл на експлуатацію. Він має чотири асинхронні тягові двигуни загальною потужністю 720 кВт, а також два модулі водневих паливних елементів потужністю по 85 кВт. Можливо, на InnoTrans-2026 поляки навіть встигнуть продемонструвати прототип локомотива 2H, який крім водневих паливних елементів буде живитися ще й від контактної мережі. Хоча розробники у прогнозах більш стримані – ставлять дедлайн на кінець 2026-го – початок 2027-го.

Корпорація CRRC Corporation Limited представила прототип водневого потягу, здатного розвивати швидкість до 200 км на годину, та автономний залізничний швидкісний транспорт нового покоління. China State Railway Group показала свої високошвидкісні поїзди (рис. 4), здатні розвивати швидкість 350 км на годину [6].



Рис. 4. Сінова H2 - китайський прототип водневого поїзда

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Canadian Pacific Kansas City (CPKC) нещодавно провела перші випробування водневих локомотивів, які можуть змінити ринок вантажоперевезень. Ці випробування продемонстрували ефективність нового локомотива CP 1200 (рис. 5). Разом із тендером для водневого пального CP 10001 він пройшов шляхом із 152 завантажених напіввагонів. Випробування відбулися між станціями Спарвуд і Голден у Британській Колумбії, про це повідомляє портал новин про залізничний транспорт Railway Supply.



Рис. 5. Водневі локомотиви CPKC на випробуваннях

На наступний день локомотив повернувся назад у Спарвуд, але вже з порожніми напіввагонами. Ці випробування стали першими з трьох запланованих етапів. У співпраці з Elk Valley Resources, що входить до групи Glencore, команда CPKC оцінює надійність локомотивів на водневому паливі.

Використання водневих технологій пропонує безліч переваг для екології. По-перше, водневе паливо допомагає значно скоротити викиди вуглецю. По-друге, такі технології стають більш ефективними і можуть змінити спосіб, яким ми здійснюємо вантажоперевезення. Водневі локомотиви CPKC вже зараз демонструють позитивні результати в реальних умовах.

Не дивно, що експерти впевнені в майбутньому водневих локомотивів. Випробування CPKC відкривають нові горизонти для сталого транспорту. Успішне застосування водневих технологій може не лише поліпшити екологічну ситуацію, але й підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту.

Таким чином, CPKC робить важливі кроки до впровадження інноваційних рішень. Наступні етапи випробувань допоможуть уточнити можливості водневих локомотивів та поліпшити їх ефективність. В майбутньому ми можемо очікувати, що ці локомотиви займуть важливе місце в системі вантажоперевезень у Північній Америці [7].

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Нині водень претендує на статус одного з основних каталізаторів енергетичної трансформації у напрямку сталого розвитку суспільства із всеохоплюючим застосуванням відновлювальних джерел енергії. За прогнозами експертів, до 2050 р. попит на водень тільки в Європі має зрости у вісім разів порівняно з 2020 р. (до 2500 ТВт-год на рік) [8].

Приклад порівняння технічних характеристик водневих двигунів

Порівняння технічних характеристик водневих двигунів потребує розгляду різних типів технологій, які використовуються для перетворення водню на енергію. Основні типи водневих двигунів – це паливні елементи та водневі двигуни внутрішнього згоряння (ICE) [9, 10].

Основні параметри для порівняння:

1. Технологія роботи

Паливні елементи (Fuel Cells):

Прямо перетворюють водень на електроенергію через хімічну реакцію з киснем, випускаючи водяну пару. Використовуються для живлення електродвигунів.

Водневі двигуни внутрішнього згоряння (H₂-ICE):

Працюють за принципом традиційних ДВЗ, але спалюють водень замість бензину чи дизеля.

Використовують модифіковані технології ДВЗ для забезпечення безпеки та ефективності.

2. Ефективність

Паливні елементи:

Ефективність конверсії енергії ~50–60%.

Краще підходять для легкових автомобілів та стаціонарних установок.

H₂-ICE:

Ефективність нижча – близько 30–40% (подібно до бензинових двигунів).

Ефективність залежить від тиску водню та умов роботи.

3. Енергетична щільність та запас ходу

Паливні елементи:

Енергетична щільність залежить від системи зберігання водню.

Автомобілі на паливних елементах, як Toyota Mirai, мають запас ходу 500–600 км.

H₂-ICE:

Менш ефективно використовують водень, тому запас ходу менший, хоча залежить від розміру бака.

4. Викиди

Паливні елементи:

Єдиний побічний продукт – вода. Абсолютно екологічно чисті.

H₂-ICE:

Викиди CO₂ відсутні, але можливі.

Висновки

Водневі технології в залізничному транспорті є перспективним напрямом, який активно розвивається у світі, зокрема у сфері екологічно чистих перевезень. Основна новизна цих технологій полягає в заміні традиційних дизельних локомотивів на транспорт, що працює на водневих паливних елементах. Це дозволяє суттєво зменшити викиди парникових газів і знизити залежність від викопного палива.

Ключові аспекти новизни:

1. Впровадження водневих поїздів

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Перша серійна модель: Поїзди на водневих паливних елементах, як-от Coradia iLint (виробництва Alstom), вже використовуються в Європі, зокрема в Німеччині та Австрії.

Інноваційний дизайн: Ці поїзди оснащені водневими баками, паливними елементами та батареями для накопичення енергії. Водень взаємодіє з киснем, виробляючи електроенергію, яка живить двигуни.

2. Переваги екологічності

Нульові викиди: Єдиним побічним продуктом роботи водневих двигунів є вода.

Зменшення шуму: Такі поїзди працюють тихіше, ніж дизельні аналоги.

3. Інфраструктурні інновації

Водневі заправки: Розробляються спеціалізовані станції для виробництва, зберігання та заправки водню. Наприклад, у Німеччині реалізуються великі проекти із забезпечення водневої інфраструктури.

Виробництво «зеленого» водню: Використання енергії з відновлюваних джерел (сонця, вітру) для отримання водню шляхом електролізу.

4. Регіональні ініціативи

Водневі потяги використовуються як альтернатива електрифікації на малозавантажених залізничних лініях, де модернізація інфраструктури є економічно не вигідною.

У Японії, США, Китаї та країнах ЄС проводяться пілотні проекти щодо використання водневих локомотивів у вантажних перевезеннях.

5. Розвиток технологій паливних елементів

Поліпшуються ефективність і довговічність паливних елементів.

Знижуються витрати на виробництво та експлуатацію.

6. Економічні перспективи

Очікується, що масштабне впровадження водневих технологій здешевить виробництво та зробить їх конкурентоспроможними щодо традиційних видів палива.

Теоретична значимість водневих технологій

Наукова основа для сталого розвитку:

Водневі технології сприяють формуванню нових знань у галузі хімії, фізики та матеріалознавства. Вивчення реакцій водню в паливних елементах, оптимізація процесів електролізу та дослідження ефективності енергетичних систем дають фундамент для розробки екологічно безпечних джерел енергії.

Моделювання енергосистем:

Теоретичні моделі використання водню дозволяють прогнозувати ефективність його застосування в різних секторах економіки, враховуючи енергетичний баланс, економічні витрати та екологічний вплив.

Інноваційний потенціал:

Водень розглядається як ключовий елемент для розвитку відновлюваної енергетики, особливо у збереженні та транспортуванні енергії. Теоретичні розробки в цій сфері сприяють створенню інфраструктури для «зеленого» водню.

Стимул до міждисциплінарних досліджень:

Водневі технології об'єднують різні галузі знань – від енергетики до транспорту, створюючи платформу для розвитку інженерії, економіки, соціології та екології.

Практична значимість водневих технологій

Енергетична безпека та диверсифікація джерел енергії:

Водень забезпечує незалежність від традиційних викопних джерел енергії, зменшуючи ризики, пов'язані зі змінами на ринках нафти та газу.

Екологічні переваги:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Водневі паливні елементи генерують електроенергію без викидів вуглекислого газу, а єдиним побічним продуктом є вода. Це має вирішальне значення для боротьби зі зміною клімату та забрудненням довкілля.

Інновації у транспорті:

Водневі технології вже успішно використовуються у:

Автомобілях (Toyota Mirai, Hyundai Nexo),

Потягах (Alstom Coradia Lint),

Судноплавстві та авіації (пілотні проєкти з водневими двигунами).

Це відкриває можливості для переходу транспорту на безвуглецеву модель.

Зберігання та транспортування енергії:

Водень можна використовувати для акумулювання енергії, отриманої з відновлюваних джерел, таких як сонячна та вітрова енергетика, забезпечуючи стабільність енергосистем.

Створення нових ринків та робочих місць:

Розвиток водневої економіки відкриває нові можливості для промисловості: виробництво паливних елементів, інфраструктури для зберігання та транспортування водню, а також сервісного обслуговування.

Промислові застосування:

Водень активно впроваджується в сталеливарній, хімічній та енергетичній промисловості, зокрема для зниження викидів CO₂ у виробничих процесах [9–13].

Висновок

Водневі технології є важливим етапом переходу до вуглецево-нейтрального транспорту. Вони ідеально підходять для регіонів із частково електрифікованою або неелектрифікованою залізничною мережею. Попри високі початкові витрати, розвиток технологій і підтримка державних програм сприятимуть їхньому широкому впровадженню.

Теоретична значимість водневих технологій полягає у формуванні фундаментальних знань, необхідних для сталого розвитку. *Практична* – у їхній здатності вирішувати глобальні екологічні, енергетичні та економічні виклики. Це робить водень ключовим елементом переходу до безвуглецевої економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hydrogen Europe. Cleaner urban transport with hydrogen buses. URL: <https://hydrogen.europe.eu/cleaner-urban-transport-hydrogen-buses>.
2. “Зелена” відбудова України: перспективи застосування водню в транспорті. URL: <https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-v-transporti/>.
3. Проєкт Дорожньої карти використання водню в Україні у сфері дорожнього транспорту. URL: https://unece.org/sites/default/files/2021-05/Draft%20Roadmap%20for%20the%20use%20of%20hydrogen%20in%20Ukraine%20in%20road%20transport_UKR2021.pdf
4. Водневий двигун Deutz: екологічне майбутнє транспорту. URL: <https://www.railway.supply/uk/vodnevij-dvigun-deutz-ekologichne-majbutne-transportu/>.
5. Vossloh Rolling Stock and duisportrail unveil Modula BFC battery-hydrogen locomotive. URL: <https://railmarket.com/news/rolling-stock/24352-vossloh-rolling-stock-and-duisport-rail-unveil-modula-bfc-battery-hydrogen-locomotive>.
6. Берлінські прем'єри: Що показали на InnoTrans-2024. URL: https://cfts.org.ua/articles/berlinski-premeri_scho_pokazali_na_innotrans_2024_2056/143031.
7. Водневий локомотиви CPKC: перші випробування та майбутнє залізничного транспорту. URL: <https://www.railway.supply/uk/vodnevij-lokomotivi-cpkc-pershi-viprobuvannya-ta-majbutne%D1%94/>.

8. Шрайбер О.А., Дубровський В.В., Тесленко О.І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. Енергетика. 2021. № 32. С. 199-209. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30>.

9. Інформація про автомобілі на водневих паливних елементах, як-от Toyota Mirai. Toyota. URL: <https://www.toyota.com>

10. Деталі про Hyundai Nexa та інші моделі. Hyundai. URL: <https://www.hyundai.com>.

11. Дані про потяги Alstom Coradia Lint. Alstom. URL: <https://www.alstom.com>.

12. Глобальна ініціатива для просування водневих технологій. Міжнародні організації: Hydrogen Council. URL: <https://hydrogencouncil.com>.

13. Звіти про роль водню у майбутньому енергетики. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA). URL: <https://www.irena.org>

D.O. Brusylo

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (096) 205 5692, E-mail: tyschkovez28@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9976-0793>

I.V. Hladkykh

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (063) 171 5009, E-mail: innagladkih59@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8674-2659>

HYDROGEN TECHNOLOGIES IN RAIL TRANSPORT: ANALYSIS OF IMPLEMENTATION PROSPECTS BASED ON INNOVATIVE SOLUTIONS PRESENTED AT INNOTRANS 2024

The article examines the prospects for the implementation of hydrogen technologies in rail transport based on innovative models presented at the InnoTrans 2024 exhibition, which was held from September 24 to 27, 2024 at Messe Berlin.

This year's InnoTrans exhibition achieved a record: the largest exhibition area since its launch in 1996, with 2,940 exhibitors from 59 countries occupying the entire exhibition grounds. The article analyzes innovative solutions using hydrogen fuel cells, with an emphasis on their potential in reducing greenhouse gas emissions and transition to environmentally friendly modes of transport.

Hydrogen technologies in rail transport have significant prospects, in particular: environmental friendliness, energy efficiency, reducing dependence on fossil fuels, investments in infrastructure, and energy storage systems. However, there are also challenges, such as the high cost of hydrogen production and the need to develop the appropriate infrastructure and ensure safety. But the gradual resolution of these issues can open up new opportunities for rail transport, and this confirms the interest of the European railway initiative «Shift2Rail», which supports the expansion of the use of hydrogen trains in Europe. Shift2Rail is the first European railway initiative aimed at finding targeted research and innovation and market solutions by accelerating the in-

tegration of new and advanced technologies into innovative solutions for railway products.

Key words: hydrogen technologies, hydrogen trains, hydrogen engine, railway transport, environmental solutions, research and innovation, operational safety.

REFERENCES

1. Hydrogen Europe. Cleaner urban transport with hydrogen buses. <https://hydrogeneurope.eu/cleaner-urban-transport-hydrogen-buses>.
2. «Zelena» vidbudova Ukrainy: perspektyvy zastosuvannya vodniu v transporti [«Green» reconstruction of Ukraine: prospects for the use of hydrogen in transport]. <https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-v-transporti/> [in Ukrainian].
3. Proekt Dorozhnoi karty vykorystannia vodniu v Ukraini u sferi dorozhn'oho transportu [Draft Road map for the use of hydrogen in Ukraine in road transport]. https://unece.org/sites/default/files/2021-05/Draft%20Roadmap%20for%20the%20use%20of%20hydrogen%20in%20Ukraine%20in%20road%20transport_UKR2021.pdf [in Ukrainian].
4. Vodnevyi dvygun Deutz: ekolohichne maibutnie transportu [Hydrogen engine Deutz: the future of sustainable transport]. <https://www.railway.supply/uk/vodnevij-dvигun-deutz-ekologichne-majbutn%20d1%94-transportu/> [in Ukrainian].
5. Vossloh Rolling Stock and duisport rail unveils Modula BFC battery-hydrogen locomotive. <https://railmarket.com/news/rolling-stock/24352-vossloh-rolling-stock-and-duisport-rail-unveils-modula-bfc-battery-hydrogen-locomotive>.
6. Berlinski premieri: Shcho pokazaly na InnoTrans-2024 [Berlin premieres: What was shown at InnoTrans-2024]. https://cfts.org.ua/articles/berlinski_premieri_scho_pokazali_na_innotrans_2024_2056/143031 [in Ukrainian].
7. Vodnevi lokomotyvy CPKC: pershi vyprovuvannya ta maibutnie zaliznychoho transportu [CPKC hydrogen locomotives: first tests and the future of rail transport]. <https://www.railway.supply/uk/vodnevi-lokomotivi-cpkc-pershi-viprovuvannya-ta-majbutn%20d1%94/> [in Ukrainian].
8. Shraiber, O.A., Dubrovskiy, V.V., & Teslenko, O.I. (2021) Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku vodnevoi enerhetyky u sviti [The current state and prospects for the development of hydrogen energy in the world]. *Enerhetyka – Energy*, 32. pp. 199-209. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30> [in Ukrainian].
9. Informatsiia pro avtomobili na vodnevykh palyvnykh elementakh, yak-ot Toyota Mirai. Toyota. <https://www.toyota.com>.
10. Detali pro Hyundai Nexa ta inshymy modeli. Hyundai. <https://www.hyundai.com>.
11. Dany pro potiagy Alstom Coradia iLint. Alstom. <https://www.alstom.com>.
12. Mizhnarodni orhanizatsii. Hlobalna initsiatyva dlia prosuvannya vodnevykh tekhnolohii. Hydrogen Council. <https://hydrogencouncil.com>.
13. Zvity pro rol vodniu u maibutnomu enerhetyky. Mizhnarodne ahentstvo z vidnovliuval'noi enerhetyky (IRENA). <https://www.irena.org>.

В.В. Федоров

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-13-84, E-mail: f.vladimir.ua@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0963-7265>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОХОЛОДЖЕНОГО КОКСУ

В статті проаналізовано експлуатаційний парк вагонів-хоперів для перевезення охолодженого коксу на коксохімічних промислових підприємствах. Визначено, що на даний час основу цього експлуатаційного парку складають вагони-хопери для перевезення охолодженого коксу моделей 22-4070 та 22-1764 побудови ПАТ «Дніпровагонмаш» та ПАТ «Азовзагальмаш» відповідно, що виступили призначений нормативний строк служби та перевищують його більше ніж у 1,5 рази.

Проведено науково-експериментальні дослідження технічного стану вагонів-хоперів для перевезення охолодженого коксу, їх несних металоконструкцій та кузовів з метою визначення фактичного залишкового ресурсу та прийняття обґрунтованого рішення про можливість проведення ремонту з подовженням строку експлуатації обстежених вагонів.

Встановлено, що елементи несної металоконструкції та кузова обстежених вагонів в значній мірі мають ознаки корозійних пошкоджень, а не механічних. Виявлено значні корозійні пошкодження нижньої обв'язки та елементів обшиви кузова у деяких з обстежуваних вагонів-хоперів. За результатами виконаних досліджень оформлено 29 технічних рішень, згідно яких частина вагонів була виключена з експлуатаційного парку в переважній більшості через наявні корозійні пошкодження. При цьому значно більша частина обстежуваних вагонів, їх несні металоконструкції та кузова, знаходиться у задовільному технічному стані та має незначні пошкодження механічного та корозійного характеру.

Обґрунтовано можливість проведення вагонам-хоперам для перевезення охолодженого коксу, капітальний ремонт з подовженням строку експлуатації на 5 років за результатами виконання науково-експериментальних досліджень.

В подальшому результати цієї роботи можуть бути використані під час удосконалення конструкції вантажних вагонів для перевезення охолодженого коксу або їх окремих комплектуючих.

Ключові слова: вагон-хопер, експлуатаційний парк, залишковий ресурс, несна металоконструкція, строк служби.

© Федоров В.В., 2024

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Вступ та постановка проблеми. Кокс – вид твердого палива, яке одержують нагріванням кам'яного вугілля, торфу тощо до високих температур без доступу повітря. Найчастіше застосовують кокс з кам'яного вугілля - твердий поруватий міцний вуглецевий продукт сірого кольору. Застосовують переважно як паливо й відновник у металургійній промисловості.

На залізницях промислових підприємств цей вид вантажу перевозиться спеціалізованими вагонами-хоперами в охолодженому стані за температури, що не перевищує 100 °С. Цей спеціалізований рухомий склад є дефіцитним та має нормативний строк служби 15 років, що обумовлює необхідність подовження йому строку служби як альтернативу закупівлі нового. Під час проведення науково-експериментальних досліджень щодо можливості подовження строку служби актуальним постає питання детального аналізу технічного стану несних металокопструкцій та кузовів цих вагонів.

Аналіз останніх досліджень. Подовження строку експлуатації залізничному вантажному рухомому складу, що вислужив призначений строк, є розповсюдженим явищем, що дозволяє зекономити значні обсяги коштів, запобігти різкому скороченню експлуатаційного парку та забезпечити стабільність залізничних перевезень. Цей напрям підтримання експлуатаційного парку обирають чимало залізниць різних країн. Наприклад, АТ «Укрзалізниця» внаслідок недостатнього фінансового забезпечення має сталу практику подовження строку експлуатації свого залізничного вантажного рухомого складу. Тому, науково-експериментальні дослідження у цьому напрямку останнім часом активно проводились, а їх результати опубліковані у багатьох наукових роботах.

Так, у статтях [1-3] наведено дослідження технічного стану універсальних напіввагонів. У роботах [4, 5] розглянуто питання щодо дослідження корозійних пошкоджень елементів конструкції напіввагонів та впливу вантажів, що перевозяться у цих вагонах, на швидкість корозійних процесів. У статтях [6, 7] наведено результати аналізу експлуатаційних відмов вагонів-хоперів для перевезення зерна до та після проведення модернізації рам. У роботі [8] визначено залишковий ресурс несної здатності металокопструкції вагона для перевезення зерна з вичерпаним строком служби. Роботи [9-11] присвячені дослідженням з аналізу пошкоджень і несправностей, визначення залишкового ресурсу та можливого удосконалення конструкції вагонів-думпкарів. Результати технічного обстеження вагонів-цистерн для перевезення нафтопродуктів висвітлені в роботі [12]. У статтях [13, 14] наведено результати досліджень щодо можливості подовження строку служби вагонам-хоперам для перевезення гарячих окатишів та агломерату.

Аналіз існуючих робіт свідчить, що ці дослідження стосувались переважно найбільш поширених типів вантажних вагонів та їх окремих елементів, як то напіввагонів, вагонів бункерного типу, вагонів-думпкарів, вагонів-цистерн тощо. При цьому науково-експериментальним дослідженням технічного стану спеціалізованих вагонів-хоперів для перевезення охолодженого коксу, які вислужили призначений нормативний строк служби, приділено недостатньо уваги. Тому виникла необхідність проведення таких досліджень.

Мета статті – проведення науково-експериментальних досліджень технічного стану вагонів-хоперів для охолодженого коксу, металокопструкцій рами та кузова з метою визначення фактичного залишкового ресурсу та прийняття обґрунтованого рішення про доцільність проведення ремонту з продовженням строку експлуатації обстежених вагонів.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Матеріал та результати досліджень. За результатами аналізу експлуатаційного парку промислових підприємств коксохімічної галузі встановлено, що на даний час основу цього парку складають вагони-хопери для перевезення охолодженого коксу моделей 22-4070 та 22-1764 виробництва ПАТ «Дніпровагонмаш» та ПАТ «Азовзавальмаш» відповідно, що виступили призначений нормативний строк служби та перевищують його більше ніж у 1,5 рази. Зовнішній вигляд вагонів для перевезення охолодженого коксу моделей 22-4070 та 22-1764 зображено на рис. 1. Технічні характеристики зазначених моделей вагонів, наведено в таблиці 1.



а)



б)

Рис. 1. Вагони-хопери для перевезення коксу моделей 22-7040 (а) та 22-1764 (б)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. – Основні технічні характеристики вагонів-хоперів

Найменування характеристики	Модель вагона-хопера	
	22-7040	22-1764
Вантажопідйомність, т	61	61
Об'єм кузова, м ³	130	130
Маса тари вагона, т	33	33
Коефіцієнт тари	0,545	0,545
Питомий об'єм, м ³ /т	2,131	2,131
Розрахункове навантаження від колісної пари на рейку, кН (тс)	230,5 (23,5)	230,5 (23,5)
Погонне навантаження, кН/м (тс/м)	51,0 (5,2)	51,2 (5,22)
Ширина колії, мм	1520	1520
Конструкційна швидкість, км/год	120	120
База вагона, мм	13600	13600
Довжина по осях зчеплення, мм	17820	17820
Модель візка	18-100	18-100
Габарит по ГОСТ 9238	1-Т	1-Т
Нормативний строк служби, років	15	15
Рік постановки на серійне виробництво	1992	2005

У період з 2020 по 2021 роки спеціалістами Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») були проведені на під'їзних коліях регіональної філії «Придніпровська залізниця» та «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця» науково-експериментальні дослідження 147 вагонів-хоперів для охолодженого коксу (технічне діагностування) зазначених виробників, побудованих у 1993-2006 роках.

В процесі технічного діагностування було виявлено основні несправності несних конструкцій та елементів кузова, визначено залишковий ресурс металоконструкцій кожного з обстежених вагонів-хоперів моделей 22-4070 та 22-1764. Виявлені характерні механічні та корозійні пошкодження досліджуваних вагонів-хоперів під час технічного діагностування, зображено на рис. 2.

За підсумками аналізу результатів технічного діагностування, оформлено 29 технічних рішень щодо можливості подальшої експлуатації вагонів-хоперів, згідно яких незначна частина з цих вагонів була виключена із інвентарного парку, а іншій (більшій частині) подовжено строк експлуатації. Результати проведених досліджень оброблялись та аналізувались, відповідно до вимог положень: ЦВ-0063 Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку [15], Положення про продовження строку служби вантажних вагонів Укрзалізниці, затвердженого наказом Укрзалізниці від 21.05.2015 р. № 148-Ц/од) [16].

За результатами обстеження технічного стану вагонів було встановлено, що механічні пошкодження елементів металоконструкцій їх кузовів практично відсутні. При цьому були виявлені значні корозійні пошкодження нижньої об'язки та елементів обшиви кузова. Слід зазначити, що корозійні пошкодження бокових балок (нижньої об'язки) деяких вагонів перевищують 50 % (максимально зафіксовані корозійні пошкодження склали 62 %) від конструктивних розмірів, на ділянці дов-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

жиною більше 500 мм. Згідно вимог [15] такі вагони мають бути виключені з інвентарного парку.



Рис. 2. Механічні та корозійні пошкодження вагонів-хоперів для перевезення охолодженого коксу

a – тріщина зварного шва з'єднання накладного листа та верхньої полки швелера хребтової балки; *б* – корозійне пошкодження розвантажувального бункера; *в* – корозія обшиви кузова; *г* – тріщина бокової балки (нижньої об'язки); *д* – тріщина зварного шва з'єднання нижньої полки хребтової балки та нижнього листа шворневої балки; *е* – корозійне пошкодження балки пневмоциліндрів розвантажувального механізму

Загальний стан елементів несних конструкцій вагонів в цілому оцінювався як задовільний. Виявлені корозійні пошкодження основних несних елементів метало-конструкцій рами мають локальний характер та не перевищують, від номінальної

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

товщини елементів: балки хребтові 9 %, балки шворневі 12 %, балки проміжні 10 %, кінцеві балки 7 %.

Стосовно кузовів вагонів-хоперів було виявлено, що елементи конструкції мають корозійні пошкодження які не перевищують 15 % від конструкційних розмірів, а саме: стійки проміжні та шворневі 5 %, обв'язка верхня 12 %. Дослідження показали, що обшиви бокових (торцевих) стін та розвантажувальні бункери, мають найбільші механічні пошкодження та чисельну наскрізну корозію.

Таким чином, в цілому механічні пошкодження практично відсутні, а виявлені корозійні пошкодження основних несних елементів металоконструкцій та кузов переважно знаходяться на рівні допустимих та відповідають вимогам чинної нормативної документації. Проте деякі з обстежуваних вагонів були виключені з інвентарного парку через наявні значні наскрізні корозійні пошкодження нижньої обв'язки та обшиви кузова.

Висновки. За результатами технічного обстеження вантажних вагонів для перевезення охолодженого коксу визначено наступне.

1. Несні елементи металоконструкції переважно мають пошкодження локального характеру, що дозволяє подовжити строк експлуатації вагонам на 5 років за умови усунення виявлених пошкоджень під час назначеного виду ремонту, зазначених в технічних рішеннях.

2. Виключення з інвентарного парку вагонів виконувались через пошкодження або сукупність пошкоджень, які не гарантують безпечну експлуатацію вагонів. Згідно технічних рішень вагони виключались через корозійне пошкодження нижньої обв'язки вагона більше ніж 50% від конструктивних розмірів на ділянці довжиною більше 500 мм (максимальні корозійні пошкодження нижньої обв'язки склали 62 %).

3. Основні характерні пошкодження, що виявлені та зафіксовані під час технічного обстеження є: корозійне пошкодження нижньої обв'язки вагона; наскрізна корозія і тріщини листів обшиви стін вагона, бункерів та розвантажувальних люків; тріщини зварних швів з'єднань нижнього листа шворневої та нижньої полки швелера хребтової балки; тріщини зварних швів хребтової балки у зоні шворневого вузла; деформації стін вагона, стійок, кінцевих балок та обшиви.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мартинов І.Е., Шовкун В.О., Труфанова О.В., Литовченко О.М., Дмитренко М.В., Балашов О.О. Дослідження технічного стану універсальних напіввагонів. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2024. Вип. 209. С. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55337>
2. Фомін О.В., Бурлуцький О.В. Аналіз та класифікація пошкоджень універсальних напіввагонів, які виникають за час їх життєвого циклу. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Серія «Машинобудування і транспорт». 2012. № 4. С. 163-167.
3. Фомін О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О.В. Фомін. К.: ДЕДУТ, 2014. 299 с.
4. Федосов-Ніконов Д.В., Стринжа А.М., Шамшей Д.О., Полулях В.М. Дослідження корозійних пошкоджень елементів вагонів під час технічного діагностування. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2019. № 3 (251). С. 181-184.
5. Буліч Д.І., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П., Кошель О.О. Дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо продовження терміну служби. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2020. Вип. 36. С. 43–53. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-5>
6. Петренко В.О., Гордієнко Т.М. Експлуатаційні відмови вагонів-хоперів для перевезення зерна. Залізничний транспорт України. 2020. № 1. С. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2020-134-1-40-49>

7. Петренко В.О. Аналіз відмов модернізованих рам вагонів для перевезення зерна моделі 19-752. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2022. Вип. 25. С. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-144-152>
8. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Швець А.О., Лахай О.І., Свідерський Р.В. Визначення залишкового ресурсу несучої здатності базової конструкції вагона-зерновоза з протермінованим строком служби. Вісник сертифікації залізничного транспорту. 2019. № 05 (57). С. 5–18.
9. Кошель О.О., Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Ткаченко В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2020. Вип. 35. С. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>
10. Сулим А.О., Хозя П.О., Стринжа А.М., Речкалов В.С., Федоров В.В. Шляхи та перспективи удосконалення вагонів-думпкарів, призначених для експлуатації магістральними коліями 1520 мм. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2022. Вип. 39. С. 51–65. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-6>
11. Сулим А.О., Стринжа А.М., Бородай О.О., Федоров В.В. Технічні характеристики та шляхи удосконалення вагонів-думпкарів для промислового транспорту. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2021. Вип. 23. С. 54–73. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2021-23-54-73>
12. Федосов-Ніконов Д.В., Шушмарченко В.О., Полулях В.М., Бородай О.О. Результати технічного обстеження вагонів-цистерн для перевезення нафтопродуктів. Матеріали конференції: II Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки та техніки в умовах інтеграції України в Європейський науково-виробничий простір». Кременчук, 09 червня 2022 року. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2022. С. 54-57.
13. Анофриев В.Г., Рейдемейстер А.Г., Калашник В.А., Кулешов В.П. К вопросу продления полезного срока службы вагонов для перевозки окатышей. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2016. № 3 (63). С. 148–160. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74749>
14. Ільчишин В.В., Стринжа А.М., Федосов-Ніконов Д.В. Обстеження технічного стану та контрольні випробування вантажних вагонів. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2016. Вип. 13. С. 49–51.
15. ЦВ-0063. Правила виключення вантажних вагонів з інвентарного парку, затвердженого наказом Укрзалізниці від 11.05.2005 № 151-ЦЗ, Київ, 2005. 38 с.
16. Положення про продовження строку служби вантажних вагонів Укрзалізниці, затвердженого наказом Укрзалізниці від 21.05.2015 р. № 148-Ц/од. Київ, 2015. 6 с.

V.V. Fedorov

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39621
Tel: (05366) 6-13-84, E-mail: f.vladimir.ua@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0963-7265>

STUDY OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE LOAD-BEARING METAL STRUCTURES OF HOPPER CARS FOR THE TRANSPORTATION OF COOLED FOUNDRY COKE

The article analyzes the operating fleet of hopper cars for the transportation of cooled foundry coke at coke-chemical industrial enterprises. It has been determined that currently the basis of this operational fleet is made up of hopper cars for the transportation of cooled coke models 22-4070 and 22-1764 built by PJSC Dneprovagonmash and PJSC Azovzagalmash, respectively, which have served their designated standard service life and exceed it by more than 1.5 times.

Scientific and experimental studies of the technical condition of hopper cars for transportation of cooled coke, their load-bearing metal structures and bodies were carried out to determine the actual residual lifetime and make an informed decision on the possibility of repairing and extending the service life of the cars under study.

It was found that the elements of the bearing metal structure and body of the examined rail cars largely show signs of corrosion damage rather than mechanical damage. Significant corrosion damage to the side sill and body lining elements of some of the examined hopper cars was defined. Based on the results of the research, 29 technical decisions were made, according to which some of the hopper cars were excluded from the operating fleet in the vast majority due to corrosion damage. At the same time, a much larger part of the examined railcars, their load-bearing metal structures and bodies, are in satisfactory technical condition and have minor mechanical and corrosion damage.

The possibility of overhauling the hopper cars for the transportation of cooled foundry coke with an extension of the service life by 5 years based on the results of scientific and experimental studies has been substantiated.

In the future, the results of this work can be used to improve the design of freight cars for the transportation of cooled coke or their individual components.

Key words: hopper car, operating fleet, residual lifetime, non-steel metal structure, service life.

REFERENCES

1. Martynov, I.E., Shovkun, V.O., Trufanova, O.V., Lytovchenko, O.M., Dmytrenko, M.V., & Balashov, O.O. (2024). Doslidzhennia tekhnichnoho stanu universalnykh napivvahoniv [Study of the technical condition of universal gondola cars]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT - Collection of scientific works of UkrDUZT*, 209, 66–75. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55337> [in Ukrainian]
2. Fomin, O.V., & Burlutskyi, O.V. (2012). Analiz ta klasyfikatsiia poskodzhen universalnykh napivvahoniv, yaki vynykaiut za chas yikh zhyttievoho tsykladu [Analysis and classification of damage to universal gondola cars that occur during their life cycle]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. Seriya «Mashynobuduvannia i transport» - Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute. Series “Mechanical Engineering and Transport”*, 4, 163-167 [in Ukrainian]
3. Fomin, O.V. (2014). Doslidzhennia defektiv ta poskodzhen nesuchykh system zaliznychnykh napivvahoniv [Study of defects and damage to the bearing systems of railway gondola cars]. *Monograph*. Kyiv: DETUT [in Ukrainian]
4. Fedosov-Nikonov, D.V., Strynzha, A.M., Shamshei, D.O., & Poluliakh, V.M. (2019). Doslidzhennia koroziiynykh poskodzhen elementiv vahoniv pid chas tekhnichnoho diahnostuvannia [Study of corrosion damage to railroad car elements during technical diagnostics]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia - Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl*, 3 (251), 181-184 [in Ukrainian]
5. Bulich D.I., Sapronova S.Iu., Tkachenko V.P., & Koshel O.O. (2020). Doslidzhennia koroziiynoho znosu nesuchykh metalevykh konstrukttsii vantazhnykh vahoniv pid chas provedennia zakhodiv shchodo prodovzhennia terminu sluzhby [Study of corrosion wear of bearing metal structures of freight cars during measures to extend the service life]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii» - Collection of scientific papers of the DUIT. Series “Transport systems and technologies”*, 36, 43–53. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-5> [in Ukrainian]
6. Petrenko, V.O., & Hordiienko, T.M. (2020). Ekspluatatsiini vidmovy vahoniv-khoperiv dlia perevezennia zerna [Operational failures of hopper cars for grain transportation]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy - Railway transport of Ukraine*, 1, 40–49. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2020-134-1-40-49> [in Ukrainian]
7. Petrenko, V.O. (2022). Analiz vidmiv modernizovanykh ram vahoniv dlia perevezennia zerna modeli 19-752 [Failure analysis of modernized frames of grain carriages of model 19-752]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovykh rukhomykh sklad» - Collection of scientific papers “Rail rolling stock”*, 25, 144–152. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-144-152> [in Ukrainian]

8. Fomin, O.V., Prokopenko, P.M., Shvets, A.O., Lakhai, O.I., & Sviderskyi, R.V. (2019). Vyznachennia zalyskhovoho resursu nesuchoi zdatnosti bazovoi konstruktсии vahona-zernovoza z proterminovanyim strokom sluzhby [Determination of the residual resource of the bearing capacity of the basic structure of a grain car with an extended service life]. *Visnyk sertyfikatsii zaliznychnoho transportu - Bulletin of Railway Transport Certification*, 05 (57), 5–18 [in Ukrainian]
9. Koshel, O.O., Saproнова, S.Iu., Bulich, D.I., & Tkachenko, V.P. (2020). Vyznachennia zalyskhovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruktсии vahoniv khoper-dozatoriv (samoskydiv) na osnovi rezultativ tekhnichnoho diah-nostuvannia ta typovykh vyprovuvan [Determination of the residual life of load-bearing metal structures of hopper cars (dump trucks) based on the results of technical diagnostics and typical tests]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii «Transportni systemy i tekhnolohii» - Collection of scientific papers of the DUIT. Series “Transport systems and technologies”*, 35, 14–23. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2> [in Ukrainian]
10. Sulym, A.O., Khozia, P.O., Strynzha, A.M., Rechkalov, V.S., & Fedorov, V.V. (2022). Shliakhy ta perspektyvy udoskonalennia vahoniv-dumpkariv, pryznachenykh dlia ekspluatatsii mahistralnymy koliiamy 1520 mm. [Ways and prospects for improving dump cars intended for operation on 1520 mm mainline gauge]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii «Transportni systemy i tekhnolohii» - Collection of scientific papers of the DUIT. Series “Transport systems and technologies”*, 39, 51–65. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-6> [in Ukrainian]
11. Sulym, A.O., Strynzha, A.M., Borodai, O.O., & Fedorov, V.V. (2021). Tekhnichni kharakterystyky ta shliakhy udoskonalennia vahoniv-dumpkariv dlia promyslovoho transportu [Technical characteristics and ways to improve dump cars for industrial transport]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of scientific papers “Railbound rolling stock”*, 23, 54–73. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2021-23-54-73> [in Ukrainian]
12. Fedosov-Nikonov, D.V., Shushmarchenko, V.O., Poluliakh, V.M., & Borodai, O.O. (2022). Rezultaty tekhnichnoho obstezhennia vahoniv-tsystern dlia perevezennia naftoproduktiv [Results of technical inspection of tank cars for the transportation of oil products]. *Proceedings from II Mizhnarodna nauково-praktychna konferentsiia «Aktualni problemy i perspektyvy innovatsiinoho rozvytku ekonomiky ta tekhniky v umovakh intehtratsii Ukrainy v Yevropeyskyi nauково-vyrobnychiy prostir» - II International Scientific and Practical Conference “Actual problems and prospects of innovative development of economy and technology in the context of Ukraine’s integration into the European Scientific and Production Area”* (pp. 54-57). Kremenchuk: DP «UkrNDIV» [in Ukrainian]
13. Anofriev, V.H., Reidemeister, A.H., Kalashnik, V.A., & Kuleshov, V.P. (2016). K voprosu prodleniya poleznogo stroka sluzhby vagonov dlia perevozki okatyshei [On the issue of extending the useful life of wagons for the transportation of pellets]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport - Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipro National University of Railway Transport*, 3 (63), 148 – 160. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74749> [in Russian]
14. Ilchyshyn, V.V., Strynzha, A.M., & Fedosov-Nikonov, D.V. (2016). Obstezhennia tekhnichnoho stanu ta kontrolni vyprovuvannia vantazhnykh vahoniv [Inspection of the technical condition and routine tests of freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of scientific papers «Railbound rolling stock»*, 13, 49–51 [in Ukrainian]
15. Pravyly vykliuchennia vantazhnykh vahoniv z inventarnoho parku, zatverdzenoho nakazom Ukrzaliznytsi № 151-TsZ [Rules for the exclusion of freight cars from the inventory fleet, approved by the order of Ukrzaliznytsia № 151-TsZ]. (2005). *TsV-0063 from 11th of May 2005*. Kyiv [in Ukrainian]
16. Polozhennia pro prodovzhennia stroku sluzhby vantazhnykh vahoniv Ukrzaliznytsi, zatverdzenoho nakazom Ukrzaliznytsi № 148-Ts/od. [Regulation on the extension of the service life of freight cars of Ukrzaliznytsia, approved by the order of Ukrzaliznytsia № 148-Ts/od] (2015). Kyiv [in Ukrainian].

І.І. Федорак

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (068) 974-57-67, E-mail: ivigfed@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4503-1858>

А.О. Сулим

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (05366) 6-03-54, E-mail: sulim1.ua@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

П.О. Хозя

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (067) 736-68-20, E-mail: Pavlo.khozia@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

С.О. Столетов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (067) 367-40-43, E-mail: stoletoff.s.a@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-2534>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ МОДЕЛІ 13-1894 ДЛЯ ВЕЛИКОТОННАЖНИХ КОНТЕЙНЕРІВ

В статті викладено методику та результати експериментальних досліджень вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-1894 (далі – вагона-платформи) при проведенні випробувань з визначення статичних та динамічних показників міцносних та динамічних якостей.

Наведено та зазначено технічні характеристики вагона-платформи, підданого для проведення статичних та динамічних науково-експериментальних досліджень методом проведення комплексу випробувань. Описано конструктивні особливості вагона-платформи, що відрізняє його від інших однотипних вагонтяжних вагонів.

Проаналізовано результати статичних міцнісних науково-експериментальних досліджень вагона-платформи та виконано порівняння отриманих значень із нормативними. Наведено діаграми отриманих напружень в елементах конструкції вагона за I та III розрахунковими режимами та місця розташування тензорезисторів під час проведення міцнісних досліджень.

© Федорак І.І., Сулим А.О., Хозя П.О., Столетов С.О., 2024

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Визначено результати ходових динамічних показників у порожньому та завантаженому станах вагона-платформи, а також виконано порівняння отриманих значень із нормативними. Наведено діаграми експериментального визначення коефіцієнта вертикальної динаміки кузова та коефіцієнта запасу стійкості від сходу колеса з рейки.

На підставі отриманих експериментальних даних під час ходових міцнісних досліджень визначено коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції вагона з розрахунку його експлуатації протягом 32 років. Отримані фактичні значення перебувають у межах нормативних вимог.

Наведено діаграми максимальних сумарних напружень в елементах конструкції вагона під час співудару. За результатами проведених досліджень вагона-платформи на співудар нормативними силами встановлено, що максимальні сумарні напруження зафіксовані в боковій балці та не перевищують допустимої величини.

Ключові слова: вагон-платформа для великотоннажних контейнерів, експериментальні дослідження, міцність, співудар, ходові якості.

Вступ та постановка проблеми. Контейнери забезпечують підвищену безпеку перевезення вантажів, оскільки служать додатковою міцною зовнішньою упаковкою, яка запломбовується. Використання контейнерів у транспортній інфраструктурі дає змогу швидше перевантажувати вантаж із одного виду транспорту на інший, що прискорює перевезення на великі відстані. Для задоволення ринкового попиту, збільшення обсягів контейнерних перевезень та розширення номенклатури продукції вагонобудівні заводи розробили й виготовили різні конструкції довгобазних платформ, зокрема для перевезення великотоннажних контейнерів.

Основними проблемами на стадії розробки є відсутність власного виробництва сортаменту профілів для вагонобудування, втомна міцність вагонів-платформ зі збільшеною базою, міцність при співударі на сортувальних гірках і погіршені ходові якості у порожньому стані порівняно з вагоном-еталоном. Тому існує необхідність проведення експериментальних досліджень для підтвердження точності теоретичних розрахунків та перевірки на відповідність нормативних вимог.

У ході цих досліджень визначаються фактична міцність елементів конструкції вагона та показники, що характеризують безпеку руху. Режим навантаження приймається для найбільш несприятливого поєднання максимальних сил, які виникають в експлуатації.

Отже, експериментальні дослідження є важливим етапом допуску рухомого складу на колії загального призначення. За їхніми результатами оцінюється раціональність конструкції, визначаються шляхи її вдосконалення, робляться висновки щодо відповідності фактично отриманих показників вимогам нормативної документації.

Аналіз останніх досліджень. У попередніх дослідженнях було виконано науково-експериментальні дослідження різних типів вантажних вагонів, зокрема вагонів-думпкарів промислового призначення [1, 2], вагонів-платформ [3-6], вагонів-цистерн [7, 8], бункерних вагонів для перевезення зерна та інших харчових продуктів [9-12].

У цій роботі викладено результати науково-експериментальних досліджень конструкції вагона-платформи моделі 13-1894, яка має нові конструктивні особливості. Тому дослідження міцності конструкції та ходових якостей вагона-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

платформи є актуальним і дозволить оцінити можливість допуску цього рухомого складу на мережу магістральних колій шириною 1520 мм загального призначення.

Мета статті – проведення науково-експериментальних досліджень міцності конструкції та ходових якостей вагона-платформи.

Матеріал та результати досліджень. Об'єктом міцнісних та динамічних досліджень є вагон-платформа моделі 13-1894, призначена для перевезення великотоннажних контейнерів довжиною 20 та 40 футів, а також спеціалізованих великотоннажних танк-контейнерів (контейнерів-цистерн). Загальний вигляд вагона-платформи зображено на рис. 1.

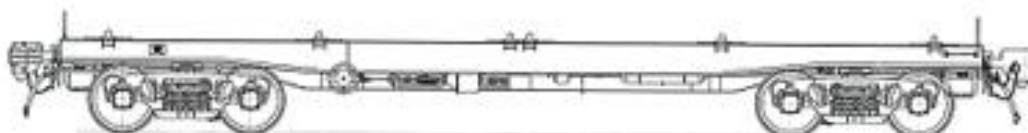


Рис. 1. Загальний вид вагона-платформи моделі 13-1894

Вагон-платформа складається з: рами з упорами для контейнерів, гальмівної системи, ходових частин та автотягачних пристроїв. Рама вагона являє собою несну зварну конструкцію, що складається з хребтової балки, двох бокових балок, двох шворневих балок, двох кінцевих балок, а також поздовжніх та поперечних елементів. Ходова частина складається з двох двовісних візків моделі 18-999 [13]. У зв'язку з тим, що конструкція рами є складною просторовою системою, яка повинна забезпечувати максимальну вагову ефективність за заданої міцності, розрахунок вівся з використанням спеціалізованого програмного забезпечення кінцево-елементного аналізу.

Основні технічні характеристики вагона-платформи моделі 13-1894, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. – Основні технічні характеристики вагона-платформи моделі 13-1894 [13]

Найменування параметру або розміру	Значення параметру або розміру
1	2
Вантажопідйомність, т	73,5
Маса тари, т	20,5
Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 (23,5)
Питома матеріалоемність (маса тари/вантажопідйомність)	0,274
Довжина по осях зчеплення автотягачів, мм	14620 ±20

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 1

1	2
Довжина по лобовим балкам, мм	13400 ±20
База, мм	9720 ±5
Конструкційна швидкість, км/год	120

Експериментальні дослідження виконувалися тензометричним методом, а обробка даних статичних випробувань міцності здійснювалася з використанням автоматизованих комплексів обробки експериментальних даних за допомогою статистичних методів.

Вимірювана величина під час статичних випробувань визначалася як різниця показань засобів вимірювальної техніки до навантаження та після нього [14].

$$\sigma = (\Delta - \Delta_0) \cdot K, \quad (1)$$

де: Δ – показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань;

Δ_0 – показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань;

K – калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, визначений за формулою (2).

$$K = \frac{R_0}{R_{ш} \cdot A_{ш}}, \quad (2)$$

де: R_0 – опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$ – опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{ш}$ – амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

Напруження σ , МПа, в елементах конструкції в місцях установки тензорезисторів визначалися за наступними формулами:

- для одиночних тензорезисторів:

$$\sigma = a \cdot \frac{R_0}{R_{ш} \cdot A_{ш}} \cdot \frac{E}{K_c}, \quad (3)$$

де: a – амплітуда (відхилення) процесу, В;

E – модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

K_c – коефіцієнт чутливості тензорезистора;

Отримані в результаті обробки даних напруження від статичного навантаження бруто використовувалися для оцінки міцності конструкції вагона при співударі.

Динамічні ударні випробування вантажних вагонів, за яких поздовжні ударні сили прикладаються до рами вагона через автозчепи, проводять з метою визначення динамічних напружень і їх розподілу в елементах рами і кузова вагона, граничної допустимої величини поздовжньої сили, при якій може відбутися руйнування рами або кузова вагона.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Оцінку міцності конструкції за результатами випробувань на співудар виконують за формулою (4):

$$(\sigma_{\text{верт.}} + \sigma_{\text{уд.}}) \leq \sigma_m. \quad (4)$$

де $\sigma_{\text{верт.}}$ – напруження від дії вертикального навантаження бруто, МПа;

$\sigma_{\text{уд.}}$ – напруження від дії удару зусиллям 3,5 МН;

σ_m – межа плинності матеріалу, МН.

На підставі аналізу результатів проведених статичних міцнісних випробувань вагона-платформи моделі 13-1894 встановлено максимальні сумарні напруження в основних елементах конструкції від квазістатичних навантажень згідно з методами, викладеними в [15]:

– за I розрахунковим режимом вони зафіксовані в хребтовій балці на нижньому листі та становлять 176 МПа, що відповідає 56,7 % від допустимої величини;

– за III розрахунковим режимом вони зафіксовані в хребтовій балці на нижньому листі та становлять 146,9 МПа, що відповідає 70 % від допустимої величини.

Місця встановлення тензорезисторів, які фіксують напруження в елементах конструкції вагона-платформи за I та III розрахунковими режимами під час проведення статичних міцнісних випробувань, випробувань на співудар та визначення коефіцієнта запасу опору втомі, зображено на рис. 2-4.

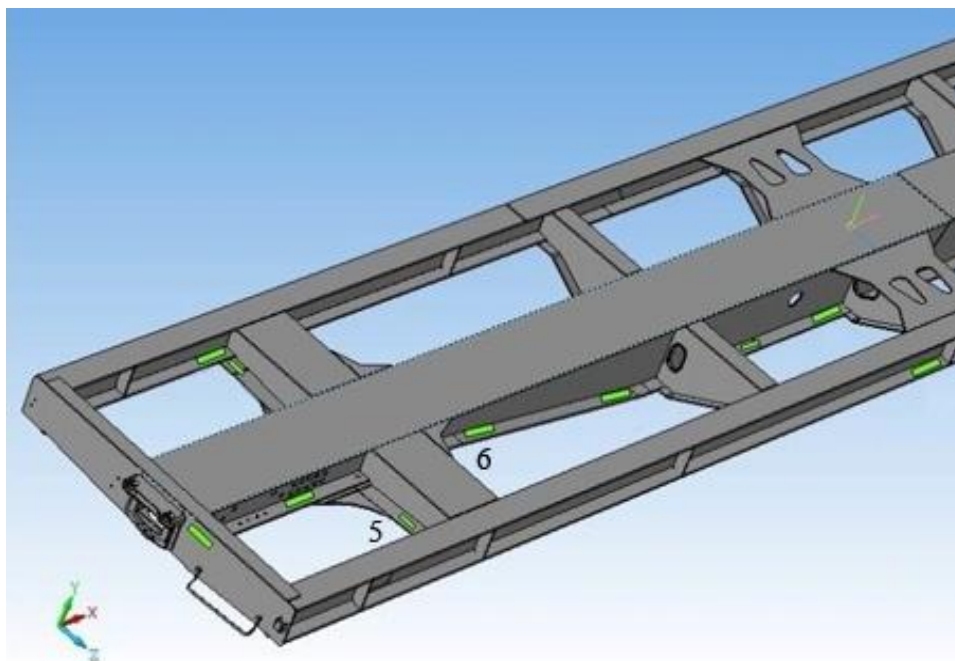


Рис. 2. Схема розміщення тензорезисторів на елементах конструкції вагона-платформи (консольна частина)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Діаграми отриманих напружень в елементах конструкції вагона за I та III розрахунковими режимами за результатами проведених статичних міцнісних випробувань вагона-платформи моделі 13-1894 зображено на рис. 5, 6.

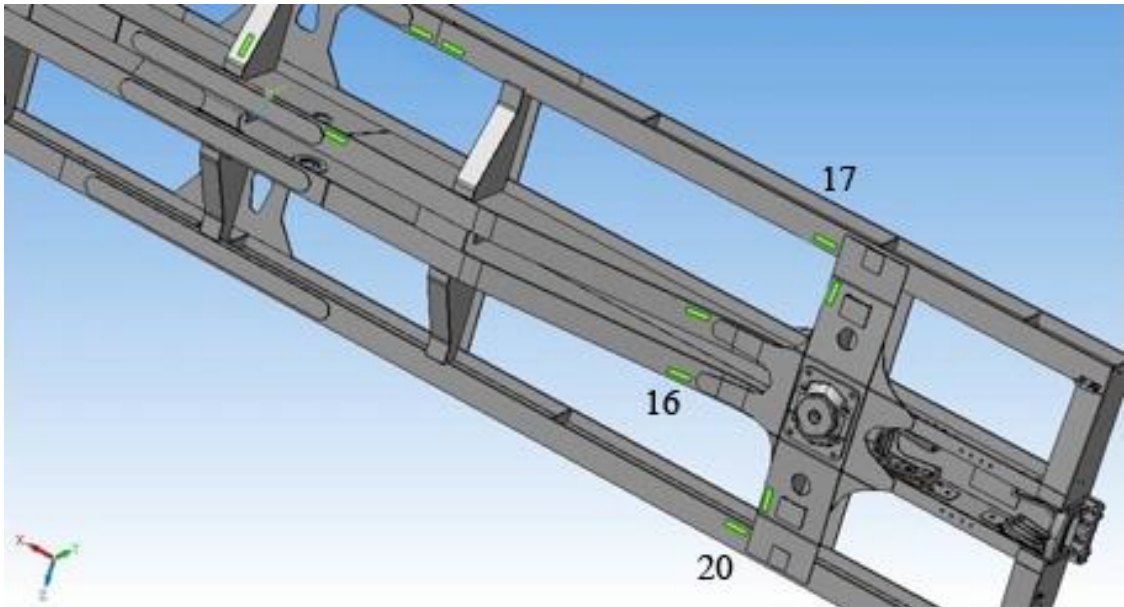


Рис. 3. Схема розміщення тензорезисторів на елементах конструкції вагона-платформи (консольна частина, вид знизу)

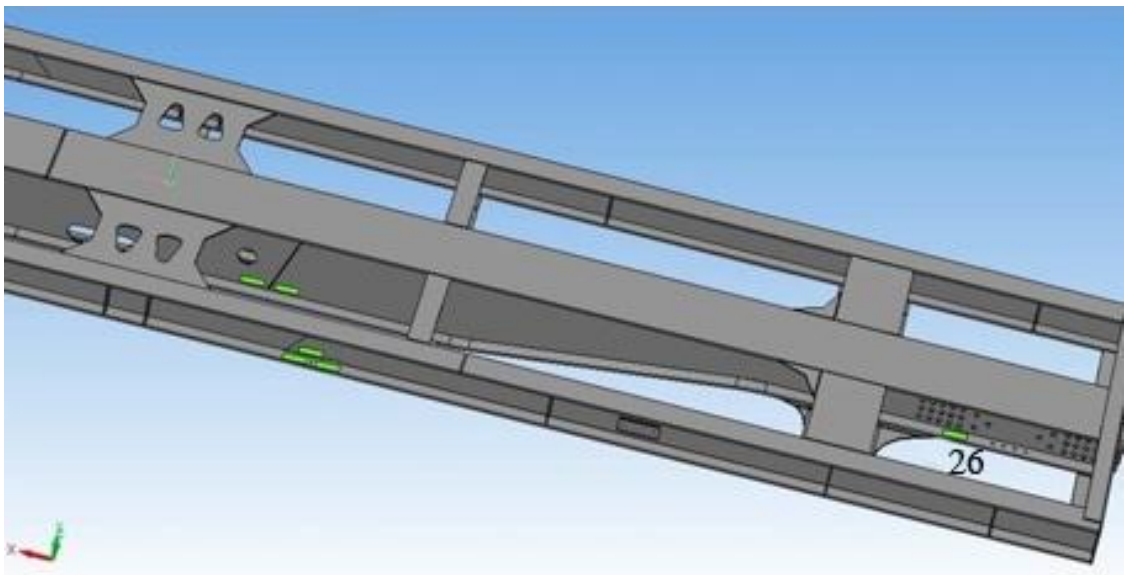


Рис. 4. Схема розміщення тензорезисторів на елементах конструкції вагона-платформи (консольна частина, вид з іншої сторони)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

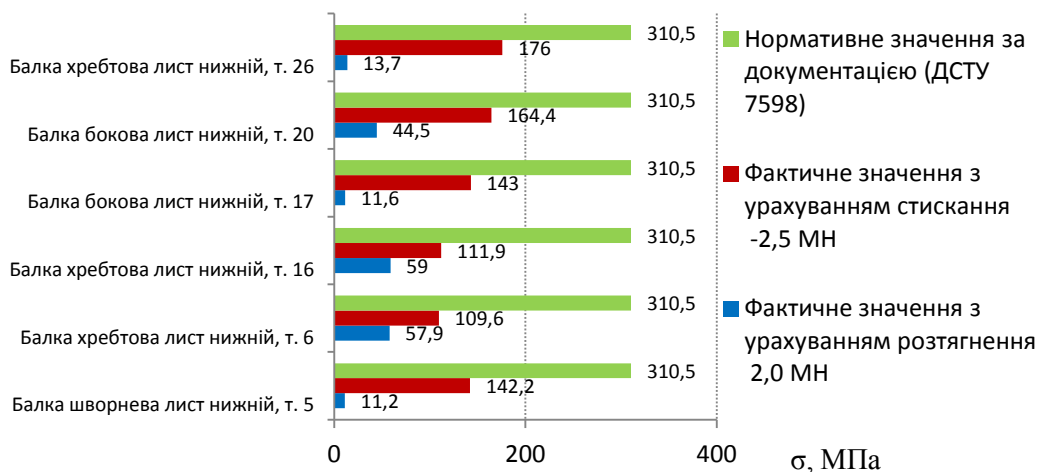


Рис. 5. Максимальні сумарні напруження в елементах конструкції вагона-платформи за I розрахунковим режимом

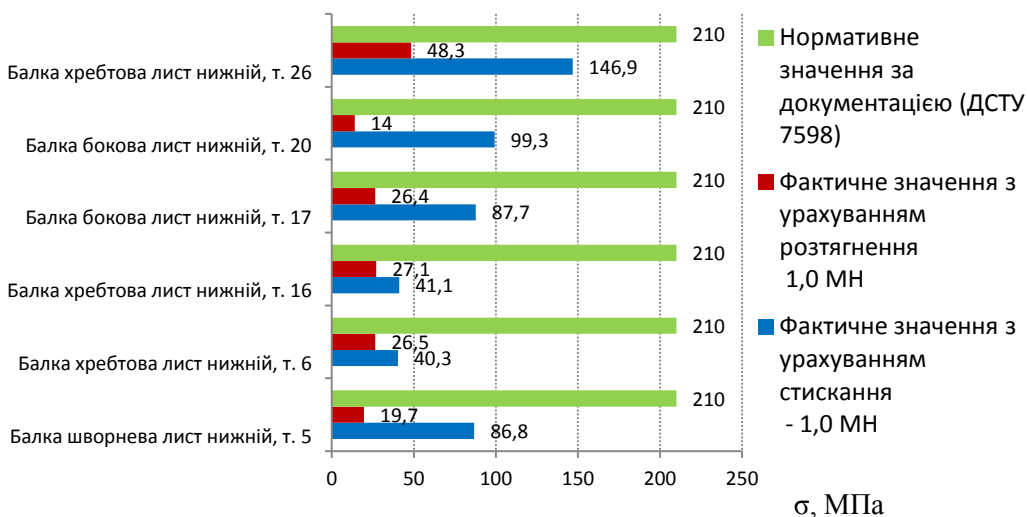


Рис. 6. Максимальні сумарні напруження в елементах конструкції вагона-платформи за III розрахунковим режимом

Аналіз результатів визначення ходових динамічних показників у порожньому та завантаженому станах вагона-платформи моделі 13-1894 типу показує:

– ходові динамічні показники якості ходу вагона в порожньому та завантаженому станах відповідають нормативним вимогам для вантажних вагонів у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей аж до конструкційної включно на залізничних коліях, які за станом поточного утримання відповідають вимогам руху із вказаними швидкостями;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- максимальній коефіцієнт вертикальної динаміки кузова Кд у порожньому режимі складає 0,31, при допустимому не більше ніж 0,75;
 - максимальній коефіцієнт вертикальної динаміки кузова Кд у завантаженому режимі складає 0,13, при допустимому не більше ніж 0,65;
 - мінімальний коефіцієнт запасу стійкості від сходу колеса з рейки у порожньому режимі складає 2,04, при допустимому не менше ніж 1,3;
 - мінімальний коефіцієнт запасу стійкості від сходу колеса з рейки у завантаженому режимі складає 1,8 при допустимому не менше ніж 1,3;
- Залежності коефіцієнта вертикальної динаміки кузова від швидкості руху та коефіцієнту запасу стійкості від сходу колеса з рейки від швидкості руху, наведені на рис. 7, 8.

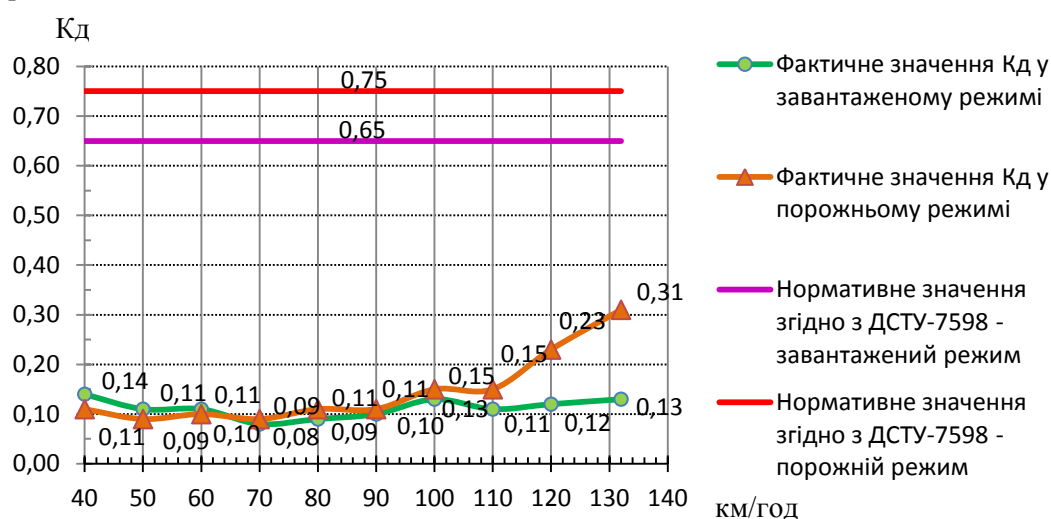


Рис. 7. Експериментальні та нормативні значення коефіцієнта вертикальної динаміки вагона-платформи

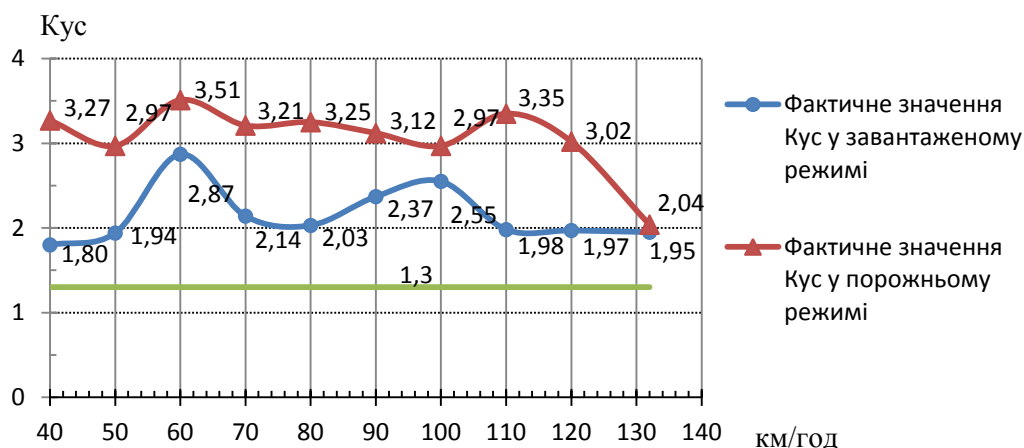


Рис. 8. Експериментальні та нормативні значення коефіцієнта запасу стійкості від сходу колеса з рейки вагона-платформи

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Аналіз результатів визначення ходових міцносних показників вагона-платформи свідчить, що коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції, із розрахунку його експлуатації протягом 32 років, отримані в межах нормативних вимог. Мінімальний коефіцієнт запасу опору втомі становить 5,6 при допустимому не менше ніж 1,5 (за ДСТУ 7598) [15]. Діаграма отриманих коефіцієнтів запасу опору втомі наведена на рис. 9.

Діаграми максимальних сумарних напружень в елементах конструкції вагона при співударі, наведені на рисунку 10.

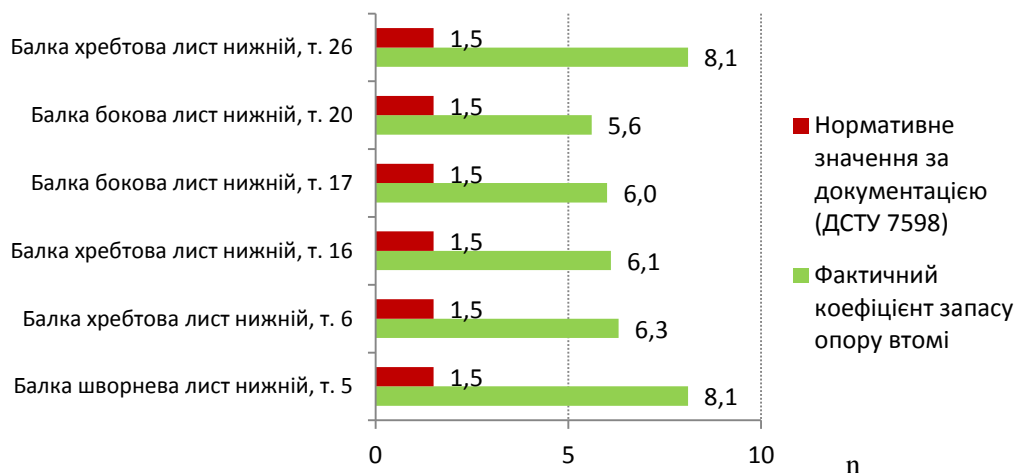


Рис. 9. Експериментальні та нормативні значення коефіцієнтів запасу опору втомі

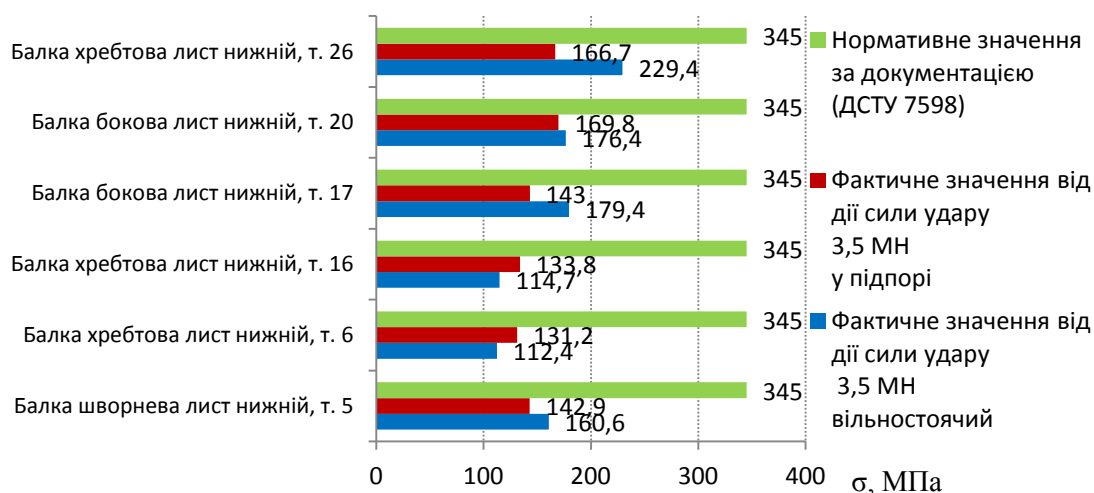


Рис. 10. Експериментальні та нормативні значення максимальних сумарних напружень в елементах конструкції вагона-платформи під час співудару

На підставі аналізу результатів проведених випробувань вагона-платформи на співудар нормативними силами встановлено, що максимальні сумарні напруження

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

зафіксовані в хребтовій балці на нижньому листі та становлять 229,4 МПа, що відповідає 66,5 % від допустимої величини.

Висновки. На основі аналізу результатів науково-експериментальних досліджень вагона-платформи моделі 13-1894 встановлено відповідність міцності його конструкції та ходових якостей вимогам чинної нормативної документації. За результатами отриманих експериментальних даних помітно, що деякі з зафіксованих показників мають значні запаси щодо чинних нормативних значень, зокрема максимальні сумарні напруження в основних елементах конструкції від квазістатичних навантажень за III розрахунковим режимом та під час співудару, а також показники ходових якостей. Це підтверджує застосування вдалих конструктивних рішень під час проектування цієї моделі вагона.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хозя П.О., Юшко О.О., Орлов О.В., Хвоенко Є.О., Григорошенко М.В. Науково-експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-самоскида моделі 33-7141. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2022. Вип. 25. С. 129–143. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-129-143>
2. ДР № 0121U1140373віт про НДР. Науково-експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-самоскида моделі 33-7141 на тривісних візках моделі 18-7142 / керівник Хозя П.О.; викон. Єськов Д.І., Ільчишин В. В., Бреславець Т. А. [та ін.]. Кременчук, ДП «УкрНДІВ», 2020. 309 с.
3. ДР № 0119U102793 Звіт про НДР. Науково-експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-6961(заклучний) /; керівник Сафронов О.М.; викон. Ільчишин В.В., Шелейко Т.В., Хозя П.О., [та ін.]. Кременчук, ДП «УкрНДІВ», 2017. 215 с.
4. Костриця С.А., Федоров Є.Ф., Болотов В.В., Грановська Н.Й. Ходові динамічні та міцнісні випробування вагона-платформи моделі 13-7133 на візках з ковзунами зазорного типу для перевезення крупнотонажних контейнерів. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 квітня 2021 р. / за заг. ред. А.В. Радкевича, Р.В. Рибалки. Дніпров. нац. ун-т. залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2021. С.307–308.
5. Fedosov-Nikonov D.V., Sulym A.O., Ilchyshyn V.V., Safronov O.M., Kelrikh M.B. Study of strength characteristics of the long wheelbase flat cars. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 985. P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012029>
6. Кельріх М.Б., Федосов-Ніконов Д.В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту імені В. Даля. 2016. №1 (225). С. 90–94.
7. Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для перевезення небезпечних вантажів. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Фізичні науки. 2019. № 3 (251). С. 77-83.
8. Кукін С.В., Водянніков Ю.Я., Можейко Є.Р., Можейко А.Є., Павлов С.А. Оцінка гальмівної ефективності вагона цистерни моделі 15-7140 на дотримання вимог ГОСТ 34434-2018. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2020. Вип. 21. С. 120–132. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2020-21-120-132>
9. ДР № 0119U102806 Звіт про НДР. Науково-експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-хопера моделі 19-4152 для зерна та інших харчових вантажів / керівник Ільчишин В.В.; Шелейко Т.В., Хозя П.О., Стринжа А.М., [та ін.]. Кременчук, ДП «УкрНДІВ», 2017. 248 с.
10. Ільчишин В.В., Стринжа А.М., Худієнко В.А., Федосов-Ніконов Д.В., Полулях В.М., Долінський С.В. Теоретичні та експериментальні дослідження міцності інноваційної конструкції бункерного вагона. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2018. Вип. 17. С. 79–86.
11. Петренко В.О., Кельріх М.Б., Прокопенко П.М., Кара С.В. Оцінка несвіної здатності модернізованої рами вагона-зерновоза. Залізничний транспорт України. 2022. № 3. С. 4-10. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10>
12. Ільчишин В.В., Стринжа А.М., Худієнко В.А., Полулях В.М., Шушмарченко В.О. Міцнісні дослідження елементів конструкції бункерного вагона. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2018. Вип. 32. Т.2. С. 5–13.
13. 1894.00.000ТЗ Технічне завдання на дослідно-конструкторську роботу «Вагон-платформа для великотоннажних контейнерів моделі 13-1894». Жмеринка, ЖВРЗ «Експрес», 2024. 24 с.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

14. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовое качества. ГосНИИВ, Москва, 1995. 101 с.

15. ДСТУ 7598:2014 Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Введено на підставі наказу ДП «УкрНДНЦ» від 02.12.2014 № 1430. Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2014. 162 с.

I.I. Fedorak

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (068) 974-57-67, E-mail: ivigfed@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4503-1858>

A.O. Sulym

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (05366) 6-03-54, E-mail: sulim1.ua@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

P.O. Khozia

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (067) 736-68-20, E-mail: Pavlo.khozia@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

S.O. Stoletov

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: (067) 367-40-43, E-mail: stoletoff.s.a@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-2534>

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FLAT CAR MODEL 13-1894 FOR LARGE-CAPACITY CONTAINERS

The article describes the methodology and results of experimental studies of a flat car for large-capacity containers of model 13-1894 (hereinafter referred to as the flat car) during tests to determine static and dynamic strength and dynamic qualities.

The technical characteristics of the flat car subjected to static and dynamic scientific and experimental studies by the method of carrying out a set of tests are presented and indicated. The design features of the flat car that distinguish it from other similar freight cars are described.

The paper analyzes the results of static strength research and experimental studies of a flat car and compares the obtained values with the normative ones. The diagrams of the obtained stresses in the structural elements of the car for the first and third design modes and the location of strain gauges during strength tests are presented.

The results of running dynamic parameters in the empty and loaded states of the platform car are determined, and the obtained values are compared with the normative ones. The diagrams of the experimental determination of the coefficient of vertical body dynamics and the coefficient of stability from wheel derailment are shown.

Based on the experimental data obtained during the running strength studies, the fatigue resistance factors of the structural elements of the railroad car were determined based on its operation for 32 years. The actual values obtained are within the limits of regulatory requirements.

Diagrams of the maximum total stresses in the structural elements of a railroad car under impact are presented. Based on the results of the study of the platform car for impact by regulatory forces, it was found that the maximum total stresses recorded in the side beam do not exceed the permissible value.

Key words: flat car for gross weight containers, experimental studies, strength, impact, ride performance.

REFERENCES

1. Khozia, P.O., Yushko, O.O., Orlov, O.V., Khvienko, E.O., & Hryhoroshenko, M.V. (2022). Naukovo-eksperymentalni doslidzhennia tekhnichnykh kharakterystyk vahona-samoskyda modeli 33-7141 [Scientific and experimental studies of the technical characteristics of the dump car model 33-7141]. *Zbirnyk nau-kovykh prats «Reikovyi rukhomiy sklad» - Collection of scientific works "Railbound rolling stock"*, 25, 129-143. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-129-143> [in Ukrainian]
2. Yeskov, D.I., Ilchyshyn, V.V., & Breslavets, T.A. (2020) *Naukovo-eksperymentalni doslidzhennia tekhnichnykh kharaktery-styk vahona-samoskyda modeli 33-7141 na tryvisnykh vizkakh modeli 18-7142 [Report on research and development. Scientific and experimental research of technical characteristics of the dump car model 33-7141 on three-axle bogies model 18-7142]. DR No. 0121U114037. Khozia P.(Ed.) Kremenчук: SE «UkrNDIV»* [in Ukrainian]
3. Ilchyshyn, V.V., Sheleiko, T.V., & Khozia, P.O., (2017). *Naukovo-eksperymentalni doslidzhennia tekhnichnykh kharaktery-styk vahona-platformy dlia velykotonnazhnykh konteineriv modeli 13-6961(zakliuchnyi) [Report on research and development. Scientific and experimental research of technical characteristics of the flat car for large-tonnage containers model 13-6961 (final)] DR № 0119U102793. Safronov, O.M. (Ed). Kremenчук: SE «UkrNDIV»* [in Ukrainian]
4. Kostytsia, S.A., Fedorov, E.F., Bolotov, V.V., & Granovska, N.Y. (2021). *Khodovi dynamichni ta mitsnosni vyprobuvannia vahona-platformy modeli 13-7133 na vizkakh z kovzunamy zazornoho typu dlia perevezennia krupnotonnazhnykh konteineriv. Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu [Running dynamic and strength tests of the platform car model 13-7133 on bogies with gap type slides for the transportation of large-tonnage containers. Problems and prospects for the development of railway transport]. Proceedings from 81 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 22-23 kvitnia 2021 r. - The 81st International Scientific and Practical Conference, April 22-23, 2021. A. Radkevych, R. Rybalka (Ed.).(pp. 307-308). Dniprov. natsionalnoho universytet zaliznych. transp. im. akad. V. Lazariana - Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Dnipro* [in Ukrainian]
5. Fedosov-Nikonov, D.V., Sulym, A.O., Ilchyshyn, V.V., Safronov, O.M., & Kelrich, M.B. (2020). Study of strength characteristics of the long wheelbase flat cars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012029>
6. Kelrich, M.B., Fedosov-Nikonov, D.V. (2016). *Doslidzhennia na mitsnist konstrukttsii dovhobaznoi platformy [Research on the strength of the structure of a long-base platform]. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia - Bulletin of the East Ukrainian National University named after V. Dahl, 1 (225), 90-94* [in Ukrainian]
7. Kelrich, M.B., Braikovska, N.S., Fomin, O.V., & Prokopenko, P.M. (2019). *Osoblyvosti provedennia vyprobuvan vahona-tsysterny dlia perevezennia nebezpechnykh vantazhiv [Features of testing a tank car for the transportation of dangerous goods]. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. Fizychni nauky -Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl. Physical Sciences, 3 (251),77-83* [in Ukrainian]
8. Kukin, S.V., Vodiannikov, Y.Y., Mozheiko, E.R., Mozheiko, A.E., & Pavlov, S.A. (2020). *Otsinka halmvivnoi efektyvnosti vahona tsysterny modeli 15-7140 na dotrymannia vymoh HOST 34434-2018 [Evaluation of the braking efficiency of a tank car model 15-7140 for compliance with the requirements of GOST 34434-2018]. Zbirnyk naukovykh prats «Reikovyi rukhomiy sklad» - Collection of scientific works «Railbound rolling stock», 21, 120-132. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2020-21-120-132> [in Ukrainian]*

9. Sheleiko, T.V., Khozia, P.O., & Strynzha, A.M. (2017). *Naukovo-eksperymentalni doslidzhennia tekhnichnykh kharakterystyk vahona-khopera modeli 19-4152 dlia zerna ta inshykh kharchovykh vantazhiv. Zvit pro NDR. DR No. 0119U102806 [Report on research and development. Scientific and experimental studies of technical characteristics of the hopper car model 19-4152 for grain and other food cargo]*. Ilchyshyn V.V. (ed.). Kremenchuk: SE «UkrNDIV» [in Ukrainian]
10. Ilchyshyn, V.V., Strynzha, A.M., Khudienko, V.A., Fedosov-Nikonov, D.V., Poluliakh, V.M., & Dolinskyi, S.V. (2018). Teoretychni ta eksperymentalni doslidzhennia mitsnosti innovatsiinoi konstrukttsii bunkernoho vahona [Theoretical and experimental studies of the strength of the innovative design of the bunker car]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» - Collection of scientific papers "Rail rolling stock"*, 17, 79-86 [in Ukrainian]
11. Petrenko, V.O., Kelrich, M.B., Prokopenko, P.M., & Kara, S.V. (2022). Otsinka nesivnoi zdatnosti modernizovanoi ramy vahona-zernovoza [Evaluation of the bearing capacity of the modernized frame of a grain car]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy -Railway transport of Ukraine*, 3, 4-10. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10>[in Ukrainian]
12. Ilchyshyn, V.V., Strynzha, A.M., Khudienko, V.A., Poluliakh, V.M., & Shushmarchenko, V.O. (2018). Mitsnisi doslidzhennia elementiv konstrukttsii bunkernoho vahona [Strength studies of the elements of the bunker car structure]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnologii» - Collection of scientific papers of the DUIT. Series "Transport systems and technologies"*, 32, Vol. 2, 5-13 [in Ukrainian]
13. *Tekhnichne zavdannya na doslidno-konstruktorsku robotu «Vahon-platforma dlia velykotonnazhnykh konteineriv modeli 13-1894» 1894.00.000TZ – ZhVRZ «Ekspres» [Terms of reference for the research and development work «Flat car for large-tonnage containers model 13-1894» 1894.00.000T3 – ZhVRZ «Express»*.(2024). Zhmerynka [in Ukrainian]
14. Vagony gruzovye i passazhyrskie. Metody ispytaniy na prochnost i khodovye kachestva [Freight and passenger cars. Test methods for strength and running characteristics] (1995). *RD 24.050.37-95*. Moscow: GosNIIV
15. Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv kolii 1520 mm (nesamokhidnykh) [Freight cars. General requirements for the calculation and design of new and modernized railcars of 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. (2014). *DSTU 7598:2014* [in Ukrainian]

І.Е. Мартинов

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +38 (057) 730-10-36, E-mail: martinov.hiit@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

А.В. Труфанова

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +38 (057) 730-10-35, E-mail: trufanova@kart.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

В.О. Шовкун

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +38 (067) 399 6881, E-mail: vadimshovkun62@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-6053>

О.О. Балашов

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +38 (057) 7301035, E-mail: balashov@kart.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2712-2495>

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ВПЛИВАЮЧИХ НА АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР УНІВЕРСАЛЬНИХ НАПІВВАГОНІВ

Опір руху є тим чинником, який впливає на економічні показники залізниць. Аеродинамічний опір повітря є одним з основних чинників, що впливають на витрати палива та електроенергії на тягу поїздів. Особливо це відчутно під час руху на високих швидкостях, де саме опір повітря є головним фактором. В статті викладені результати досліджень аеродинамічного опору універсальних напіввагонів.

Розглянуто вплив повітряних аеродинамічних потоків на вантажний залізничний поїзд. Для дослідження аеродинамічного опору використовувались характеристики універсальних напіввагонів моделі 12-9745. Відмінністю кузова даного напіввагона є гладкі бокові стіни без гофр, які характерні для переважної більшості універсальних напіввагонів різних моделей. Інші параметри розрахункової моделі відповідали геометричним параметрам кузова вагона, в тому числі наявність бічних стояків, що виступають за поверхню бокової стіни.

Під час досліджень рівень завантаження напіввагону складав 70% та 100% номінальної вантажопідйомності. Наявність візків та підвагонного

© Мартинов І.Е., Труфанова А.В., Шовкун В.О., Балашов О.О., 2024

обладнання не враховувалась. Також виконано моделювання для порожнього стану напіввагона.

Для моделювання поведінки та взаємодії повітряних потоків з об'єктами складної геометрії, якими є вантажні вагони, використовувався програмний комплекс ANSYS Workbench. При моделюванні обтікання вагона потоком повітря при русі вздовж залізничної колії використовувалася тетрадральна сітка.

Розроблена модель дозволяє уточнити коефіцієнт аеродинамічного опору. При цьому є можливість врахувати характер повітряного потоку та експлуатаційних режимів вагона, стан завантаженості (порожній, завантажений), кількість вагонів у складі поїзда та кут атаки повітряного потоку. Розрахункова область являє собою обсяг повітря, що оточує навколишній вагон.

Для зовнішнього повітряного потоку сприяла виникненню найбільшого опору при впливі повітряного потоку на передню частину вагона у міжвагонному просторі. Також формувалися турбулентні зони за вагоном та турбулентні зони усередині порожнього вагона. Зміна кута атаки повітряного потоку збільшує площу активного перерізу рухомого складу. Це призводить до значного зростання аеродинамічного опору.

Порожні напіввагони мають значно більший аеродинамічний опір, ніж навантажені. Це призводить до збільшення споживання енергії та зниження економічності перевезень.

Стаття призначена для використання науковцями, фахівцями вагонобудування та вагонного господарства.

Ключові слова: напіввагон універсальний, кузов, аеродинамічний опір, повітряний потік, кут атаки.

Вступ. Однією з основних завдань під час створення іновативних вагонів є підвищення економічності. Відомо, що опір руху є тим чинником, який впливає на економічні показники залізниць. Облік величини опору руху дозволяє ефективно використовувати енергетичні ресурси при транспортуванні вантажів та пасажирів.

Повний опір руху вагона під час руху по рейках складається з основного опору, що діє постійно, та додаткового опору, що діє тимчасово (при рушанні з місця, від ухилу, кривих і т.п.). Основний опір є силою, яка перешкоджає руху поїзда по прямій горизонтальній колії на відкритій місцевості. Чинники, що впливають на величину основного опору, вивчені досить повно: опір від тертя кочення коліс по рейках, опір від тертя в буксових підшипниках і т.п. Сюди ж входить аеродинамічний опір від повітряного середовища. Воно також суттєво впливає на тягово-енергетичні характеристики рухомого складу.

Вплив повітряного середовища на рухомий склад багатоплановий. Умовно його можна розглядати в рамках зовнішньої, внутрішньої та прикордонної аеродинаміки. Зазвичай поїзд характеризується зовнішньою аеродинамікою. Вона визначається швидкістю руху поїзда, його складом, ступенем аеродинамічної досконалості вагонів і локомотивів, умовами руху по коліям, станом і величиною зовнішніх і внутрішніх аеродинамічних зв'язків у поїзді.

У наукових працях, присвячених опору руху поїздів, як правило більша увага приділяється уточненню загальної методики розрахунку, вивченню процесів розсіювання енергії в навколишнє середовище і втрати енергії в підшипниках. Але для вантажних поїздів, де довжина складу та складна форма вагонів створюють знач-

ний опір, аеродинамічні удосконалення можуть суттєво знизити витрату палива (електроенергії) та викиди парникових газів.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Аеродинамічний опір поїздів детально досліджено у роботі [1]. Автор докладно аналізує моделі опору руху та енергоспоживання поїздів. При цьому врахована маса складу, його довжина, осьові навантаження та особливості колії. Ці дані особливо важливі для оцінки енергетичної ефективності різних типів складів.

Для розрахунків тягового опору поїздів основною залишається формула Девіса [2], запропонована ще у 1926 році. Вона враховує ключові компоненти опору, включаючи механічне тертя та аеродинамічний опір, що дозволяє проводити аналіз шляхів зменшення енергоспоживання.

Стандарти Євросоюзу [3] деталізують вимоги до аеродинамічних характеристик поїздів. У цьому документі розглянуті такі аспекти, як опір вітру, стійкість на відкритих ділянках колії та вплив погодних умов, що є важливим для забезпечення безпеки руху.

Методи оптимізації аеродинаміки контейнерних поїздів докладно описані у статті [4]. Автори вивчають конфігурації вагонів та їх розміщення зниження опору повітря. Результати показали, що раціональне використання контейнерів різної висоти може значно знизити паливні витрати.

У дослідженні [5] виконаний комплексний аналіз аеродинаміки вантажних поїздів. Автор аналізує вплив попутного та бічного вітру на стійкість поїздів, а також надає рекомендації щодо проектування вагонів для зниження аеродинамічного опору.

За результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень отримано розподіл повітряних потоків навколо вагонів для перевезення контейнерів [6]. У статті показано, що оптимізація завантаження та форм вагонів дозволить суттєво зменшити опір повітря

Дослідження [7] присвячено вивченню методів зниження аеродинамічного опору вантажних вагонів. Автор проаналізував вплив різних форм конструкцій вагонів на загальний опір повітря. Основну увагу приділено оптимізації геометрії вагонів для підвищення їх енергоефективності. Результати дослідження стали основою проектування більш обтічних конструкцій вагонів для сприяння зменшення витрати палива. Аналіз, наведений у [8], дає можливість оцінити вплив бічного вітру на стійкість поїздів. Особливо це важливо на відкритих ділянках колії.

Авторами дослідження [9] було розглянуто питання удосконалення аеродинамічних профілів вантажних цистерн та запропоновані рішення щодо зменшення аеродинамічного опору. У статті [10] наведено результати динамічного аналізу напіввагонів при обтіканні їх потоком повітря із застосуванням CFD-моделювання. Результати розрахунків показали, що при використанні спрощеної геометрії вагонів коефіцієнт лобового опору виявляється на 20% нижче, ніж отриманий на основі деталізованої моделі.

Авторами роботи [11] розглядаються питання забезпечення довговічності елементів вагонів з урахуванням навантажень, викликаних аеродинамічними силами.

У статті [12] викладено результати дослідження щодо зниження витрати тягової енергії при зниженні ваги суцільнометалевого піввагону. Запропоновано нову форму глухої підлоги, що дозволяє знизити вагу суцільнометалевого напіввагону. Встановлено, що вагу суцільнометалевого напіввагону зі зміненою формою глухої підлоги знижено на 5,1% порівняно з типовим суцільнометалевим напіввагоном.

Автори роботи [13] стверджують, що для вантажного поїзда з 60 вагонів при

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

швидкості 90 км/год опір повітря становить близько 60% основного опору руху. Причому значення аеродинамічного опору, який створюється поїздами з різною схемою розташування вагонів у складі, різняться більш як на 400 %.

Розрахунок вітрових навантажень, виходячи з яких визначаються аеродинамічні параметри транспортного засобу, виконується на основі натурних випробувань рухомого складу, випробувань моделей, що масштабуються в аеродинамічних трубах, а також методів обчислювальної гідродинаміки. Випробування залізничних транспортних засобів бажано виконувати в аеродинамічній трубі на масштабованих моделях при нерухомій поверхні [14].

Проведений аналіз досліджень у галузі аеродинаміки вантажних поїздів свідчить, що зусилля науковців спрямовані на зниження опору повітря, підвищення стійкості та оптимізацію конфігурації поїздів. Ці аспекти мають вирішальне значення для підвищення енергоефективності залізничного транспорту. Тому дослідження шляхів зниження аеродинамічного опору вантажних вагонів залишається актуальною задачею. Особливо це важливо для універсальних напіввагонів, які складають переважну більшість парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця».

Мета дослідження. Побудова розрахункової моделі та дослідження аеродинамічного опору універсальних напіввагонів моделі 12-9745.

Матеріали та методи дослідження. На першому етапі у програмному комплексі ANSYS Workbench була створена модель кузова універсального напіввагона моделі 12-9745. Як відомо, відмінністю кузова даного напіввагона є гладкі стіни без гофр, які характерні для переважної більшості універсальних напіввагонів різних моделей. Інші параметри розрахункової моделі відповідали геометричним параметрам кузова вагона, в тому числі наявність бічних стояків, що виступають за поверхню бокової стіни. Рівень завантаження напіввагона складав 70% та 100% вантажопідйомності. Наявність візків та підвагонного обладнання не враховувалась.

Під час моделювання обтікання вагона потоком повітря при русі вздовж залізничної колії використовувалася тетраедральна сітка, що включає близько 350 тис. елементів.

Аеродинамічний опір F_a розраховується за наступною формулою [2]:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A \cdot v^2, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³;

C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору;

A – площа лобової поверхні вагона, м²;

v – швидкість руху, м/с.

Розроблена модель дозволяє уточнити коефіцієнт аеродинамічного опору C_x . При цьому є можливість врахувати характер повітряного потоку та експлуатаційних режимів вагона, стан завантаженості (порожній, завантажений), кількість вагонів у складі поїзда. Також при побудові моделі враховувався кут атаки повітряного потоку.

Чисельне моделювання виконувалося на підставі рішення рівняння нерозривності і середніх по Рейнольдсу рівнянь зміни кількості руху Нав'є-Стокса (метод Reynolds Averaged Navier-Stokes), для замикання яких використовувалася модель турбулентності $k - \varepsilon$ та швидкості дисипації кінетичної енергії ε . Для моделювання поведінки та взаємодії повітряних потоків з об'єктами складної геометрії викорис-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

товувався програмний комплекс ANSYS Workbench. Він має автоматизовані інструменти для моделювання впливу потоку повітря на вагон та дозволяє з високою точністю імітувати локальні зміни турбулентності та розподілення тиску на зовнішніх та внутрішніх поверхнях кузова.

Збіжність отриманого рішення перевірялася за критерієм рівня середньоквадратичних нев'язок рівняння нерозривності і моментів кількості руху, який дорівнював $10^{-4} \div 10^{-5}$.

Розрахункова область являє собою обсяг повітря, що оточує навколишній вагон (рис. 1). З неї виключено простір, що займає безпосередньо модель вагона. Значення і напрями швидкості набігаючого повітряного потоку задавалися на вхідних межах.

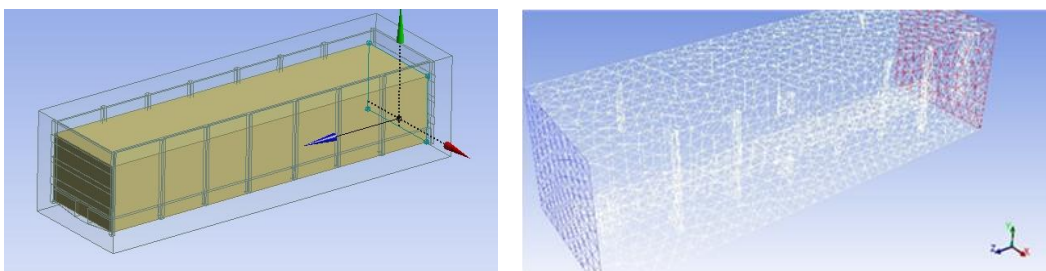


Рис. 1. Каркасне зображення розрахункової моделі

Аналіз результатів показав значну динамічність процесів обтікання. На рис. 2, 3 показано вплив повітряного потоку на кузов універсального напіввагону при швидкості 20 м/с.

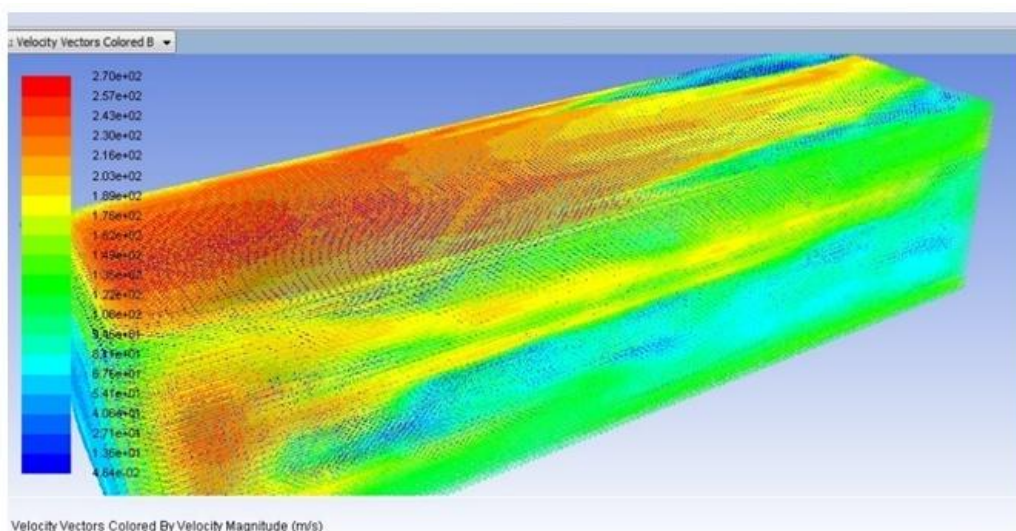


Рис. 2. Векторне уявлення опору повітряного потоку

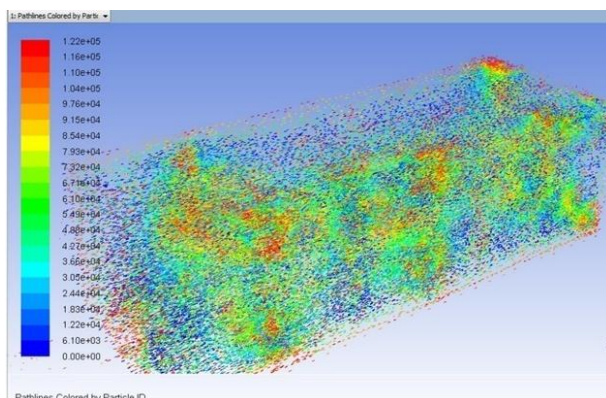


Рис. 3. Розподіл швидкостей потоку у перерізі розрахункової області

Дія зовнішнього повітряного потоку сприяла виникненню найбільшого опору при впливі повітряного потоку на передню частину вагона у міжвагонному просторі. Також формувалися турбулентні зони за вагоном та турбулентні зони усередині порожнього вагона. Також значним був вплив кута атаки повітряного потоку, що особливо важливо при бічному вітрі.

Для оцінки аеродинамічного опору універсальних напіввагонів було виконано серію розрахунків, в рамках яких проаналізовано залежність опору повітря від наступних факторів:

- швидкість руху поїзда;
- режим завантаження (завантажений чи порожній вагон);
- кут атаки повітряного потоку (вітрового навантаження).

В результаті моделювання отримано уточнені коефіцієнти аеродинамічного опору C_x . Для завантаженого вагона зазначений коефіцієнт C_x знаходиться в межах від 0,18 до 0,28. Це зумовлено тим, що внутрішні повітряні потоки у міжвагонному та бічному просторі мінімальні.

Для порожнього вагона наявність турбулентних потоків усередині кузова збільшують C_x до 0,35-0,36.

Торцева внутрішня стіна фактично створює лобовий опір потоку.

При куті атаки повітряного потоку 10° опір повітря зростає на 15-20%, що зумовлено збільшенням ефективної площі взаємодії потоку з вагоном.

На рис. 4 показана залежність опору повітря від швидкості руху напіввагонів відкритого типу, як завантажених, так і порожніх.

Очевидно, що опір повітря збільшується зі зростанням швидкості та числа вагонів. Порожні напіввагони мають опір більший у порівнянні із завантаженими. Це обумовлено більшим коефіцієнтом аеродинамічного опору.

Підтверджено, що аеродинамічний опір зростає пропорційно квадрату збільшення швидкості руху.

Зі збільшенням кількості вагонів у складі поїзда загальна площа опору також зростає, що призводить до лінійного збільшення загального опору повітря.

Додавання кута атаки в аналіз аеродинамічного опору вагонів відкритого типу ускладнює модель, тому що кут атаки суттєво впливає на розподіл повітряного потоку та, відповідно, на величину аеродинамічного опору. Кут атаки виникає, коли повітряний потік спрямований на вагон під кутом, а не суворо фронтально (0°).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

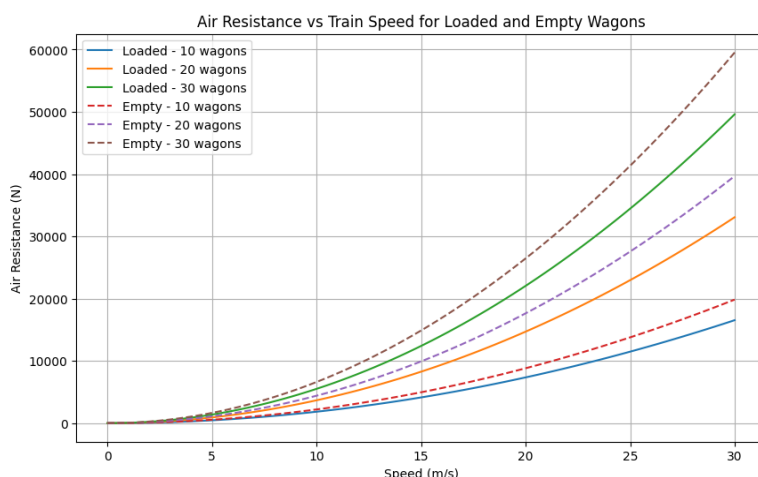


Рис. 4. Залежності аеродинамічного опору поїзду з порожніми та завантаженими вагонами

На рис. 5 представлено зміни аеродинамічного опору повітря в залежності від швидкості руху поїзда, кількості вагонів у складі та їх стану (завантажені або порожні) з урахуванням кута атаки 10° .

Очевидно, що зміна кута атаки повітряного потоку збільшує площу активного перерізу рухомого складу. Це призводить до значного зростання аеродинамічного опору.

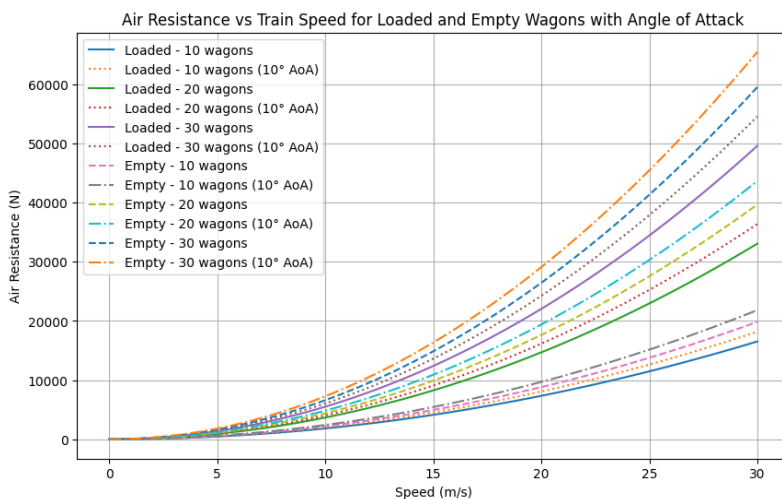


Рис. 5. Залежності аеродинамічного опору поїзду з порожніми та завантаженими вагонами з урахуванням кута атаки повітряного потоку

Знову ж таки аеродинамічний опір зростає квадратично зі зростанням швидкості для всіх сценаріїв. Графік наочно демонструє, що кут атаки 10° призводить до збі-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

льшення аеродинамічного опору, особливо для порожніх вагонів, що необхідно враховувати при оптимізації руху вантажних поїздів.

Висновки. На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. За допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench розроблено модель впливу потоку повітря на універсальний напіввагон.

2. Визначено, що при однаковій швидкості та однаковій кількості вагонів склад з порожніх вагонів має на 20% більший опір повітря, ніж завантажений. Для зменшення цього ефекту рекомендується розглядати варіанти покращення аеродинамічної форми порожніх вагонів (наприклад, використання кришок або аеродинамічних екранів).

3. На швидкостях руху понад 60 км/год вплив аеродинамічного опору стає домінуючим фактором.

4. Отримані результати можуть бути використані вагобудівниками для вдосконалення нових моделей напіввагонів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lukaszewicz P., Energy Consumption and Running Time for Trains. Ph.D. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001. URL: <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:8954>.
2. Davis W. J. The Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars. General Electric, Boston, 1926. 23 p.
3. EN 14067-2:2003. Railway Applications – Aerodynamics, Part 2: Aerodynamics on Open Track, Beuth Publishing, Berlin, 2003. 19 p.
4. Beagle A. E., Fletcher D. I. The Aerodynamics of Freight: Approaches to Save Fuel by Optimizing the Utilization of Container Trains. Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit. 2013. Vol. 227. pp. 635–643.
5. Soper D. The Aerodynamics of a Container Freight Train. Ph.D. Thesis, University of Birmingham, UK. 2014. 374 p.
6. Li C., Burton D., Kost M., Sheridan J., Thompson M. C. Flow Topology of a Container Train Wagon Subjected to Varying Local Loading Configurations. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 2017. Vol. 169. pp. 12–29.
7. Bendel H. Untersuchungen zur Verringerung des aerodynamischen Widerstandes von Güterwagen. Z. Eisenb. Verk. 1990. Vol. 114. pp. 124–132.
8. Nagakura K. Recent Studies on Aerodynamic Characteristics of Railway Vehicles. Quarterly Report of RTRI. 2018. Vol. 59. No. 2. pp. 81–84. URL: https://doi.org/10.2219/rtriqr.59.2_81.
9. Nayeri C. N. Aerodynamic Drag Reduction of Railroad Tank Wagons. Fluids. 2022. Vol. 7. No. 8, p. 283. URL: <https://doi.org/10.3390/fluids7080283>.
10. Kedare S. B., Sharma S. C., Harsha S. P. Computational Fluid Dynamics Analysis of Empty Railway Freight Wagons. Int. J. Veh. Struct. Syst.. 2015. Vol. 7. No. 1. pp. 25–30. URL: <https://doi.org/10.4273/ijvss.7.1.05>.
11. Hemida H., Krajnović S. The Impact of Crosswind on Freight Train Stability. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.. 2015. Vol. 145. pp. 60–70. URL: <https://www.elsevier.com/en-xm>.
12. Myamlin S., Bulakh M., Klich L., Baranovska O., Baida A. Reducing Traction Energy Consumption with a Decrease in the Weight of an All-Metal Gondola. Energies. 2023. 16(18):6733. URL: <https://doi.org/10.3390/en16186733>.
13. Чурков Н. А., Битюцкий А. А., Кручек В. А. Влияние воздушной среды на поезд. Изв. Петербургского университета путей сообщения. 2013. № 2 (35). С. 20-26.
14. Baker C., Cheli F., Orellano A., Paradot N., Proppe C., Rocchi D. Cross-wind effects on road and rail vehicles. Vehicle System Dynamics. 2009. Vol. 47. iss. 8. pp. 983–1022. URL: <https://doi.org/10.1080/00423110903078794>

I.E. Martynov

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +38 (057) 730-10-36, E-mail: martinov.hiit@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

A.V. Trufanova

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +38 (057) 730-10-35, E-mail: trufanova@kart.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

V.O. Shovkun

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +38 (067) 399 6881, E-mail: vadimshovkun62@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-6053>

O.O. Balashov

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +38 (057) 730-10-35, E-mail: balashov@kart.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2712-2495>

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE AERODYNAMIC DRAG OF UNIVERSAL GONDOLACARS

Moving resistance is a factor that affects the economic performance of railways. Aerodynamic drag is one of the main factors affecting fuel and electricity consumption for train traction. This is especially noticeable at high speeds, where air resistance is the primary factor. This article presents the results of studies on the aerodynamic drag of universal gondola cars.

The impact of air aerodynamic flows on freight trains is considered. The characteristics of universal gondolas of model 12-9745 were used to study aerodynamic drag. The distinguishing feature of this flat car's body is the smooth side walls without corrugations, which are characteristic of the vast majority of universal gondolas of various models. Other parameters of the calculation model corresponded to the geometric dimensions of the car's body, including the presence of side braces that extend beyond the side wall surface.

The loading level of the gondola was 70% and 100% of the nominal load capacity. The presence of bogies and undercarriage equipment was not taken into account. Modeling for the empty state of the open-top wagon has also been completed.

The ANSYS Workbench software package was used to model the behavior and interaction of air flows with objects of complex geometry, such as freight cars. A tetrahedral mesh was used to model the air flow around the car when moving along the railway track.

The developed model allows you to specify the aerodynamic drag coefficient. At the same time, it is possible to take into account the nature of the air flow and the operational modes of the car, the state of loading (empty, loaded), the number of cars in the train and the angle of attack of the air flow. The calculation area represents the volume of air surrounding the car.

The action of the external air flow resulted in the highest resistance when the air-flow impacted the front part of the car in the inter-car space. Turbulent zones were also formed behind the car and inside the empty car. Changing the angle of attack of the air flow increases the area of the active cross-section of the rolling stock. This leads to a significant increase in aerodynamic drag.

Empty gondolas have significantly greater aerodynamic resistance than loaded ones. This leads to increased energy consumption and reduced transportation efficiency.

Key words: universal gondola car, body, aerodynamic drag, airflow, angle of attack.

REFERENCES

1. Lukaszewicz, P. (2001). *Energy Consumption and Running Time for Trains* (Ph.D. Thesis). KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:8954>.
2. Davis, W. J. (1926). *The Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars*. General Electric, Boston.
3. EN 14067-2:2003. (2003). *Railway Applications - Aerodynamics, Part 2: Aerodynamics on Open Track*. Beuth Publishing, Berlin.
4. Beagle, A. E., & Fletcher, D. I. (2013). The aerodynamics of freight: Approaches to save fuel by optimising the utilisation of container trains. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 227, 635-643.
5. Soper, D. (2014). *The Aerodynamics of a Container Freight Train* (Ph.D. Thesis). University of Birmingham, Birmingham, UK.
6. Li, C., Burton, D., Kost, M., Sheridan, J., & Thompson, M. C. (2017). Flow topology of a container train wagon subjected to varying local loading configurations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 169, 12-29.
7. Bendel, H. (1990). Untersuchungen zur Verringerung des aerodynamischen Widerstandes von Güterwagen (Studies on reducing the aerodynamic resistance of freight cars). *Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik*, 114, 124-132.
8. Nagakura, K. (2018). Recent studies on aerodynamic characteristics of railway vehicles. *Quarterly Report of RTRI*, 59(2), 81-84. https://doi.org/10.2219/rtriqr.59.2_81.
9. Nayeri, C. N. (2022). Aerodynamic drag reduction of railroad tank wagons. *Fluids*, 7(8), 283. <https://doi.org/10.3390/fluids7080283>.
10. Kedare, S. B., Sharma, S. C., & Harsha, S. P. (2015). Computational fluid dynamics analysis of empty railway freight wagons. *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 7(1), 25-30. <https://doi.org/10.4273/ijvss.7.1.05>.
11. Hemida, H., & Krajnović, S. (2015). The impact of crosswinds on freight train stability. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 60-70. <https://www.elsevier.com/en-xm>.
12. Myamlin, S., Bulakh, M., Klich, L., Baranovska, O., & Baida, A. (2023). Reducing traction energy consumption with a decrease in the weight of an all-metal gondola car. *Energies*, 16(18), 6733. <https://doi.org/10.3390/en16186733>.
13. Churkov, N. A., Bityutskiy, A. A., & Kruchek, V. A. (2013). Vliyaniye vozduшной sredy na poyezd (Influence of the air environment on a train). *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya – News of the Petersburg University of Railway Engineering*, 2(35), 20-26 [in Russian].
14. Baker, C., Cheli, F., Orellano, A., Paradot, N., Proppe, C., & Rocchi, D. (2009). Cross-wind effects on road and rail vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 47(8), 983-1022. <https://doi.org/10.1080/00423110903078794>.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. Редакція ДП «УкрНДІВ» на постійній основі здійснює прийом наукових та науково-технічних статей в збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», який виходить два рази на рік (червень, грудень поточного року), з такими термінами подання статей до редакційної колегії:

- до 15 травня (термін видання – червень);
 - до 15 листопада (термін видання – грудень).
- Мова видання: українська, англійська, німецька.

2. Критерії відбору статей редакційною колегією

До друку у Збірнику приймаються лише наукові статті, які відповідають тематичному спрямуванню журналу та мають такі необхідні елементи:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

З метою дотримання зазначених вище вимог слід **жирним шрифтом виділити такі елементи статті: вступ, постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, мета статті, методи дослідження, висновки.**

- дотримано науковий стиль викладення матеріалу статті
- оформлено посилання на кожне запозичення у тексті та відображено джерела у бібліографічному списку.
- обсяг статті не менше ніж 8 сторінок, та не більше ніж 25 сторінок.

Усі статті проходять процедуру експертної оцінки статей (перевірку на плагіат, здійснення редколегією внутрішнього та зовнішнього (за необхідністю) незалежно-го рецензування статей, що готуються до опублікування.

3. До редколегії Збірника має бути подано:

1. електронний варіант статті у форматі DOC,
2. рецензію на статтю (за необхідністю);
3. експертний висновок про можливість опублікування матеріалів (за необхідністю);
4. витяг з протоколу засідання кафедри чи лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку (за необхідністю);
5. довідку про авторів (порядковий номер (верхній індекс – арабська цифра та додатково зірочка для автора-кореспондента), місце роботи, науковий ступінь, вчене звання, повна поштова адреса (вулиця, корпус, будинок, назва населеного пункту, країна, індекс), номери телефонів, електронна пошта та ORCID: двома мовами – українською та англійською. Збір та обробка персональних даних здійснюються відповідно до вимог Закону України «Про захист персональних даних».
6. структуровану анотацію українською та англійською мовами (мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість) одним абзацем, обсягом від

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

250 до 300 слів з вирівнюванням по ширині. Анотація має обов'язково містити ключові слова (5 – 10 слів).

7. ліцензійний договір на використання твору (за умови прийняття статті до друку).

8. статтю, оформлену згідно вимог і завізовану власноручно підписом автора, за умови прийняття статті до друку. Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.

4. Вимоги до рукопису:

Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці під час переказу раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела.

Текстові матеріали готуються та друкуються на аркушах білого односортного паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word for Windows, для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись з використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Відповідальність за наведені показники несе автор. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Одиниці вимірювання слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

Остання сторінка статті має бути заповнена текстовою інформацією не менше, ніж на 50 відсотків.

Для авторів – не громадян України переклад назви статті, відомостей про автора, анотації та ключових слів на українську мову не є обов'язковим.

5. Вимоги до технічного оформлення статей

5.1. Параметри сторінки Збірника встановлені такі:

- розмір сторінки – 210x297 (A4)
- орієнтація книжна
- поля верхні та бокові – 35 мм;
- поле нижнє – 45 мм;
- відступ від верхнього колонтитула – 12 мм;
- відступ від нижнього колонтитула – 20 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити.

5.2. Матеріали набирають такими шрифтами:

- **УДК** – 11 пунктів, курсив, вирівнювання тексту по лівому краю;
- **автори** – 12 пунктів, напівжирний курсив вирівнювання тексту по лівому краю;
- **НАЗВА СТАТТІ** – усі прописні літери, 12 пунктів, напівжирний вирівнювання тексту по центру;
- **анотація** – 11 пунктів, напівжирний курсив вирівнювання тексту по ширині;
- **Ключові слова** (5–12 окремих слів та/або у складі декількох словосполучень) – з вирівнюванням по ширині
- **основний текст** – 11 пунктів, звичайний вирівнювання тексту по ширині;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- *слова Рисунок, Таблиця, Діаграма, Схема та їхні номери* – 11 пунктів, курсив;

Рис. 1. Зовнішній вигляд

Таблиця 1. – Окремі характеристики

- **назви рисунків, таблиць, діаграм, схем** – 11 пунктів, напівжирний, вирівнювання тексту по центру;
- © *Дьоміна А. К., 2018* – 12 пунктів, напівжирний курсив вирівнювання тексту по лівому краю;
- **заголовки в підрозділі** – 11 пунктів, напівжирний, вирівнювання тексту по лівому краю.
- **ЛІТЕРАТУРА** – 11 пунктів, напівжирний, вирівнювання тексту по центру;
- **блок англійською мовою та латиницею** – формат відповідає вимогам до оформлення статті: повний список (спів)авторів; відомості про (спів)авторів; назва статті; анотація; ключові слова. Розташовується по ширині сторінки після ЛІТЕРАТУРИ.
- **Джерела в списку** – 9 пунктів звичайним шрифтом, вирівнювання тексту по ширині;

5.3. Інтервали між елементами матеріалу такі:

- УДК – автори – 2;
- автори – назва статті – 3;
- назва статті – анотація – 2;
- анотація – основний текст – 1;
- основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 2;
- назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми, схеми – їхні назви) – 1;
- нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 2;
- основний текст – знак авторського права – 1;
- основний текст – ЛІТЕРАТУРА – 1;
- ЛІТЕРАТУРА – список літератури – 1.
- Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 5 мм, інтервал між рядками – одинарний.
- Кожна наступна адреса та дані для листування починаються з нового рядка. (TNR 9, начертання звичайне, інтервал перед блоком – 0 пт, після – 12 пт).
- Не рекомендовано:
 - здійснювати ущільнення або розрідження інтервалів між літерами;
 - відбивати абзаци табуляціями або багаторазовими пробілами;
 - між ініціалами та прізвищем ставиться нерозривний пробіл (Ctrl+Shift+пробіл).

5.4. Вимоги до таблиць, діаграм, ілюстративного матеріалу:

Усі рисунки, таблиці, діаграми повинні мати назви та номери (у випадку, коли в одному матеріалі міститься два і більше названих елементів):

Якщо після тематичного заголовка підпису наводиться розшифрування, то між ними ставиться двокрапка і розміщену далі розшифровку набирають шрифтом 9 пт, наприклад:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Рис. 15. Дискове гальмо:

1 – гальмівний диск; 2 – кліщовий механізм

Слід використовувати лише графічні елементи, виконані у графічних редакторах із високою якістю деталей.

Також ілюстрації надаються у вигляді окремих файлів формату JPEG, TIFF (для растрових) або PSD (для растрових, виконаних у Photoshop), CDR (для векторних, виконаних в CorelDRAW). Фотографії повинні бути чіткими і контрастними. Якщо на фотографіях потрібно вказати номери (позиції), то це виконується у програмі Photoshop.

Написи на ілюстрації можливі двох видів: 1) написи на самій ілюстрації проти відповідних деталей; 2) позначення цифрами або літерами з виносом тексту написів у відповідний текст або під рисунком підпис. У статтях, призначених для кваліфікованого читача, немає потреби зберігати написи на ілюстраціях, тобто другий варіант є прийнятнішим.

Написи набираються шрифтом Times New Roman, кегль 10 пт, накреслення світле, курсивне.

Назви та номери таблиць розміщується над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється. Посилання в тексті на таблиці даються у скороченому вигляді: «табл. 1», – звичайним шрифтом.

У статті тільки в разі нагальної потреби і в обмеженій кількості допускаються таблиці, розгорнуті по вертикалі (альбомна орієнтація).

Таблиці набираються в Microsoft Word.

Однакові за характером таблиці повинні бути оформлені одноманітно по всьому виданню (шрифти, лінійки, заголовки і графі, розбивка між рядками і т.д.).

Таблиця має бути надрукована якомога ближче до першого посилання на неї в тексті.

Якщо таблиця не вміщається на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Продовження табл. 1» або «Закінчення табл. 1»

- **Забороняється** розміщувати окремі об'єкти (ілюстрації, підписуночі підписи, формули) у середині **таблиці!**

5.5. Вимоги до формул:

При використанні формул необхідно дотримуватися певних техніко-орфографічних правил.

Графічні файли з формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями повинні бути розташовані в тексті в рамці MS Word. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримують інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі «Equation Editor» для «Windows». Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські літери – тільки прямим шрифтом.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів треба подавати безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони дані у формулі. Значення кожного символа і числового коефіцієнта треба подавати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають зі слова «де» без двокрапки.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

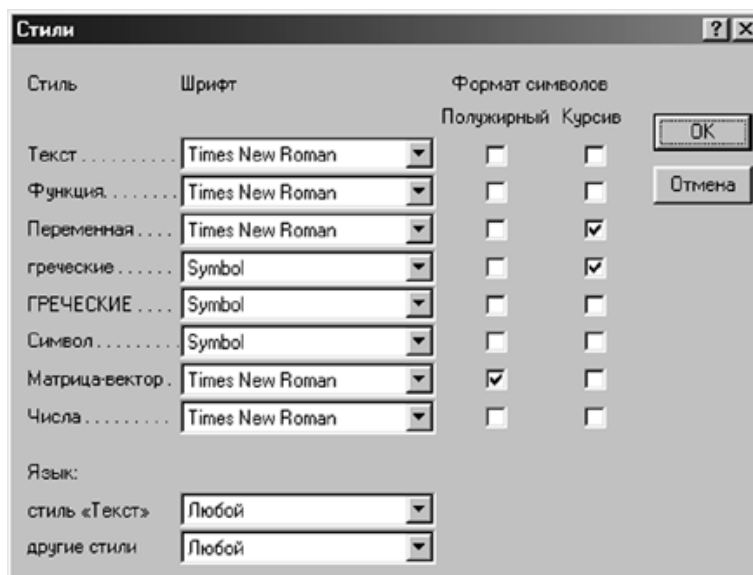
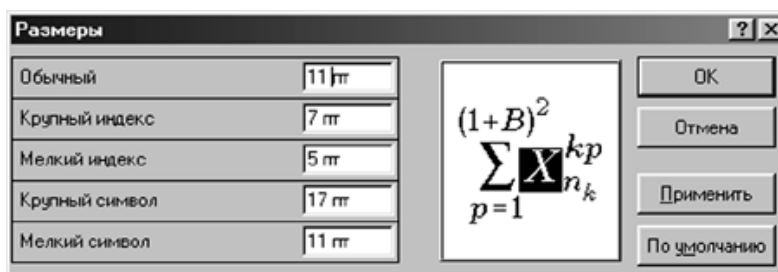
Рівняння і формули треба виділяти з тексту вільними рядками. Вище і нижче кожної формули потрібно залишити не менше одного вільного рядка. Якщо рівняння не вміщується в один рядок, його слід перенести після знака рівності (=) або після знаків плюс (+), мінус (-), множення (·) і ділення (:).

Загальне правило пунктуації в тексті з формулами таке: формула входить до речення як його рівноправний елемент. Тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації.

Двокрапку перед формулою ставлять лише у випадках, передбачених правилами пунктуації: а) у тексті перед формулою є узагальнююче слово; б) цього вимагає побудова тексту, що передує формулі.

Розділовими знаками між формулами, котрі йдуть одна за одною і не відокремлені текстом, можуть бути кома або крапка з комою безпосередньо за формулою до її номера.

Параметри редактора формул:



Для перевірки правильності написання формул просимо надавати публікацію також в **PDF** форматі, тому що різні версії програмного забезпечення текстових редакторів можуть бути несумісні і змінювати зміст статті.

5.6. ЛІТЕРАТУРА (бібліографічний опис джерел, використаних при підготовці статті, мовою оригіналу) та оформлений згідно зі стандартом ДСТУ 8302:2015.

- обсяг – 7-20 джерел (за виключенням оглядових статей);

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- більша частина джерел має відображати сучасний стан наукових досліджень та бути не старша 10 років;

- doi, за наявності, має бути наведено у кінці посилання

- Всі бібліографічні описи джерел подаються мовою оригіналу. При посиланні на використану літературу потрібно зазначити назву використаного видання та (у квадратних дужках звичайним шрифтом) його номер у списку, наприклад: «...і визначаються тарифною схемою Прейскуранта 0–01 [2]».

- самоцитування не має перевищувати 20 % від загальної кількості посилань

- у переліку бажано зазначити сучасну англомовну літературу з ретроспективою не більше 5 років.

- після англомовної анотації подається **REFERENCES** – транслітерований список літератури (латинськими літерами), оформлений згідно стандарту APA (American Psychological Association).

Транслітерований список літератури, відповідно до вимог наукометричних баз SCOPUS та Web of Science, є повним аналогом списку літератури і виконується шляхом транслітерації мови оригіналу латиницею. При цьому порядок і кількість джерел у списку літератури мають залишатися незмінними. Посилання на англомовні джерела не транслітеруються.

Під час складання транслітерованого списку літератури рекомендовано користуватися положеннями Постанови КМ України від 27 січня 2010 року № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» затверджує офіційну транслітерацію українського алфавіту латиницею та встановлює діючі правила транслітерації прізвищ та імен громадян України латиницею в закордонних паспортах. Он-лайн транслітератор (<http://translit.kh.ua/?passport>).

REQUIREMENTS FOR DRAWING-UP OF ARTICLES

1. The Editorial Board of SE «UkrNDIV» on an ongoing basis accepts scientific and scientific and technical articles to be published in the Collection of scientific works «Railbound Rolling Stock», which is published twice a year (June, December of the current year), with the following deadlines for submitting articles to the Editorial Board :

- until May 15 (the publication deadline is June);
 - until November 15 (the publication deadline is December).
- Publication languages are Ukrainian, English, German.

2. Criteria for the selection of articles by the Editorial Board

Only scientific articles that correspond to the topic areas of the journal and have the following necessary elements are accepted for publication:

- statement of the problem in a general form and its connection with important scientific or practical tasks;
- analysis of the latest research and publications in which the solution to this problem was initiated and on which the author relies,
- selection of previously unresolved parts of the general problem, to which the specified article is devoted; formulation of the objects of the article (statement of the task);
- presentation of the main material of the research with a full justification of the obtained scientific results;
- conclusions from this study and prospects for further exploration in this direction.

In order to comply with the above requirements, the following elements of the article should be highlighted in bold: Introduction, Problem statement, Analysis of recent research and publications, Purpose of the article, Research methods, Conclusions.

- the scientific style of presenting the material of the article is observed
- each borrowing in the text is referenced and the sources are set in the bibliographic list.
- the length of the article is not less than 8 pages, and not more than 25 pages.

3. The following items should be submitted to the Editorial Board:

1. electronic version of the article in DOC format,
2. a review of the article (if necessary);
3. expert opinion on the possibility of publishing materials (if necessary);
4. extract from the minutes of the meeting of the department or laboratory or scientific unit recommending the article for publication (if necessary);
5. certificate about the authors (serial number (upper index – Arabic numeral and additionally an asterisk for the corresponding author), place of work, scientific degree, academic title, full postal address (street, building, name of the settlement, country, index), phone numbers, e-mail and ORCID: in two languages - Ukrainian and English. The collection and processing of personal data is carried out in accordance with the requirements of the Law of Ukraine «On the Protection of Personal Data».
6. a structured abstract in Ukrainian and English (purpose, methodology, results, scientific novelty, practical significance) in one paragraph, from 250 to 300 words with width alignment. The abstract must necessarily contain keywords (5-10 words).
7. license agreement for the use of the work (subject to acceptance of the article for publication).

8. an article prepared according to the requirements and endorsed by the author's handwritten signature, provided that the article is accepted for publication. The author is responsible for the materials presented in the article.

4 Requirements for the manuscript:

- The material should be presented concisely, consistently, stylistically competently. Repetitions and redundant details are not allowed when retelling previously published information. References to literary sources are provided instead.

- Text materials are prepared and printed on sheets of white single-grade paper using MS Word for Windows computer text editors, built-in equation editors are used to set formulas, tabular materials can be prepared using electronic spreadsheets (MS Excel). Times New Roman font should be used.

- Citations, tables, statistical data, digital indicators, which increase the level of analytical materials, are provided with references to sources. The author is responsible for the given indicators. Terms and designations must comply with applicable standards. Units of measurement should be provided only according to the international SI system of units or in units approved for use in Ukraine in accordance with the requirements of current state standards.

- The last page of the article should be filled with text information at least 50 percent.

- For authors who are not citizens of Ukraine, the translation of the title of the article, information about the author, abstract and keywords into Ukrainian is not mandatory.

5. Requirements for formatting of articles

5.1. The parameters of the page are set as follows:

- page size is 210x297 (A4)
- book orientation
- top and side margins – 35 mm;
- lower margin – 45 mm;
- indentation from the upper footer – 12 mm;
- indentation from the footer – 20 mm.

Headers and footers, as well as page numbers, should not be entered.

5.2. Materials are typed in the following fonts:

- **UDC** – 11 points, italics, text alignment on the left edge;
- **authors** – 12 points, semi-bold italic text alignment on the left edge;
- **TITLE OF THE ARTICLE** – all capital letters, 12 points, bold text alignment in the center;
- **abstract** – 11 points, bold italic text alignment;
- **Keywords** (5–12 individual words and/or as part of several word combinations) – with width alignment
- **body text** – 11 points, normal alignment of the text in width;
- **words Figure, Table, Diagram, Scheme and their numbers** - 11 points, italics;

Fig. 1. Appearance

Table 1. – Specific characteristics

- **names of figures, tables, diagrams, schemes** - 11 points, bold, text alignment in the center;

- © *Dyomina A. K., 2018* – 12 points, semi-bold italic text alignment on the left edge;
- **headings in the subsection** – 11 points, bold, aligning the text on the left edge.
- **REFERENCES** – 11 points, bold, text aligned in the center;
- **a block in English and Latin** – the format meets the requirements for the design of the article: a complete list of (co)authors; information about (co)authors; title of the article; Abstract; Keywords. It is located across the page after REFERENCES.
- REFERENCES – 9 points in normal font, aligning the text by width;

5.3. Spaces in text are as follows:

- UDC – authors – 2;
- authors – title of the article – 3;
- title of the article – abstract – 2;
- abstract – main text – 1;
- main text – name of the table (top edge of figure, scheme, diagram) – 2;
- the name of the table – its upper edge (the lower edge of the figure, diagram, scheme – their names) – 1;
- the lower edge of the table (name of figure, diagram, scheme) – main text – 2;
- main text – copyright sign – 1;
- main text – REFERENCES – 1;
- REFERENCES - list of references - 1.
- Text, formulas, tables, figures, diagrams, schemes are placed on the page in one column. The indentation of the first line of the paragraph is 5 mm, the spacing between lines is single.
- Each subsequent address and correspondence data starts on a new line. (TNR 9, normal drawing, interval before the block - 0 pt, after - 12 pt).
- Not recommended:
 - to compact or thin the intervals between letters;
 - set off paragraphs with tabs or multiple spaces;
 - a non-breaking space is placed between the initials and the last name (Ctrl+Shift+space).

5.4. Requirements for tables, diagrams, illustrative material:

All figures, tables, diagrams must have names and numbers (in the case when the same material contains two or more named elements):

If a transcript is given after the thematic title of the signature, then a colon shall be placed between them and the transcript placed next is typed in 9 pt font, for example:

Fig. 15. Disc brake:

1 – brake disc; 2 – pincer mechanism

Only graphic elements made in graphic editors with high quality details should be used.

Illustrations are also provided as separate JPEG, TIFF (for bitmaps) or PSD (for bitmaps made in Photoshop), CDR (for vector files made in CorelDRAW) formats. Photos should be clear and contrast. If you need to specify numbers (positions) on photos, then this is done in Photoshop.

There are two types of inscriptions on the illustration: 1) inscriptions on the illustration itself against the corresponding details; 2) marking with numbers or letters

with the text of the inscriptions inserted into the appropriate text or a signature under the drawing. In articles intended for a qualified reader, there is no need to save captions on illustrations, that is, the second option is more acceptable.

Inscriptions are typed in Times New Roman font, 10 pt point, light, italic.

Names and numbers of tables are placed above the tables, and figures, diagrams, schemes - below them. It is forbidden to separate the names from the specified elements. References in the text to tables are given in abbreviated form: «table. 1», in normal font.

In the article, only in case of urgent need and in a limited number, tables deployed vertically (landscape orientation) are allowed.

Tables are typed in Microsoft Word.

Tables of the same nature must be designed uniformly throughout the publication (fonts, rulers, headings and columns, breakdown between lines, etc.).

The table should be printed as close as possible to the first reference to it in the text.

If the table does not fit on one page, all its columns should be numbered, and above the transferred part of the table on the right «Continuation of the Table 1» or «End of Table. 1» should be written:

- It is forbidden to place separate objects (illustrations, captions, formulas) in the middle of the table!

5. 5. Requirements for formulas:

- Certain technical and spelling rules must be followed when using formulas.

- Graphical files with formulas, graphs, figures, diagrams and photographs must be located in the text in the MS Word frame. The number of the formula is placed on the right at the end of the line, in round brackets, without entering the field. Formulas are located in the center of the page. Between them and the text there is an interval of one line.

- They are entered in the graphic editor «Equation Editor» for «Windows». Latin letters and designations of values (symbols) are typed in italics, Ukrainian and Russian letters - only in straight font.

- Explanations of the values of symbols and numerical coefficients should be given directly below the formula in the sequence in which they are given in the formula. The value of each symbol and numerical coefficient must be entered on a new line. The first line of the explanation begins with the word «de» without a colon. • Equations and formulas should be separated from the text by free lines. Above and below each formula, you must leave at least one free line. If the equation does not fit on one line, it should be moved after the equal sign (=) or after the plus (+), minus (-), multiplication (•), and division (:) signs.

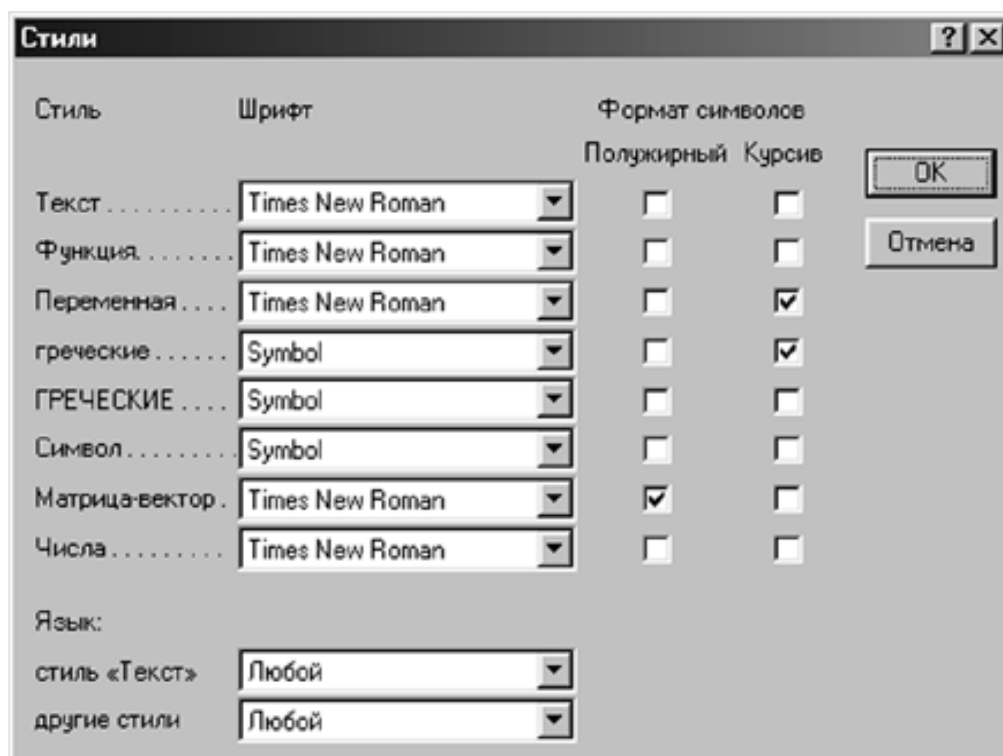
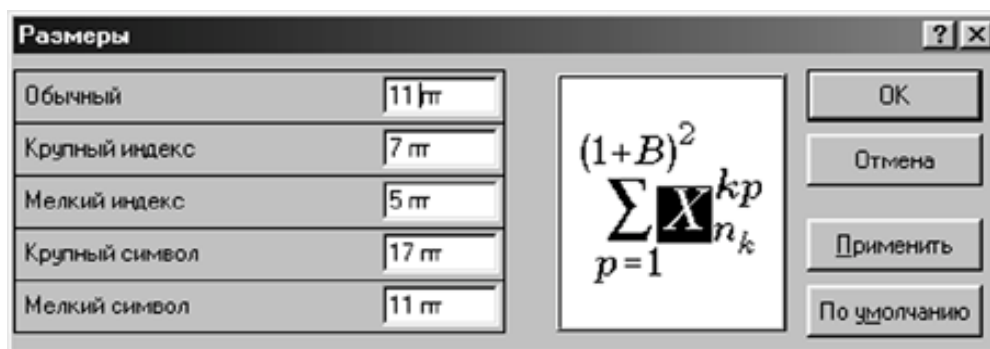
- The general rule of punctuation in a text with formulas is as follows: the formula enters the sentence as its equal element. Therefore, punctuation marks are placed at the end of formulas and in the text before them in accordance with the rules of punctuation.

- A colon is placed before the formula only in the cases stipulated by the rules of punctuation: a) there is a generalizing word in the text before the formula; b) this is required by the construction of the text preceding the formula.

- Delimiters between formulas that follow one another and are not separated by text can be a comma or a semicolon directly after the formula to its number.

- Parameters of the formula editor:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



To check the correctness of writing the formulas, please provide the publication also in PDF format, because different versions of text editor software may be incompatible and change the content of the article.

5.6. REFERENCES (bibliographic description of the sources used in the preparation of the article, in the original language) and issued in accordance with the DSTU 8302:2015 standard.

- volume – 7-20 sources (excluding review articles);
- most of the sources should reflect the current state of scientific research and be no older than 10 years;
- doi, if available, should be given at the end of the reference

All bibliographic descriptions of sources are provided in the original language. When referring to the used literature, the name of the used edition and (in square brackets in

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

normal font) its number in the list should be indicated, for example: «...and are determined by the tariff scheme of the Price List 0-01 [2]».

- self-citation should not exceed 20% of the total number of references

- in the list, it is desirable to indicate modern English-language literature with a retrospective of no more than 5 years.

- after the English-language annotation, References is submitted - a transliterated list of references (in Latin letters), designed according to the ARA (American Psychological Association) standard.

The transliterated bibliography, in accordance with the requirements of the SCOPUS and Web of Science scientometric databases, is a complete analogue of the bibliography and is performed by transliterating the original language in Latin. At the same time, the order and number of sources in the bibliography should remain unchanged. Links to English-language sources are not transliterated. When compiling the transliterated list of literature, it is recommended to use the provisions of Resolution No. 55 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 27, 2010 «On regulating the transliteration of the Ukrainian alphabet into Latin» which approves the official transliteration of the Ukrainian alphabet into Latin and establishes the current rules for transliterating surnames and names of citizens of Ukraine into Latin in foreign passports. Online transliterator (<http://translit.kh.ua/?passport>).