

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.015

Є. В. ГОРОБЕЦЬ^{1*}

^{1*}ТОВ НВП «Укртранскад», бульв. Зоряний, буд. 1, корп. 1, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 787 03 38, ел. пошта gorobets.eugene@gmail.com, ORCID 0000-0001-8017-1595

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗНОСУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ПІД ВПЛИВОМ КОРОЗІЇ МАТЕРІАЛУ

Мета. Дослідження спрямовано на отримання нових знань про вплив навколишнього середовища на несучі конструкції тягового рухомого складу залізниць за параметром корозійного зносу, характер динаміки цього впливу, а також оцінку технічного стану вітчизняного тягового рухомого складу промислових залізниць. **Методика.** Для отримання релевантних даних автор провів агрегацію та аналіз результатів ультразвукової товщинометрії основних несучих конструкцій локомотивів, виявлених протягом восьми років під час виконання робіт із подовження строку служби локомотивів промислового транспорту. Несучі конструкції серій локомотивів, які взято для цього дослідження, мають загальний діапазон строків експлуатації 25–48 років, а самі одиниці територіально перебувають у різних областях України. **Результати.** Автор виявив, що серед дослідженого парку тепловозів промислового транспорту рівень рівномірної корозії має лінійну залежність від строку його експлуатації з достатньо низьким кутовим коефіцієнтом. Таким чином, відповідно до визначень нормативної документації, що була актуальною на момент виробництва одиниць рухомого складу, які є об'єктами цього дослідження, матеріал несучих конструкцій (окрім одного граничного випадку) належить до стійкої групи корозійної стійкості металу. **Наукова новизна.** Через незалежність промислового рухомого складу від державних залізничних підприємств та виконання робіт із технічного обслуговування різними організаціями інформація про його загальний стан не є легкодоступною. Автор уперше зібрав статистичні дані щодо стану несучих конструкцій промислового рухомого складу та провів їх аналіз. **Практична значимість.** Отримані результати ілюструють динаміку розвитку рівномірної корозії конструкцій тягового рухомого складу промислового залізничного транспорту. Ця інформація, у свою чергу, дає підґрунтя для подальшого вдосконалення методики обстеження одиниць рухомого складу як у ході планових робіт, так і з метою подовження строку служби.

Ключові слова: залізничний транспорт; промисловий транспорт; тяговий рухомий склад (ТРС); корозія; витривалість

Вступ

Головною вимогою до будь-яких механізмів або систем є безпечність їх функціонування. Для рухомого складу (РС) залізничного транспорту рівень безпеки закладають на стадіях проектування та модернізації його окремої моделі та підтримують заходами технічного обслуговування тих одиниць, які функціонують.

В Україні на цей час склалися умови, що призводять до послаблення контролю за станом

РС. Робота на лініях неврахованої кількості одиниць РС приватної власності, а також відсутність наукової підтримки під час проведення робіт із ремонту та відновлення транспортних одиниць викликають нерозуміння динаміки зносу парку РС. Відсутність такої інформації унеможливорює розробку, розвиток та впровадження довгострокових заходів щодо технічної підтримки РС, що призведе до додаткових матеріальних затрат.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Одним з основних факторів погіршення технічного стану РС є корозія матеріалу несучих конструкцій. На залізниці корозія безпосередньо впливає на економічні витрати через необхідність проведення ремонтних робіт. Проте її опосередкований вплив може бути значнішим: матеріальні та людські втрати від аварійних ситуацій, економічні втрати у зв'язку з негативними змінами в логістичних процесах. Таким чином, попередження наслідків корозії порівняно з їх усуненням є пріоритетним рішенням проблеми. Цій темі присвячені дослідження як у сфері залізничної [2, 4, 6] і нафтогазової галузі [3], так і загальні теоретичні дослідження [1, 7, 10] та систематизовані теоретичні посібники [8, 9].

Мета

Основною метою цього дослідження є встановлення чисельних показників динаміки зносу одиниць рухомого складу залізниць за критерієм корозійного ураження та обґрунтування зменшення обсягів робіт під час їх обстеження. Також отримані дані дають змогу перевірити положення про лінійний знос металевих конструкцій. Оскільки об'єкти досліджень перебувають у різних агресивних умовах навколишнього середовища (умови гірничозбагачувальних комбінатів, заводів металевих виробів, виробництв харчових продуктів, портів тощо), у даних будуть з'являтися викиди, що повинні групуватись за одиницями локомотивів, а локомотиви, у свою чергу, групуються за умовами навколишнього середовища (тобто за типом діяльності виробництва, на базі якого працюють ці одиниці РС).

Методика

Статистичні дані для аналізу було отримано в ході виконання робіт з обстеження технічного стану несучих конструкцій (НК) локомотивів промислового транспорту силами Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) [10]. Після сортування даних за моделями для дослідження було обрано серії локомотивів ТЕМ2 та ТГМ4 разом із модифікацією ТГМ4А (далі ТГМ4, якщо не зазначено конкретно, якої саме модифікації стосується інформа-

ція), як найбільш доступні вибірки за об'ємом – 27 та 37 одиниць відповідно. Таким чином, об'єм вибірок візків тепловозів ТЕМ2 складає 54, а тепловозів ТГМ4 – 74 одиниці.

Розміри товщин рам кузовів та рам візків локомотивів було отримано згідно з розробленими в ДНУЗТ методиками обстеження. Значення товщини балок в окремому перерізі було заміряно не менш як три рази, а фактичний розмір товщини, згідно з методикою, за відсутності різких коливань показника, обрано як середній з усіх отриманих значень.

Рис. 1 ілюструє розташування точок на перерізах несучих конструкцій тепловоз ТЕМ2.

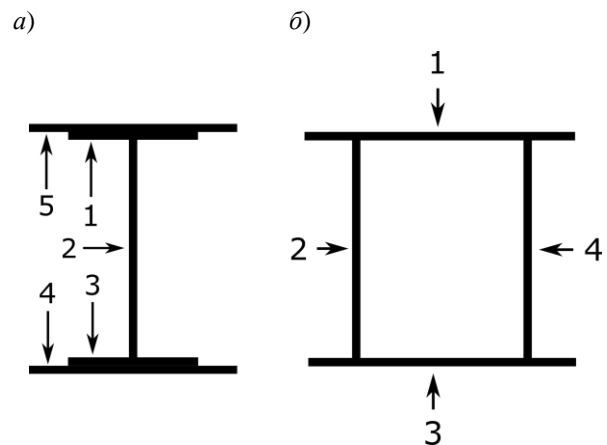


Рис. 1. Переріз НК тепловоза ТЕМ2:
а – кузов; б – візок

Fig. 1. Section of supporting structure of TEM2 locomotive:
а – body; б – bogie

На цільовому перерізі поздовжньої балки кузова тепловоза ТЕМ2 (рис. 1, а) у точці 1 товщиноміром заміряють товщину металу стінки, у точках 4 та 5 – товщину металу бронеліста. У точках 1 та 3 вимірюють товщину металу полицок. Оскільки разом із бронелістом двотавр не складає суцільну структуру, ультразвукова хвиля відбивається від суміжних із бронелістами граней полицок балки. Таким чином, товщини в точках 1 та 3 ніяк не пов'язані з товщинами в точках 4 та 5. На перерізі візка (рис. 1, б) заміряють товщини металу стінок (т. 1, 3) і полицок (т. 2 та 4).

Перерізи несучих конструкцій візка та кузова тепловоза ТГМ4 з позначеннями точок обстеження наведені на рис. 2.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

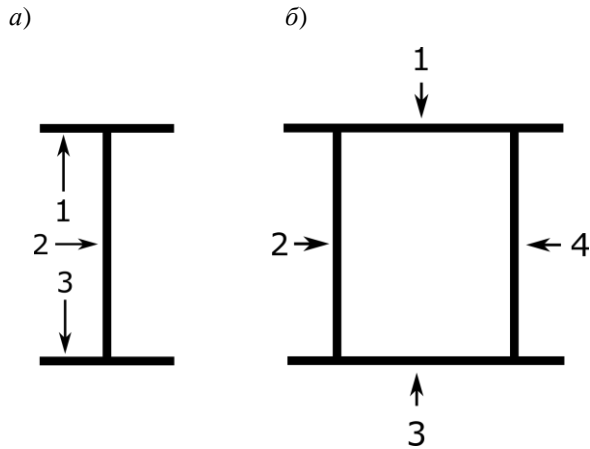


Рис. 2. Переріз НК тепловоза ТГМ4:
а – кузов; б – візок

Fig. 2. Section of supporting structure of TGM4 locomotive:
a – body; b – bogie

Тепловоз ТГМ4 відрізняється від тепловоза ТЕМ2 відсутністю бронелистів на рамі кузова, тому кількість точок вимірювань на цьому перерізі складає не п'ять, а три.

Наочним відображенням результатів дослідження є розташування отриманих даних на точкових діаграмах залежності товщини балок несучих конструкцій тягового рухомого складу (ТРС) промислових залізниць від часу. Для обробки отримані дані було розділено за моделями ТРС, а також за видом несучої конструкції (кузов або візки), у яких було проведено заміри. За нульову точку відліку товщин НК узято проектні значення.

Після побудування точкової діаграми проведено побудову лінії тренду, яка відображає тенденцію зміни цільових показників.

Результати

Аналіз даних показав, що середнє зменшення товщини НК обраних локомотивів унаслідок рівномірної корозії варіюється в межах 0,03–0,1 мм/рік.

У кожному перерізі окремого виду НК моделей ТРС хмари точок мають приблизно однакову форму й відрізняються тільки положенням цієї хмари на осі ординат. Тому через значний обсяг джерел даних ілюструвати будемо тільки

дані перших точок кожного виду НК, які відображають типову динаміку корозії в перерізі.

Також у перерізах кузовів тепловозів ТЕМ2 було виявлено одиничні викиди, які наочно значно відрізнялися від відповідних основних груп отриманих значень, а також групи викидів та незвичні стрибки значень у кузовах тепловозів ТГМ4. Аналіз за критерієм Граббса показав, що вилучені значення в даних кузовів тепловозів ТЕМ2 були викидами навіть за рівня довіри $\alpha = 0,005$, хоча для проведення перевірки отриманих даних на викид рівень довіри було взято на рівні $\alpha = 0,05$. У випадку тепловозів ТГМ4 після усунення аномалій в отриманих даних було проведено повторний аналіз даних та вилучення викидів на попередньо визначених умовах.

Початкові дані щодо зношування верхньої полицки рами кузова тепловоза ТЕМ2 (точка 1 на рис. 1, а) наведено на рис. 3. Горизонтальна вісь – час у роках, а вертикальна вісь – товщина несучої конструкції, що виражена у міліметрах.

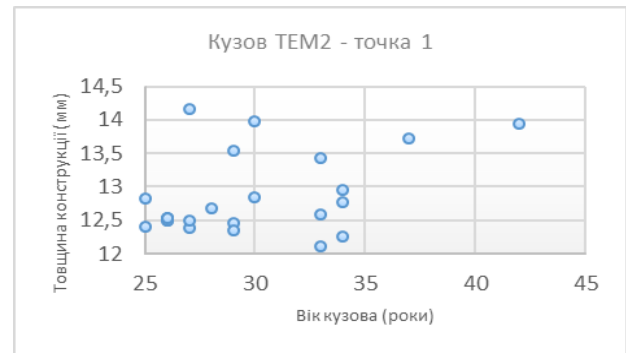


Рис. 3. Початкові дані товщин верхніх полицок рами кузова тепловоза ТЕМ2

Fig. 3. Initial thicknesses data of the top shelves of the body frame of TEM2 locomotive

Звертаємо увагу, що для збільшення корисної площини діаграми з метою поліпшення сприйняття даних переріз осей координат у діаграмах початкових даних не збігається з початком координат, а також розмірність.

На рис. 4 побудовано тренд розвитку корозії в цій точці.

За формою хмари значень та залежністю товщини металу від віку НК описують формулами лінійного тренду, що зазначені в табл. 1.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

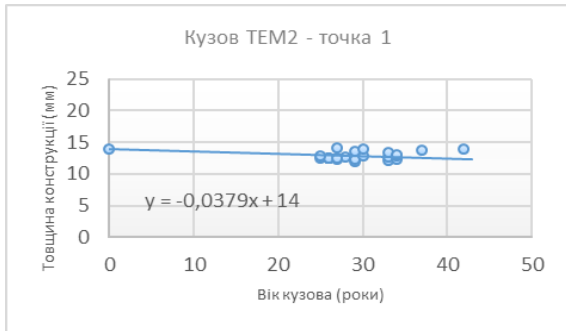


Рис.4. Тренд розвитку корозії точки 1 на рамі кузова тепловоза TEM2

Fig.4. Corrosion trend of the point 1 on the body frame of TEM2 locomotive

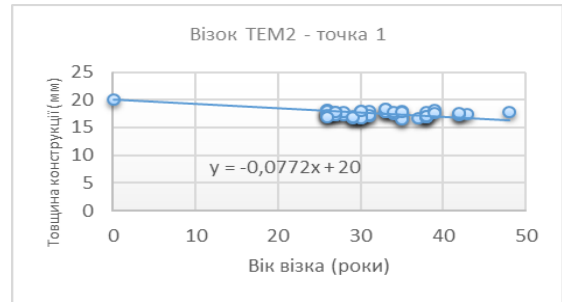


Рис. 6. Тренд розвитку корозії точки 1 на рамі візка тепловоза TEM2

Fig. 6. Trend of corrosion point 1 on the bogie frame of TEM2 locomotive

Формули трендів корозії візків тепловоза TEM2 наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Тренди корозії рами кузова тепловоза TEM2

Table 1

Corrosion trends of the body frame of TEM2 locomotive

Точка	Формула тренду
1	$y = 14 - 0,0379 \cdot x$
2	$y = 10 - 0,0481 \cdot x$
3	$y = 14 - 0,0344 \cdot x$
4	$y = 24 - 0,0823 \cdot x$
5	$y = 24 - 0,0818 \cdot x$

На рис. 5 та 6 відображено дані з верхньої полицки візка тепловоза TEM2 та отриманий тренд розвитку корозії відповідно.

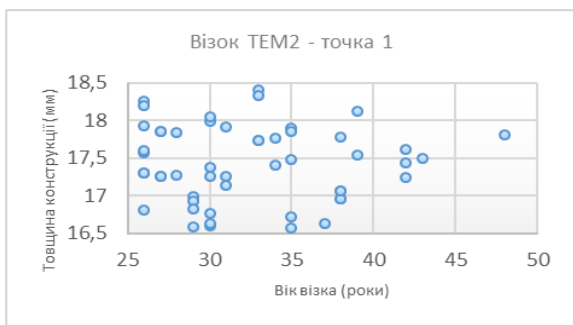


Рис. 5. Початкові дані з верхньої полицки рами візка тепловоза TEM2

Fig. 5. Initial data from the upper shelf of the bogie frame of TEM2 locomotive

Таблиця 2

Тренди корозії візків тепловоза TEM2

Table 2

Corrosion trends of TEM2 locomotive bogies

Точка	Формула тренду
1	$y = 20 - 0,0772 \cdot x$
2	$y = 16 - 0,0657 \cdot x$
3	$y = 32 - 0,0778 \cdot x$
4	$y = 16 - 0,0650 \cdot x$

Дані, отримані з моделі ТГМ4 та модифікацій ТГМ4А та ТГМ4Б, відрізняються розкидом значень та формою хмар точок. Товщини кузова виділяються різким стрибком значень на межі 25–26 років (рис. 7).

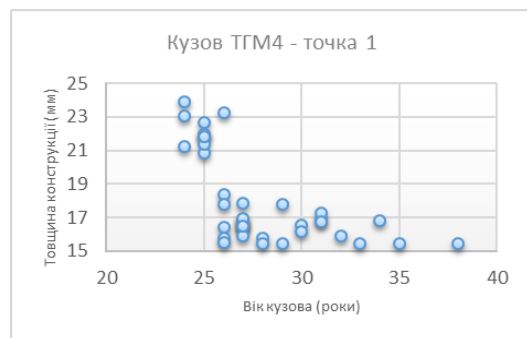


Рис. 7. Початкові дані щодо верхньої полицки рами кузова тепловоза ТГМ4

Fig. 7. Initial data on the upper shelf of the body frame of TGM4 locomotive

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Неприродний стрибок отриманих значень на межі 25–26 років пояснюється використанням іншого профілю в певній групі локомотивів. Усі одинадцять локомотивів, які потрапили в діапазон значень 20–24 мм, належать до модифікації ТГМ4Б. Оскільки ця модифікація представляє вузьку групу локомотивів віком 24–25 років, відповідні дані було вилучено та в обробці не задіяно. Побудований тренд наведено на рис. 8.



Рис. 8. Тренд розвитку корозії точки 1 на рамі кузова тепловоза ТГМ4

Fig. 8. Corrosion development trend of the point 1 on the body frame of TGM4 locomotive

Формули трендів усіх точок перерізів рам кузовів тепловозів ТГМ4 наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Тренди корозії рами кузова тепловозів ТГМ4

Table 3

Corrosion trends of body frame of TGM4 locomotives

Точка	Формула тренду
1	$y = 18 - 0,0554 \cdot x$
2	$y = 14 - 0,0687 \cdot x$
3	$y = 18 - 0,0532 \cdot x$

Початкові дані товщин верхньої полицки рам візків тепловозів ТГМ4 подано на рис. 9.

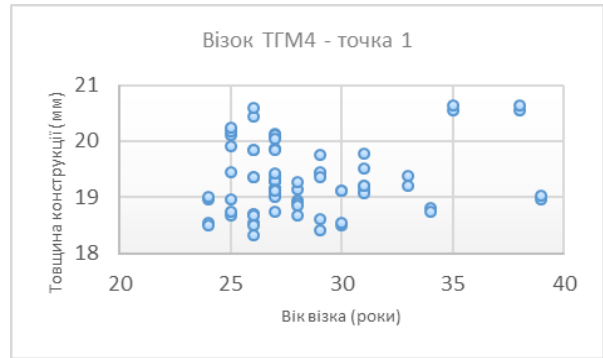


Рис. 9. Дані точки 1 на рамі візка тепловоза ТГМ4

Fig. 9. Data of the point 1 on the bogie frame of TGM4 locomotive

Тренд наведений на рис. 10.

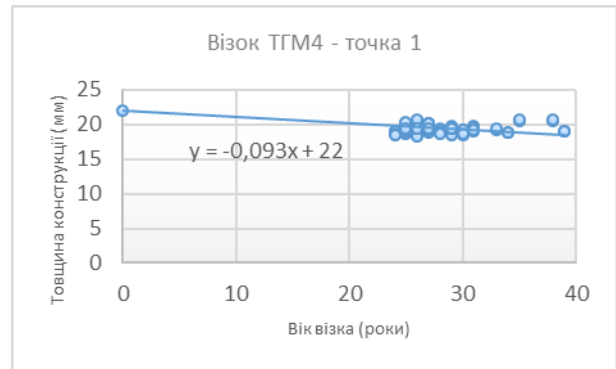


Рис. 10. Тренд даних точки 1 на рамі візка тепловоза ТГМ4

Fig. 10. Data trend of the point 1 on the bogie frame of TGM4 locomotive

Формули трендів корозії металу рами візка подано в табл. 4.

Таблиця 4

Тренди корозії візків тепловозів ТГМ4

Table 4

Corrosion trends of TGM4 locomotives

Точка	Формула тренду
1	$y = 22 - 0,0920 \cdot x$
2	$y = 18 - 0,0858 \cdot x$
3	$y = 32 - 0,1037 \cdot x$
4	$y = 18 - 0,0857 \cdot x$

З отриманих формул трендів видно, що в рамах кузовів стінки двотавра більш схильні до корозії, ніж полицки. Верхні та нижні поли-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

чки мають майже ідентичну швидкість корозії, проте значення від'ємного коефіцієнта для верхніх полицок в обох моделях тепловозів трохи більше, ніж для нижніх. У разі наявності бронелистів у конструкції рам кузовів вони також є осередком підвищеної корозії.

Для балок візків коробчастого типу обох моделей тепловозів характерна перевага швидкості розвитку корозії металу полицок над швидкістю розвитку корозії металу стінок. При цьому нижні полицки втрачають товщину металу швидше, ніж верхні.

Наукова новизна та практична значимість

Проведено аналіз фактичного стану обстеженого парку ТРС промислового транспорту за показником корозії матеріалу та виявлено динаміку розвитку корозійних процесів у несучих конструкціях. З'ясовано, що кліматичні та різні виробничі умови не впливають значним чином на процес зношування конструкцій. Підтверджено, що тренд процесу зменшення товщини несучих конструкцій має лінійну форму. Також встановлено, що у візках тепловозів найбільш схильними до впливу корозії елементами є полицки рам. У рамах кузовів незалежно від конструкції загальною рисою корозії є переважання швидкості зменшення товщини стінок над швидкістю зменшення товщини полицок. Проте в конструкції рам кузовів із бронелистами верхні та нижні бронелисти за швидкістю зменшення товщини будуть значно випереджати інші точки рами.

Висновки

Зведення даних з обстеження парку локомотивів промислового транспорту дають підстави для таких висновків:

- рівень рівномірної корозії основних несучих конструкцій тепловозів промислового транспорту має слабку залежність від строку їх експлуатації, тобто матеріал конструкцій є достатньо стійким до корозії;

- середнє зменшення товщини НК локомотивів унаслідок рівномірної корозії варіюється в межах 0,03–0,1 мм/рік;

- на підставі рівня рівномірної корозії нижніх полицок можна прогнозувати стан корозії інших елементів екіпажної частини ТРС;

- зменшити обсяг вимірювань товщини НК можна таким чином:

- 1) перевірити рівень рівномірної корозії нижніх полицок рам візків;

- 2) у випадку їх незначної (до 10 % номінальної товщини) корозії провести вибірковий контроль інших точок за протоколами візуального огляду локомотива, але в разі виявлення хоча б однієї точки з великим рівнем (>30 % номінальної товщини) корозії провести перевірку рівнів корозії у всіх рекомендованих протоколами обстеження технічного стану точках;

- 3) у випадку суттєвої корозії (>30 % номінальної товщини) провести перевірку рівнів корозії у всіх рекомендованих протоколами обстеження технічного стану точках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Медведев И. М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии. *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 2. С. 76–87. DOI: <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87>
2. Кочергин В. В., Буханцев А. А., Панкратова И. Г., Русанов О. А. Опыт обеспечения прочности несущих конструкций локомотивов и моторвагонного подвижного состава. *Вестник ВНИИЖТ*. 2019. Т. 78, № 2. С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-67-73>
3. Кузьмин Д. А., Андреевкова А. В. Исследование закономерностей напряженно-деформированного состояния при локальном утонении в прямолинейных участках трубопроводов. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2019. Т. 15, № 5. С. 384–391. DOI: <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-5-384-391>
4. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Павленко Ю. С., Сергієнко М. О. Аналіз технічного стану кузовів пасажирських вагонів. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2018. № 45 (1321). С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.06>

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

5. *Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава*. Киев : Гос. администрация ж. д. транспорта Украины, ДИИТ, 1998. 51 с.
6. Мямлін С. В., Рейдемейстер О. Г., Пуларія А. Л., Калашник В. О. Обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів із осередками корозії хребтової балки. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. № 5 (59). С. 132–140. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55337>
7. Філатов Г. В. *Математичне моделювання процесів корозійного руйнування під напруженням* : навч. посібник. Дніпропетровськ : УДХТУ, 2002. 208 с.
8. Markus P. *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*. CRC Press, 2011. 941 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b11020>
9. Revie R. *Uhlig's Corrosion Handbook, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2011. 1253 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470872864>
10. Zhang F., Ju P., Pan M., Zhang D., Huang Y., Li G., Li X. Self-healing mechanisms in smart protective coatings : A review. *Corrosion Science*. 2018. Vol. 144. P. 74–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.005>

Е. В. ГОРОБЕЦ^{1*}

^{1*}ООО НПП «Укртранскад», бульв. Звездный, д. 1, корп. 1, Днипро, Украина, 49000, тел. +38 (056) 787 03 38, эл. почта gorobets.eugene@gmail.com, ORCID 0000-0001-8017-1595

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИЗНОСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПОД ВЛИЯНИЕМ КОРРОЗИИ МАТЕРИАЛА

Цель. Исследование направлено на получение новых знаний о влиянии окружающей среды на несущие конструкции тягового подвижного состава железных дорог по параметру коррозионного износа, характер динамики этого влияния, а также оценку технического состояния отечественного тягового подвижного состава промышленных железных дорог. **Методика.** Для получения релевантных данных автор провел агрегацию и анализ результатов ультразвуковой толщинометрии основных несущих конструкций локомотивов, выявленных в течении восьми лет во время выполнения работ по продлению срока службы локомотивов промышленного транспорта. Несущие конструкции серий локомотивов, представленных в данном исследовании, имеют общий диапазон сроков эксплуатации 25–48 лет, а сами единицы территориально находятся в разных областях Украины. **Результаты.** Автор обнаружил, что среди обследованного парка тепловозов промышленного транспорта уровень равномерной коррозии имеет линейную зависимость от срока его эксплуатации с достаточно низким угловым коэффициентом. Таким образом, согласно определениям нормативной документации, которая была актуальна на момент производства единиц подвижного состава, являющихся объектами данного исследования, материал несущих конструкций (кроме одного граничного случая) относится к стойкой группе коррозионной стойкости металла. **Научная новизна.** Из-за независимости промышленного подвижного состава от государственных железнодорожных предприятий и выполнения работ по техническому обслуживанию разными организациями информация о его общем состоянии не является легкодоступной. Автор впервые собрал статистические данные касательно состояния несущих конструкций промышленного подвижного состава и провел их анализ. **Практическая значимость.** Полученные результаты иллюстрируют динамику развития равномерной коррозии конструкций тягового подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта. Эта информация, в свою очередь, дает основания для последующего усовершенствования методики обследования единиц подвижного состава как в ходе плановых работ, так и с целью продления срока службы.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; промышленный транспорт; тяговый подвижной состав (ТПС); коррозия; выносливость

Y. V. HOROBETS^{1*}^{1*}LLC Scientific and Production Enterprise «Ukrtransakad», Zoriany Boulevard, bld. 1, block 1, Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 787 03 38, e-mail gorobets.eugene@gmail.com, ORCID 0000-0001-8017-1595

WEAR DYNAMICS ANALYSIS OF THE SUPPORTING STRUCTURES OF SHUNTING LOCOMOTIVES OF INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT UNDER THE INFLUENCE OF MATERIAL CORROSION

Purpose. The research is aimed at obtaining new knowledge about the environmental influence on the supporting structures of the traction rolling stock of railways according to the corrosive wear parameter, the nature of the dynamics of this influence, as well as the evaluation of technical condition of the domestic traction rolling stock of industrial railways. **Methodology.** To obtain the relevant data, the author conducted aggregation and analysis of the results of ultrasonic thickness measurement of the main supporting structures of locomotives, obtained during eight years of the work to extend the service life of industrial transport locomotives. The supporting structures of series of locomotives presented in this study have a total range of service life of 25-48 years. They are located in different regions of Ukraine. **Findings.** The author found that among the surveyed fleet of diesel locomotives of industrial transport, the uniform corrosion level of supporting structures has a linear dependence on their service life with a rather low slope. Thus, according to the definitions of the normative documentation, which was relevant at the time of production of the rolling stock units that are the objects of this study, the material of the supporting structures (except for one particular case) belongs to the resistant group of metal corrosion resistance. **Originality.** Due to reasons such as the independence of industrial rolling stock from state-owned railway enterprises and the performance of maintenance work by various organizations, information on the general condition of the rolling stock of industrial transport is not readily available. The author for the first time collected statistical data on the state of industrial rolling stock and analyzed them. **Practical value.** The obtained results illustrate the development dynamics of equal corrosion of traction industrial transport structures, which, in turn, gives grounds for the subsequent improvement of the methodology of examining rolling stock units both during scheduled work and in order to extend the service life.

Keywords: railway transport; industrial transport; traction rolling stock; corrosion; endurance

REFERENCES

1. Kablov, E. N., Startsev, O. V., & Medvedev, I. M. (2015). Review of international experience on corrosion and corrosion protection. *Aviation Materials and Technologies*, 2, 76-87. DOI: <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87> (in Russian)
2. Kochergin, V. V., Bukhantsev, A. A., Pankratova, I. G., & Rusanov, O. A. (2019). Experience in ensuring the strength of the supporting structures of locomotives and electric multiple units. *VNIIZHT Scientific Journal*, 78(2), 67-73. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-67-73> (in Russian)
3. Kuzmin, D. A., & Andreenkova, A. V. (2019). The research of the stress-strain state with local thinning in pipelines and determination of allowable values of concentration stress and strain. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15(5), 384-391. DOI: <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-5-384-391> (in Russian)
4. Martynov, I., Trufanova, A., Pavlenko, Y., & Serhiienko, M. (2018). Analysis of the technical condition of passenger wagons. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: New Solutions in Modern Technologies*, 45(1321), 41-46. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.06> (in Ukrainian)
5. *Metodika otsenki ostatochnogo resursa nesushchikh konstruktivnykh tyagovogo podvizhnogo sostava*. Kiev: Gosudarstvennaya administratsiya zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy, DIIT. (in Russian)
6. Myamlin, S. V., Reidemeister, O. H., Pulariia, A. L., & Kalashnyk, V. O. (2015). The rationale for extending the services of passenger cars with pockets of corrosion in the center sill. *Science and Transport Progress*, 5(59), 132-140. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55337> (in Ukrainian)
7. Filatov, H. V. (2002). *Matematychni modelyuvannya protsesiv korozivnoho ruynuvannya pid napruzhennyam: navcha'nyy posibnyk*. Dnipropetrovsk: UDKhTU. (in Ukrainian)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

8. Marcus, P. (2011). *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*. CRC Press.
DOI: <https://doi.org/10.1201/b11020> (in English)
9. Revie R. (2011). *Uhlig's Corrosion Handbook, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470872864> (in English)
10. Zhang, F., Ju, P., Pan, M., Zhang, D., Huang, Y., Li, G., & Li, X. (2018). Self-healing mechanisms in smart protective coatings: A review. *Corrosion Science*, 144, 74–88.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.005> (in English)

Надійшла до редколегії: 10.08.2020

Прийнята до друку: 09.12.2020