

ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

За результатами теоретичних та економічних розрахунків, а також статистичних результатів обстеження вагонів були розглянуті та запропоновані декілька доцільних варіантів подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів.

По результатам экономических и теоретических расчетов, а также статических результатов обследования вагонов были рассмотрены и предложены несколько целесообразных вариантов продления срока эксплуатации пассажирских вагонов.

Basing on the results of economic and theoretical calculations, and also the static outcomes of car examinations, the authors have considered and proposed several reasonable options of extending the term of passenger cars operation.

Діюча раніше концепція оновлення парку пасажирських вагонів, що базувалась на фіксованому терміну їх служби (28 років) від побудови і до списання, виявилась недоцільною в сучасних умовах експлуатації як з економічної, так і з технічної точки зору. Більшість складових частин вагона (внутрішній інтер'єр, теплова ізоляція, системи життєзабезпечення, ударно-тягові прилади та деталі ходової частини) можуть бути або відремонтовані, або замінені у разі їх невідповідності сучасним вимогам. Визначальним з точки зору придатності вагона до експлуатації є стан несучого кузова, що приймає на себе весь спектр навантажень. Доцільність виключення вагона з експлуатації повинна диктуватись таким його напрацюванням, при якому подальше відновлення ресурсу стає недоцільним.

У зв'язку з цим проведено дослідження кузовів пасажирських вагонів Укрзалізниці, що відпрацювали свій початково встановлений 28-річний ресурс. Визначені можливі варіанти подовження життєвого циклу вагонів при різних рівнях відновлення ресурсу – після капітального ремонту типового або з подовженням терміну експлуатації (КР, КРП) в умовах кращих вагонних депо, або капітально відновлюваного ремонту (КВР), що освоєний вагоноремонтними заводами.

Обстеження технічного стану вагонів, що відпрацювали початковий ресурс, проводиться декількома акредитованими випробувальними лабораторіями за єдиною методикою, затвердженою ЦЛ УЗ. При цьому використовуються такі діагностичні прилади, як малогабаритні ультразвукові товщиноміри, різноманітні дефектоскопи тощо.

Аналіз матеріалів обстеження більш 800 кузовів вагонів випробувальною лабораторією вагонів ДШТУ показав, що пошкодження типу тріщин у

несучих елементах зустрічаються рідко і викликані різними дефектами металу або несанкціонованими силовими місцевими впливами. Пошкодження основного металу або зварних швів, що мають втомлювальний характер, практично не виявлено.

Основні пошкодження, що впливають на несучу здатність кузовів, носять корозійний характер. Встановлено, що в найбільшому ступені корозії піддані такі елементи:

- шкворнева балка (вертикальні та верхні горизонтальні листи);
- низ бічної обшивки;
- нижня обв'язка;
- нижні частини стійок бічних стін.

Корозійні пошкодження інших частин незначні.

Цим і була продиктована необхідність виконати поглиблений теоретичний аналіз впливу корозійних пошкоджень на міцність кузова.

Дослідження напружено-деформованого стану кузова, що має корозійні пошкодження, виконувались за допомогою математичного моделювання на підставі методу скінченних елементів (МСЕ).

Кузов розглядається як суцільнонесучий, тобто навантаження сприймаються рамою, підлогою, бічними і торцевими стінками та дахом.

Скінченноелементна модель кузова вагона зображена на рис. 1.

Загалом вона налічує 8516 елементів, що з'єднані 3593 вузлами. Використані плоскі та лінійні скінченні елементи. Плоскими моделювались обшивка стін, підлоги та даху, хребтова та шкворневі балки рами, нижня обв'язка кузова. Ці елементи моделюють опір деформаціям як у власній площині, так і деформаціям згину. Лінійними елементами моделювались стійки бічних стін, дуги даху та інші підкріплюючі балочки – враховувалась їх робота на розтягання-стиск, згин та кручення.

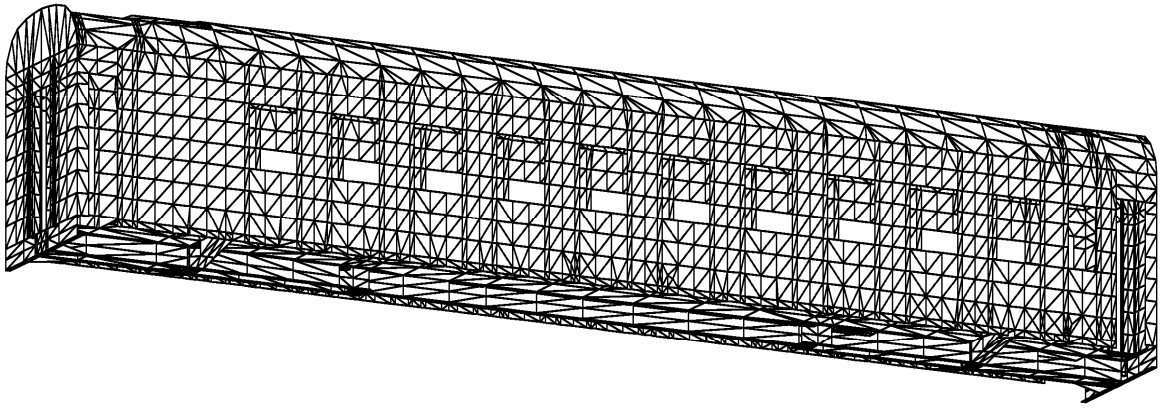


Рис. 1. Скінченноелементна модель кузова для розрахунків на міцність

За результатами розрахунків аналізувались найбільші напруження в кузові при різних значеннях товщин тих елементів, які за даними обстежень найбільше піддаються корозії.

На рис. 2, як приклад, показаний графік залежності найбільших напружень у кузові при різних значеннях товщини верхньої частини стінки шкворневої балки. Із графіка видно, що і розрахунковий режим фактично «не відчуває» зменшення товщини стінки аж до 1 мм, макси-

мальні напруження постійно дорівнюють 214 МПа при допустимих 233 МПа; при третьому режимі з розтягом поздовжніми силами – III(+), найменша товщина стінки допускається 3,5 мм, а третій режим із стискаючими силами – III(-) виявився таким, що обмежує товщину стінки до 5,6 мм, бо напруга у кузові (точка А на графіку) досягає допустимого рівня 155 МПа.

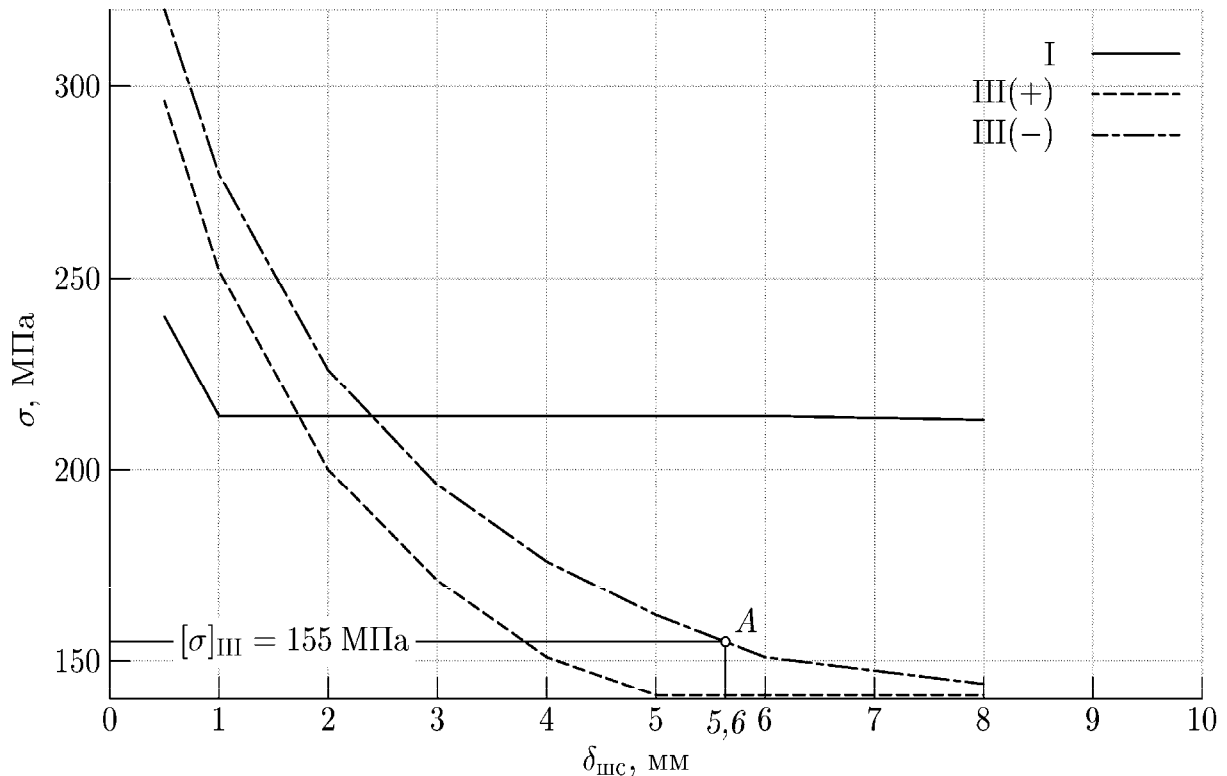


Рис. 2. Залежність найбільших напруг у кузові від товщини стінки шкворневої балки при I та III розрахункових режимах

Розрахунок напружено-деформованого стану кузова виконувався для I та III розрахункових режимів згідно з [1] на дію вертикальних, поздовжніх та поперечних навантажень. У разі визначення вертикальних навантажень коефіцієнт динаміки розраховувався для швидкості руху 160 км/г (0,256).

Аналогічний аналіз виконаний і для інших несучих елементів кузова, що піддаються корозії під час експлуатації вагона. Значення мінімальних товщин основних елементів наведені в табл. 1.

Таким чином, міцність кузова після 28 років експлуатації у більшості вагонів задовільна, що свідчить про можливість подовження терміну експлуатації таких вагонів. Однак нормативних документів щодо технічного обслуговування вагонів після відпрацювання ними початково встановленого терміну експлуатації до цього часу ще не розроблено. Тому подальші наші дослідження мають метою обґрунтувати, на який додатковий період вистачить наявного залишкового ресурсу вагона і які види ремонтів слід виконувати у вказаний період.

Таблиця 1

Мінімально допустимі товщини несучих елементів кузова

Несучий елемент кузова	Номинальна товщина, мм	Мінімальна товщина, мм
Верхня частина стінки шкворневої балки	10,0	5,6
Нижня частина стінки шкворневої балки	10,0	4,0
Верхній горизонтальний лист шкворневої балки	12,0	3,0
Нижній горизонтальний лист шкворневої балки	12,0	2,0
Нижня частина обшивки бічної стіни	2,5	1,5
Полка зету нижньої обв'язки	9,0	3,0

Визначення залишкового ресурсу кузовів вагонів після початково встановленого терміну експлуатації.

Стан пасажирського вагона після відпрацювання початкового ресурсу та проведення КВР (КРП) залежить від декількох факторів, що

обумовлені якістю виробництва, технічного обслуговування та умов експлуатації протягом перших 28 років. Після комісійного обстеження технічного стану кожного вагона приймається рішення щодо його подальшого використання – направлення на КВР, КРП, звичайний капітальний ремонт (КР-1) або списання.

Залишковий ресурс вагона після проходження КВР в умовах заводу «Дніпровагонрембуд» був поглиблено досліджений і становить 23 роки для кузова [2].

Визначення залишкового ресурсу кузовів після виконання КРП у передових вагонних депо було виконане автором разом з випробувальною лабораторією вагонів ДПТУ. Під час експериментальних ударних випробувань двох вагонів, відремонтованих КРП в депо Дніпропетровськ (купейний вагон) і Синельникове (плацкартний вагон), ставилась мета перевірити можливість призначення таким вагонам додаткового терміну експлуатації у 15 років.

Методика проведення прискорених ресурсних випробувань кузовів пасажирських вагонів розроблена на загальних принципах, що були викладені для вантажних вагонів у [3]. Суть її полягає у такому.

Випробування здійснювались на двох паралельних коліях. На одній з них розміщувались чотири завантажені вантажні вагони, два з яких додатково загальмовані башмаками. Ці вагони утворюють «стінку» загальною масою до 400 т. Поперед них розміщувався дослідний вагон. Далі має бути вільна ділянка колії довжиною не менш 50 м. На цій ділянці локомотив розганяв до встановленої швидкості завантажений до 50...60 т вагон-бойок. При розгоні автозчепа вагона-бойка та локомотива встановлені в режимі «на буфер». Далі локомотив загальмовувався, а вагон-бойок вільно накочувався на дослідний вагон і співударявся з ним. Сила співудару реєструвалась за допомогою автозчепа-динамометра. Дослідне обладнання для вимірів і реєстрації швидкості та сили співударів було розташоване у вагоні-лабораторії, що знаходився на сусідній колії і був зв'язаний з дослідним вагоном пересувним кабелем. Окрім швидкості та сил ударів реєструвались напруження у найбільш навантажених точках конструкції і поздовжні прискорення кузова.

При проведенні прискорених випробувань ресурс вагона оцінюється за його напрацюванням, яке оцінюється у 4-му степені:

$$D_c^4 = N \sum p_i S_i^4, \quad (1)$$

де N – кількість циклів сил за рік експлуатації ($N=14000$); S_i – середина інтервалу діючих сил; p_i – частота сил із рівнем S_i .

Напрацювання за рік експлуатації досягає 180 МН^4 . За встановлювані 15 років експлуатації вагона після КРП (але не більше 41 року з дати побудови вагона) з урахуванням коефіцієнта запасу $k=1,2$ сумарне напрацювання за період випробувальних співударів повинно скласти

$$D_{15}^4 = 15kD_1^4 = 2880 \text{ МН}^4. \quad (2)$$

Таке напрацювання отримали у повному циклі прискорених випробувань. На першому етапі проводились співудари до досягнення максимальних сил 2–2,5 МН. При цьому напруги в кузові дослідного вагона не повинні перевищувати допустимих. Після імітації напрацювання 800 МН^4 (що відповідає 5 рокам експлуатації – інтервалу між КР-1) випробування призупинялись і проводився огляд кузова на предмет появи тріщин або непружних деформацій. Якщо таких не було виявлено, то цикл у 800 МН^4 повторювався. Перший етап завершувався при сумарному напрацюванні 2400 МН^4 (15 років експлуатації). Після цього проводився ретельний огляд вагона і за відсутності пошкоджень виконувався другий етап випробувань до пошкодження несучих елементів або до досягнення додаткового напрацювання у 480 МН^4 .

Проведені випробування обох вищевказаних вагонів показали:

- максимальна подовжня сила в автоцепі дослідного вагона склала $2,55 \text{ МН}$, а максимальні напруги в кузові – 175 МПа , що відповідає нормам [1];
- максимальні подовжні прискорення при зіткненнях вагонів не перевищували рівня $4g$;
- несучі елементи кузовів обох типів досліджених вагонів після випробувань не мали видимих тріщин основного металу та зварних швів чи інших пошкоджень.

Наведені вище результати досліджень показують, що значній частині існуючих паса-

жирських вагонів можна подовжити життєвий цикл шляхом проведення певних видів ремонту. У кожному конкретному випадку після повного обстеження слід призначити перший необхідний вид ремонту (КВР, КРП, КР-1) і запланувати подальше технічне обслуговування вагона до його списання. Але витрати на збільшення життєвого циклу вагонів можуть перевищити економію від подовження терміну служби.

Для визначення раціонального варіанта подовження терміну служби існуючим пасажирським вагонам як економічний критерій були прийняті сумарні витрати на їх життєвий цикл. Одночасно критерій мусить відповідати таким вимогам.

Критерій повинен бути багатофакторним і враховувати одночасно різні аспекти, що впливають на життєвий цикл пасажирського вагона.

Витрати на подовження терміну служби не повинні бути більшими за ціну нового вагона.

Критерій мусить бути простим для використання та у вартісному вигляді враховувати усі витрати за окремими своїми складовими.

Критерій мусить бути універсальним для обчислювання та порівняння будь-якої моделі подовження терміну служби пасажирського вагона, тому до його складу не слід включати поточні види ремонту та обслуговування.

Подовження терміну служби пасажирським вагонам є інвестиційним проектом, що передбачає поетапні капіталовкладення на оновлення існуючих та придбання нових вагонів. Оскільки варіанти, що порівнюються, відрізняються між собою капітальними вкладеннями та поточними витратами і змінюються за часом, то рекомендовано витрати попередніх років приводити до теперішнього часу за допомогою коефіцієнта

$$k = \frac{1}{(1 + E_m)^t}. \quad (3)$$

Для вирішення задач такого типу використовують сумарні дисконтовані витрати, які може понести Укрзалізниця за різними варіантами подовження терміну служби пасажирських вагонів. Всі ці варіанти одночасно порівнюються з витратами на придбання нового вагона. Варіант подовження терміну служби вагона, що відповідає найменшим дисконтованим витратам, буде найкращим

$$CDB = \sum_{t=0}^T \frac{B_t + K_t}{(1 + E_m)^t} \rightarrow \min. \quad (4)$$

У формулах (3), (4): СДВ – сумарні дисконтовані витрати; B_t – річні сумарні витрати на усі види ремонтів за різними варіантами подовження терміну служби вагона; K_t – річні капіталовкладення на придбання нового вагона певного типу; E_m – модифікована норма дисконту, що обчислюється за формулою

$$E_m = \frac{1 + E/100}{1 + p/100} - 1,$$

де E – норма дисконту, що дорівнює банківському депозитному відсотку в національній валюті України; p – прогнозований рівень інфляції; t – номер розрахункового року: $t = 0, 1, 2, 3, \dots, T$ (T – строк проведення структурної реформи).

Якщо припустити, що в загальному вигляді значення

$$B_t = [ДР + КР1 + КР2 + КРП(КВР)]_t,$$

то формула (4) набуде такого вигляду

$$CDB = \sum_{t=0}^T \frac{[ДР + КР1 + КР2 + КРП(КВР)]_t + K_t}{(1 + E_m)^t} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де ДР – вартість деповського ремонту пасажирського вагона даного типу; КР1 – вартість капітального ремонту першого об'єму; КР2 – вартість капітального ремонту другого об'єму; КРП – вартість капітального ремонту з подовженням терміну служби пасажирського вагона даного типу, що виконується у депо; КВР – вартість капітально-відновлювального ремонту пасажирського вагона даного типу, що виконується на заводі.

Дослідження показали, що можна визначити 12 основних варіантів подовження терміну служби пасажирських вагонів купейного та відкритого типу. Вони були поділені на дві групи. До першої групи (рис. 3) були віднесені основні варіанти подовження терміну служби пасажирських вагонів з виконанням КРП в умовах депо та без нього.

Варіанти 1, 2, 3. Подовження терміну служби вагона на 13 років після 28 років роботи.

Варіант 4. Подовження терміну служби вагона на 13 років після 28 років роботи без КРП, але з проведенням трьох повних обстежень.

Варіант 5. Подовження терміну служби вагона на 15 років після 25 років роботи (з простроченим КР-2).

Варіант 6. Подовження терміну служби вагона на 15 років після 20 років роботи з заміною КР-2 на КРП.

Для усіх цих варіантів були розроблені нові структури ремонтного циклу подовження терміну служби вагонів. Слід сказати, що перелічені варіанти не передбачають кардинального підсилення міцності несучої конструкції вагона.

Друга група варіантів подовження терміну служби вагонів з виконанням КВР в умовах заводу, що передбачає підсилення кузова, дозволяє збільшити життєвий цикл на 23 роки (рис. 4). Але ці варіанти потребують більше коштів у перші роки подовження терміну служби.

Варіанти 7, 8. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 28 років роботи.

Варіанти 9, 10. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 25 років роботи та з простроченим КР-2.

Варіанти 11, 12. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 20 років роботи з заміною КР-2 на КВР.

Одночасно для обох груп були обґрунтовано збільшені міжремонтні цикли після капітального ремонту КР-1 та в деяких випадках після деповського ремонту. Такі заходи спричинили загальне зменшення витрат на життєвий цикл пасажирських вагонів за рахунок часткового збільшення обсягів цих видів ремонту.

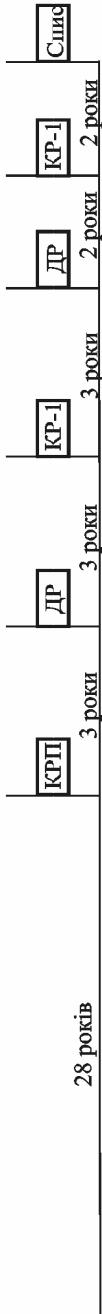
Порівняння витрат на життєвий цикл пасажирських вагонів виконані за різними варіантами подовження терміну їх служби, були обговорені на конференції [4]. У табл. 2, як приклад, наведені варіанти подовження ресурсу вагонам відкритого типу після 28 років служби.

Із таблиці видно, що найменш затратними виявились варіанти 2, 3 і 4. При складанні такого типу таблиць ставка дисконту дорівнювала 24 %, а ціни на усі види ремонту брались за даними Укрзалізниці.

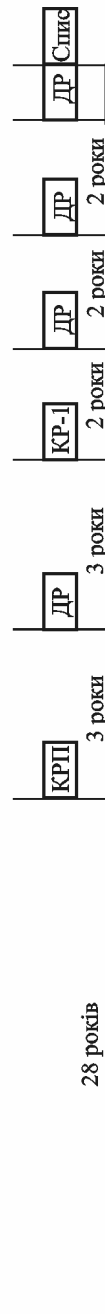
Шкала подовження терміну служби вагонів у роках

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

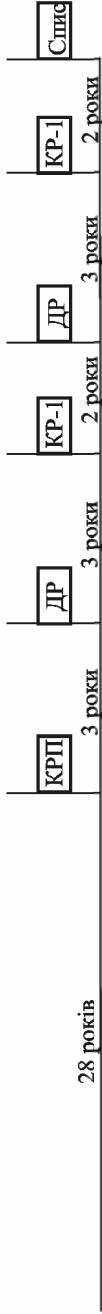
Варіант 1. Подовження терміну служби вагона на 13 років після 28 років роботи



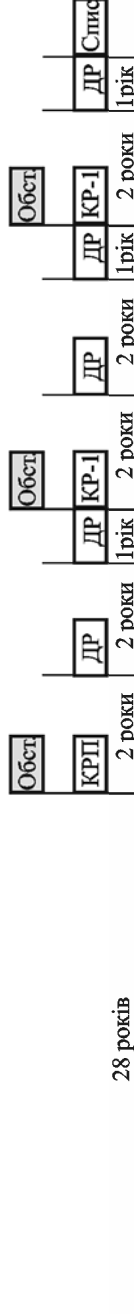
Варіант 2. Подовження терміну служби вагона на 13 років після 28 років роботи



Варіант 3. Подовження терміну служби вагона на 13 років після 28 років роботи



Варіант 4. Подовження терміну служби вагона на 13 років після 28 років роботи та трьох повних обстежень



Варіант 5. Подовження терміну служби вагона на 15 років після 25 років роботи та з просроченим KR-2



Варіант 6. Подовження терміну служби вагона на 15 років після 20 років роботи з заміною KR-2 на KR-1

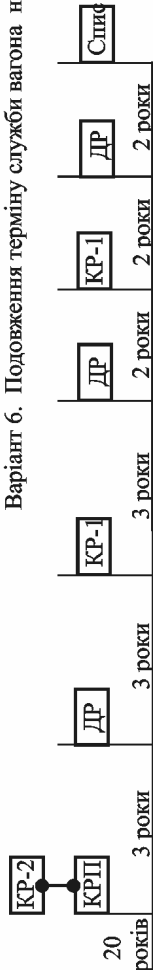
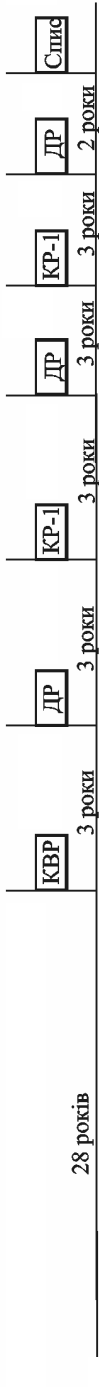


Рис. 3. Варіанти подовження терміну служби пасажирського вагона з виконанням КРП в умовах депо (див. також с. 171)

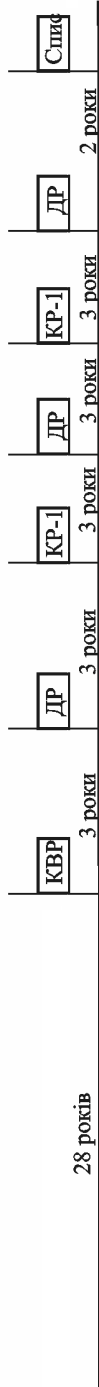
Шкала подовження терміну служби вагонів у роках

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

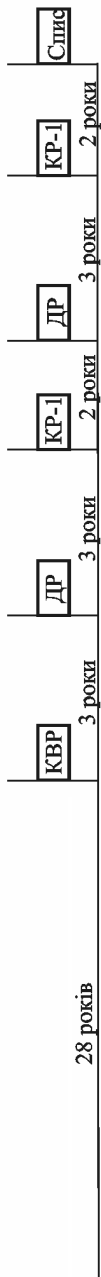
Варіант 7. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 28 років роботи



Варіант 8. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 28 років роботи



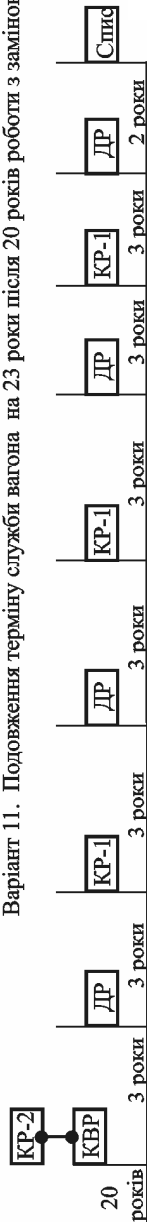
Варіант 9. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 25 років роботи та з простроченим КР-2



Варіант 10. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 25 років роботи та з простроченим КР-2



Варіант 11. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 20 років роботи з заміною КР-2 на КВР



Варіант 12. Подовження терміну служби вагона на 23 роки після 20 років роботи з заміною КР-2 на КВР

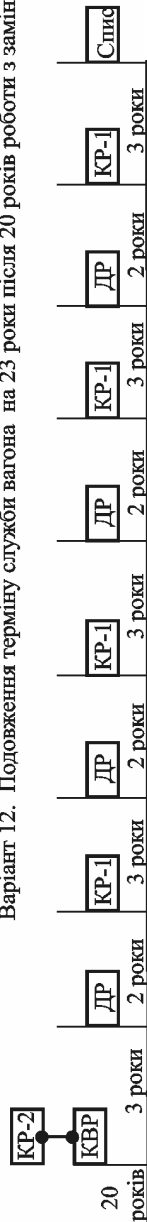


Рис. 3. Закінчення

**Порівняння витрат на життєвий цикл пасажирських вагонів відкритого типу
за різними варіантами подовження терміну служби після 28 років роботи**

№ варіанта	Найменування варіанта	Вартість технічного утримання вагона з дисконтом (тис. грн) у розрахункові роки: Після відпрацювання перших 28 років, починаючи з року побудови вагона											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	Подовження терміну служби вагона на 13 років з першим КРП	754,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	2,2	0,0	2,4
2	Подовження терміну служби вагона на 13 років з першим КРП	636,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	6,9	0,0	2,7	0,0	1,7	0,0
3	Подовження терміну служби вагона на 13 років з першим КРП	636,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	6,9	0,0	3,0	0,0	0,0	2,4
4	Подовження терміну служби на 13 років з повними обстеженнями	30,0	0,0	9,8	0,0	6,3	10,2	0,0	3,3	0,0	2,2	3,5	0,0
7	Подовження терміну служби вагона на 23 роки з першим КВР	1200,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0
8	Подовження терміну служби вагона на 23 роки з першим КВР	1200,0	0,0	0,0	7,9	0,0	10,2	0,0	0,0	2,7	0,0	3,5	0,0
0	Придбання нового вагона	1380,0	0,0	9,8	0,0	6,3	8,5	0,0	3,3	0,0	2,2	2,9	0,0
1	Подовження терміну служби вагона на 13 років з першим КРП	0,0	84,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	861,1
2	Подовження терміну служби вагона на 13 років з першим КРП	1,1	84,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	742,6
3	Подовження терміну служби вагона на 13 років з першим КРП	0,0	84,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	742,5
4	Подовження терміну служби на 13 років з повними обстеженнями	1,1	84,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	151,7
7	Подовження терміну служби вагона на 23 роки з першим КВР	2,3	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,2	0,0	1223,4
8	Подовження терміну служби вагона на 23 роки з першим КВР	0,0	0,9	0,0	1,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	1227,1
0	Придбання нового вагона	1,1	0,0	0,7	1,0	0,0	0,4	0,0	0,3	0,8	0,0	0,1	1417,4

Висновки

1. Аналіз результатів технічного обстеження пасажирських вагонів, які відпрацювали початково встановлений при їх будівництві ресурс, показав, що несучі елементи кузовів не мають пошкоджень втомлювального характеру, але товщини балок рами, підкріплюючих профілів та обшиви кузова зменшені внаслідок корозії.

2. Теоретичні дослідження міцності виявили, що навіть значні корозійні пошкодження (до 40 %) не приводять до втрати несучої здатності суцільнонесучого кузова вагона.

3. Ресурсні випробування на співудари вагонів після КРП, виконаного в передових пасажирських депо, показали можливість подовження терміну експлуатації вагона до 15 років.

4. Запропоновано 12 варіантів структур ремонтного циклу вагонів купейних та відкритого типу після відпрацювання ними початкового терміну служби. З них у п'яти варіантах планується КРП в умовах депо і у шести – КВР в умовах заводу.

5. Економічний аналіз сумарних дисконтованих витрат на додатковий життєвий цикл ва-

гонів дозволяє вибрати доцільні варіанти подовження термінів експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
2. Блохин Е. П. Комплексная оценка ресурса пассажирских вагонов после капитально-восстановительного ремонта. / Е. П. Блохин, О. М. Савчук, В. П. Горобец и др. // *Залізничний транспорт України*. 2002. – № 6, 2003. – № 3.
3. Манашкин Л. А. Ресурсные ударные испытания грузовых вагонов на выносливость / Л. А. Манашкин, В. В. Колбун // *Перспективы развития вагоностроения: Тез. докл. на Всесоюзной конференции*. – М.: ВНИИВ, 1988. – 37 с.
4. Остапюк Б. Я. Обгрунтування і подовження життєвого циклу пасажирських вагонів / Б. Я. Остапюк, О. М. Савчук // *Проблеми механіки залізничного транспорту: Тез. докл. на XI міжнародній конференції*. – Д.: ДПТ, 2004. – 130 с.

Надійшла до редколегії 10.03.04.