

УДК 629.4.014.62:001.891

Ю.В. Єжов, Ю.С. Павленко, О.І. Войтенко, С.М. Полулях

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ КУЗОВІВ ВАГОНІВ ТИПУ Ема-502 ТБІЛІСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

Наведено результати проведених науково-експериментальних досліджень технічного стану та залишкового ресурсу металоконструкцій кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502, побудованих у 1979 році

Вступ

Експлуатаційний парк вагонів Тбіліського метрополітену на даний час представлений в основному вагонами моделей 81-717/714 та модернізованими вагонами моделей 81-717М/714М [1]. Загальний вигляд поїздів з вагонів моделей 81-717/714 та модернізованих вагонів моделей 81-717М/714М, зображено на рисунках 1 та 2.

Крім того, Тбіліський метрополітен має 27 вагонів типу Ема-502, побудованих ще в часи колишнього СРСР. Призначений термін служби таких вагонів складає 31 рік, тому на даний час зазначені вагони не експлуатуються через закінчення призначеного терміну служби. Можливість продовження їх експлуатації потребує відповідного обґрунтування.

З іншого боку, придбання нового рухомого складу в достатньої кількості на заміну того, що вислужив призначений термін, потребує значних фінансових витрат. Тому, Тбіліський метрополітен сьогодні змушений шукати рішення, які є альтернативними придбанню нового рухомого складу.

Одним з таких рішень є модернізація з продовженням терміну експлуатації наявного рухомого складу, у першу чергу того, що вислужив призначений термін.

Для прийняття обґрунтованого рішення про доцільність проведення модернізації з продовженням терміну експлуатації вагонів метрополітену конкретних моделей та років побудови необхідно проводити науково-експериментальні дослідження технічного стану їх несучих металоконструкцій з метою визначення фактичного залишкового ресурсу.

Результати досліджень технічного стану металоконструкцій 27-ми кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502, проведених ДП «УкрНДІВ» у липні-серпні 2018 р., розглянуто у даній статті.

© *Єжов Ю.В., Павленко Ю.С., Войтенко О.І., Полулях С.М., 2018*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рис. 1. Тбіліський метрополітен. Поїзд з вагонів мод. 81-717/714



Рис. 2. Тбіліський метрополітен. Поїзд з вагонів мод. 81-717М/714М

Історія створення вагонів метрополітену типу Ема-502

У 1971 році Ленінградський завод ім. Єгорова замість вагонів метрополітену типів Ем, Ема, які він будував за конструкторською документацією Митищинського машинобудівного заводу, перейшов на випуск вагонів за власною конструкторською документацією: проміжних типу Ем-501 (заводське позначення 81-501) та головних вагонів типу Ема-502 (заводське позначення 81-502) [2]. Зазначені вагони за рахунок незначних конструктивних відмінностей кузова (бокові стіни кузовів над підвіконним поясом стали мати три гофри замість двох) явилися наступним етапом розвитку вагонів типу Ем та Ема. Але при цьому вагони типів Ем-501 та Ема-502, як і вагони Ем та Ема, мали кабіну управління та однотипну з вагонами типу Е металоконструкцію кузова.

Виробництво вагонів типу Ем-501 продовжувалось до 1978 року, а вагонів типу Ема-502 – до 1980 року включно.

Якщо перші побудовані вагони типів Ем-501 та Ем-502 мали можливість зчіплятися тільки з вагонами типів Ем та Ема, та, відповідно, експлуатуватися тільки на коліях Ленінградського метрополітену, з урахуванням особливостей станцій якого, як і вагони типів Ем та Ема, вони були створені, то після незначної модернізації наступні вагони зазначених типів отримали можливість зчіплятися з вагонами типів Е, Еж, Еж1. Таким чином у свій час були модернізовані вагони типів Ем-501 та Ем-502 для Київського та Тбіліського метрополітенів.

Загальний вигляд поїзда метро з зазначених вагонів наведений на рисунку 3.



Рис. 3. Загальний вигляд поїзда метро з вагонів типу Ема-502, Ема501

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окремі характеристики вагонів типу Ема-502 наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Окремі характеристики вагонів типу Ема-502 [2]

Рік побудови	1979
Завод-виробник	ЛВЗ
Довжина, мм	19210
Ширина, мм	2700
Висота, мм	3695
Маса тари, т	32,2
Конструкційна швидкість, км/год	90
Напруга та струм	750 В постійного струму
Прискорення під час пуску, м/с ²	1,1
Уповільнення при гальмуванні, м/с ²	1,2
Потужність тягових двигунів, кВт	4x68
Пасажиромісткість (при щільності 10 чол/м ²), чол.	272
Кількість місць для сидіння, од.	42
Призначений термін служби, років	31

Науково-експериментальні дослідження вагонів метрополітену типу Ема-502 Тбіліського метрополітену, що виступили призначений термін

Як показав досвід експлуатації вагонів типу Ема-502 в умовах Тбіліського метрополітену, металокожструкції кузовів таких вагонів не мають суттєвих пошкоджень, тому їх технічний стан після експлуатації протягом призначеного терміну фахівці метрополітену оцінюють як задовільний.

Це дає підставу очікувати, що металокожструкції кузовів зазначених вагонів, навіть після майже 40 років експлуатації, будуть мати залишковий ресурс, що дозволить провести вагонам типу Ема-502 модернізацію з продовженням терміну експлуатації.

Тому у липні 2018 р. між ДП «УкрНДІВ» та АТ «Тбіліський філіал заводу з ремонту електрорухомого складу» був укладений договір на проведення науково-експериментальних досліджень в умовах Тбіліського метрополітену металокожструкцій кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502, побудованих у 1979 році.

Мета досліджень - визначення залишкового ресурсу металокожструкцій кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502 Тбіліського метрополітену та можливості продовження їх терміну експлуатації.

Для проведення досліджень Тбіліським метрополітеном були надані Випробувальному центру ДП «УкрНДІВ» 27 вагонів метрополітену типу Ема-502: №№ 7097, 7098, 7099, 7100, 7101, 7102, 7104, 7105, 7106, 7107, 7108, 7109, 7110, 7111, 7112, 7113, 7114, 7115, 7116, 7117, 7118, 7120, 7122, 7123, 7124, 7125, 7126, побудованих у 1979 р. Ленінградським вагонобудівним заводом ім. Єгорова.

Всі зазначені вагони знаходяться на балансі Тбіліського метрополітена, але на даний час не експлуатуються (знаходяться на консервації).

В процесі досліджень був експериментально визначений залишковий ресурс ку-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

зовів вагонів типу Ема-502, як показник потенційної можливості металоконструкцій кузовів вагонів зазначеного типу продовжувати експлуатуватися після закінчення призначеного терміну служби, проведено обстеження технічного стану всіх 27-ми наданих вагонів та з використанням результатів експериментальних досліджень визначений фактичний залишковий ресурс кожного.

Робота проводилась в 4 етапи.

На 1-му етапі досліджень був розроблений, погоджений та затверджений у встановленому порядку документ «Вагони метрополитена типа Ема-502. Методика технического диагностирования» М 4.1.00728 [3] (далі – «Методика...»), у якому наведені порядок обстеження технічного стану металоконструкції кузова кожного вагона, що піддається діагностуванню, з використанням методів та засобів неруйнівного контролю, а також методика проведення контрольних випробувань зразка вагона метрополітену.

На 2-му етапі з використанням розробленої «Методики...» було проведено обстеження технічного стану металоконструкцій кузовів всіх 27-ми наданих вагонів за результатами якого був складений відповідний висновок.

На 3-му етапі проводились ходові міцносні випробування зразка вагона типу Ема-502 1979 року побудови з метою визначення потенційно можливого залишкового ресурсу кузовів таких вагонів. Випробування проводились згідно з положеннями «Методики...». За результатами випробувань був оформлений протокол.

На 4-му етапі результати проведених досліджень оброблялись та аналізувались, відповідно до положень «Методики...», визначався фактичний залишковий ресурс для кузова кожного вагона, що підлягав обстеженню. За результатами аналізу результатів досліджень оформлено технічний висновок щодо можливості подальшої експлуатації 27-ми обстежених вагонів, у якому був встановлений новий термін служби для кожного.

Обстеження технічного стану кузовів проводилось у виробничих цехах АТ «Тбіліський філіал заводу з ремонту електрорухомого складу». Для забезпечення доступу до несучих елементів рами кузовів кожного вагона піднімався на зручну для обстеження висоту за допомогою електродомкратів. Процес обстеження зображений на рисунках 4, 5.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рис. 4. Вагон метрополітену типу Ема-502 перед обстеженням



Рис. 5. Кузов вагона піднятий на електродомкратах

Результати досліджень

За результатами обстеження технічного стану металоконструкцій кузовів 27-ми вагонів було встановлено, що механічні пошкодження елементів металоконструкцій кузовів практично відсутні. Лише на першій від шворневої поперечної балці рами кузова вагона № 7115 виявлені сліди раніше виконаного ремонту - профільна ремонтна накладка (див. рис. 6). При цьому загальний технічний стан зазначеної поперечної балки є повністю задовільним, вона не потребує повторного ремонту та не перешкоджає продовженню експлуатації вагона № 7115 [4].



Рис. 6. Перша поперечна балка рами кузова з профільною накладкою

Виявлені корозійні пошкодження основних несучих елементів металоконструкцій (балок рам) мають локальний характер та не перевищують, відносно номінальних товщин елементів (3–4) % для хребтових та шворневих балок (2 – 5) % для поперечних балок, (2 – 3) % для бокових поясів, (2 – 5) % для кінцевих частин рами. Що стосується стояків кузовів (підвіконних та проміжних), то максимальні значення їх локальних корозійних пошкоджень знаходяться в межах (3 – 7) %, обшивки кінцевих (лобових) стін – в межах 5 %, обшивки дахів – в межах (6 – 12) % [4].

Загальна оцінка технічного стану металоконструкцій кузовів всіх 27-ми обстежених вагонів є позитивною. Тому можна стверджувати, що обстежені металоконструкції кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502 мають незначні пошкодження механічного та корозійного характеру.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Для проведення випробувань з 27-ти обстежених вагонів, згідно з положеннями «Методики...», був відібраний та ідентифікований зразок вагона типу Ема-502 1979 року побудови № 7117. Відібраний зразок на момент проведення випробувань мав термін служби 39 років, найменші товщини основних несучих елементів та найбільш характерні для обстеженої групи вагонів пошкодження основних несучих елементів.

Випробування зразка вагона було проведено у завантаженому режимі, для чого перед їх проведенням вагон був завантажений до максимальної вантажопідйомності із розрахунку знаходження у вагоні 272 пасажирів (при щільності 10 чел/м²), середня маса яких, згідно з вимогами ГСТУ 3-017-2001 «Вагони метрополітенів. Методи та технічні норми для розрахунку і проектування механічної частини вагонів» [5], складає 70 кг.

Як імітатор вантажу були використані попередньо зважені мішки з піском, рівномірно розташовані по салону.

Випробування проводились в об'язі ходових міцносних, згідно з положеннями «Методики», на ділянках колії Тбіліського метрополітена між станціями «Akheteli Theatre» та «Varketili» з 13 серпня по 20 серпня 2018 р. фахівцями Випробувального центру вагонобудування та ливарного виробництва для вагонобудування ДП «УкрНДІВ» (далі – ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ»).

Під час обробки результатів випробувань було встановлено, що найбільші напруження від дії динамічних навантажень виникають в окремих перерізах хребтової, шворневої та 4-й від шворневої поперечної балки рами. При цьому максимальні значення динамічних напружень були зафіксовані в нижній полиці поперечної балки рами.

Залишковий ресурс кожного з основних несучих елементів металокопструкції кузова, у перерізах якого під час випробувань були зафіксовані найбільші динамічні напруження, визначався за коефіцієнтом запасу опору втомі n , що розраховувався відповідно до вимог ГСТУ 3-017 [5].

Для визначення залишкового ресурсу кожного несучого елемента металокопструкції кузова послідовно задавалися значення розрахункового календарного терміну служби вагона (5, 10, 15, 20 та більше років), для яких, з використанням програмного математичного забезпечення, проводився розрахунок коефіцієнта запасу опору втомі.

Оцінку коефіцієнта запасу опору втомі для кожного несучого елемента металокопструкції кузова проведено шляхом порівняння його фактичного значення з допустимим $[n]$ ($[n] \geq 1,5$). Значення розрахункового календарного терміну служби вагона, при якому коефіцієнт запасу опору втомі для елемента металокопструкції був максимально наближеним до $[n]$, але при цьому його перевищував, приймалося в якості залишкового ресурсу даного елемента металокопструкції.

У табл. 2 наведені розрахункові значення коефіцієнтів запасу опору втомі для елементів металокопструкції кузова з максимальними динамічними напруженнями із розрахунку експлуатації вагона протягом 25 років після проведення досліджень.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 2 – Розрахункові значення коефіцієнтів запасу опору втомі для несучих елементів металокопструкції кузова вагона типу Ема-502 1979 року побудови № 7117 [4]

Назва елемента металокопструкції рами кузова	Заданий календарний термін служби вагона, років	[n]	Розрахункові значення коефіцієнтів запасу опору втомі
Балка хребтова (переріз VII-VII, точка 3)	25	$\geq 1,5$	4,8
Балка шворнева (переріз III*-III*, точка 7)			4,1
Балка поперечна 4 (переріз 0*-0*, точка 30)			3,7

Як свідчать результати випробувань, максимально наближеним до [n] є розрахункове значення коефіцієнта запасу опору втомі 4-й від шворневої поперечної балки рами (3,7 при [n] $\geq 1,5$). Для інших елементів металокопструкції кузова значення розрахункового коефіцієнта запасу опору втомі більш ніж в (2,7 – 3) рази перевищують [n].

Це свідчить про те, що найменший залишковий ресурс в металокопструкції кузова має четверта від шворневої поперечна балка рами. Його величина складає 25 років [4].

Згідно з вимогами «Методики...» [2], за величину залишкового ресурсу кузова вагона в цілому повинне прийматися мінімальне значення залишкового ресурсу його основних несучих елементів. Тому залишковий ресурс металокопструкції кузова вагона типу Ема-502 1979 року побудови № 7117, за коефіцієнтом запасу опору втомі, був прийнятий рівним 25-ти рокам.

Зазначений залишковий ресурс розповсюджено на всі вищезазначені вагони типу Ема-502, що були піддані дослідженням.

Фактичний залишковий ресурс кузова кожного з 27-ми обстежених вагонів встановлювався експертно з урахуванням положень «Методики...» [2] та наступних критеріїв:

- відсутність пошкоджень кузова, у разі наявності яких вагон підлягає виключенню із інвентарного парку;
- можливість усунення виявлених пошкоджень основних несучих елементів кузова під час ремонту або модернізації;
- наявність залишкового ресурсу у зразка вагона типу Ема-502, визначеного за результатами випробувань.

Враховуючи те, що за результатами обстеження технічного стану металокопструкцій кузовів 27-ми вагонів механічних та корозійних пошкоджень, у разі наявності яких вагони підлягають виключенню із інвентарного парку, не виявлено, в якості фактичного залишкового ресурсу кузова кожного обстеженого вагона прийнятий залишковий ресурс зразка вагона типу Ема-502, визначений за результатами випробувань (25 років).

З урахуванням викладеного, термін служби всім зазначеним вагонам можна продовжити на 25 років.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Слід зазначити, що визначені за результатами проведених досліджень залишкові ресурси та нові терміни служби стосуються лише вагонів, які експлуатуються в умовах Тбіліського метрополітена та не поширюються на вагони аналогічних моделей та років побудови, що експлуатуються на коліях інших метрополітенів України.

Враховуючи визначений за результатами проведених досліджень 25-річний залишковий ресурс кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502, що виступили призначений термін, які експлуатуються в умовах Тбіліського метрополітену, доцільно проводити всім таким вагонам комплексну модернізацію з продовженням терміну служби за проектом, що передбачає оновлення складових частин, систем, елементів, утворення сучасного інтер'єру та екстер'єру.

Залишковий ресурс 25 років, визначений за результатами випробувань, може бути розповсюджений також на всі вагони метрополітену типу Ема-502, що виступили призначений термін та експлуатуються в умовах Тбіліського метрополітену не більше 39 років з дати побудови. Але при цьому для кожного з таких вагонів фактичне значення залишкового ресурсу треба уточнювати з урахуванням його технічного стану на момент обстеження.

Висновки

В цілому за результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Металоконструкції кузовів вагонів метрополітену типу Ема-502, що виступили призначений термін та експлуатуються в умовах Тбіліського метрополітену не більше 39 років, можуть мати залишковий ресурс до 25 років включно.

2. Для кожного з вищезазначених вагонів фактичне значення залишкового ресурсу треба уточнювати з урахуванням його технічного стану на момент обстеження.

3. Визначений за результатами проведених досліджень фактичний залишковий ресурс кожного з обстежених вагонів метрополітену дозволяє проводити вказаним вагонам комплексну модернізацію з продовженням терміну експлуатації на 25 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тбилисский метрополитен. Подвижной состав [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. Электровагоны типов Ем-501, Ема-502 и Емх-503 - Метровагоны [електронний ресурс] – Режим доступу: vagon.metro.ru/passenger/em-501.html
3. Вагоны метрополитена типа Ема-502. Методика технического диагностирования М.4.1.00728 – 44 с.
4. Отчет о НИР «Проведение научно-экспериментальных исследований по определению остаточного ресурса 27 вагонов метро типа Ема-502 (год выпуска 1979) в условиях Тбилисского метрополитена». – Кременчуг: ГП «УкрНИИВ», 2018 – 189 с.
5. ГСТУ 3-017-2001 «Вагоны метрополитенів. Методи та технічні норми для розрахунку і проектування механічної частини вагонів». – Київ: Держкомпромполітики України, 2001. – 206 с.