

**Фомін О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Баранов І.О.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

**Мірошникова М.В.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ЙОГО БАЗОВИХ ЧАСТИН

У роботі наведена методика обчислення ресурсу на основі виправленої лінійної гіпотези про накопичення пошкоджень у матеріалі. актуальне наукове обґрунтоване питання встановлення призначеного терміну служби локомотивів і вагонів, а також стала очевидною необхідність призначення термінів служби на основі розрахункового та експериментально підтвердженого ресурсу безпечної експлуатації об'єкта. При статичному навантаженні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) можна проводити розрахунковими методами, зазвичай методом кінцевих елементів, що володіє достатньою для інженерної практики точністю. Оцінку характеристик НДС елементів конструкції виконують на основі сукупності наявних даних про фізико-механічні властивості матеріалів, конструктивні особливості, навантаження та впливів на об'єкт. Виконана розрахункова оцінка ресурсу базових частин рухомого складу залізниць. Визначені основні критерії обґрунтування міцності та ресурсу конструкції локомотивів і вагонів. Запропонована система розрахункових критеріїв, що відображає різноманітність механізмів деградації властивостей матеріалу конструкції в процесі виготовлення та експлуатації, яка використовується для отримання розрахункової оцінки працездатності та ресурсу конструкції базових частин рухомого складу. Для отримання розрахункової оцінки працездатності та ресурсу конструкції враховується система розрахункових критеріїв, що відображає різноманітність механізмів деградації властивостей матеріалу конструкції в процесі виготовлення та експлуатації: міцності, стійкості, довговічності, зростання тріщин втомі. У міру витрачання вихідного ресурсу конструкції, можливі заходи щодо його продовження. Побудована крива втомі деталей, яка характеризує накопичення втомних пошкоджень в матеріалі деталей, схильних до навантажень. Запропоновано визначення та облік у розрахунках ресурсу кількості циклів пошкодження операційних напружень відповідно до їх частки у фактичних реалізаціях процесів. Висвітлена залежність між коефіцієнтом запасу опору втомі та величиною еквівалентних динамічних напружень і залежність між коефіцієнтами запасу за напругою та довговічністю.

**Ключові слова:** рухомий склад, експлуатація, ресурс, безпека руху, управління ресурсом, динамічні напруження, довговічність.

**Постановка проблеми.** Досвід експлуатації відповідальних конструкцій показує, що за досягнутого рівня наукових розробок, технологічних та конструкторських рішень ще можливі пошкодження, відмови та аварії залізничного рухомого складу (РС).

Спроектвані, побудовані та прийняті в експлуатацію об'єкти відчувають різні зовнішні (природні та фізичні) та внутрішні (функціональні, технологічні) впливи. Несучі конструкції об'єктів деградують, зношуються, старіють, внаслідок чого їх експлуатаційні якості погіршуються і з часом перестають відповідати своєму призначенню [1, 2].

У зв'язку з одночасним збільшенням інтенсивності експлуатації та вагових норм поїздів, а також ситуація зі старінням парку рухомого складу, вимоги безпеки руху реалізують актуальне наукове обґрунтоване питання встановлення призначеного терміну служби локомотивів і вагонів, а також стала очевидною необхідність призначення термінів служби на основі розрахункового та експериментально підтвердженого ресурсу безпечної експлуатації об'єкта.

Під дією циклічних навантажень міцнісні властивості металу деталей і конструкцій екіпажної частини рухомого складу (рам візків, головних

рам і кузовів, деталей колісних пар та ін.) деградують, знижується їх опір втоми, підвищуються межа плинності, крихкість матеріалу, що може призвести їх руйнування [2].

В результаті, для об'єктів залізничної техніки, що тривало експлуатуються, виникає необхідність обґрунтування можливості їх подальшої надійної експлуатації. Це потребує встановлення фактичного технічного стану об'єктів з урахуванням накопичених у процесі експлуатації циклічних, тимчасових, корозійних пошкоджень та зношування. Крім цього необхідна оцінка впливу основних конструктивних та технологічних факторів, що змінюють властивості матеріалу та визначають настання граничних станів критичних елементів базових частин локомотивів та вагонів. На цій основі слід розробити методи оцінки, відновлення та прогнозування ресурсу.

Сучасний розвиток проблеми аналізу параметрів ресурсу, термінів служби, умов досягнень граничних станів елементів конструкції зумовлює необхідність удосконалення діючих традиційних підходів до забезпечення безпечної експлуатації об'єктів залізничного рухомого складу [2]. В їх основу має бути покладено принцип «безпечної експлуатації об'єкта за його технічним станом». Він визначає необхідність оцінки та моніторингу міцності та ресурсу як базові параметри стану аналізованого об'єкта на всіх стадіях життєвого циклу. Водночас вимоги до міцності, ресурсу та безпеки мають бути визначені та забезпечені на стадії проектування, перевірятися на стадії виготовлення та випробувань, підтримуватись у процесі експлуатації.

Об'єкти рухомого складу залізничного транспорту представляють собою складні багатовимірні системи з великою кількістю вхідних та вихідних параметрів зі складними лінійними та нелінійними зв'язками між ними та ознаками технічного стану з можливістю виникнення аварії за сценарієм, що вимагає оцінювати фактори, що виявляються на стадії початку переходу на новий режим або що дозволяють оцінити ймовірність такого переходу. Отже, попередження небезпечних процесів може бути ефективним лише за можливості здійснення своєчасної та об'єктивної оцінки систем, процесів та прогнозування їх майбутнього стану.

Для діагностування складних об'єктів використовують різні методи та засоби в основі яких лежить вимірювання фізичних параметрів, у тому числі прилади для визначення твердості та пружних констант матеріалів, машини для випробувань матеріалів на стискання, вигин, удар, зріз,

кручення тощо. Використання систем діагностики та розширеного моніторингу для контролю стану об'єктів рухомого складу вимагає не лише вміння вимірювати та подавати результати вимірювань. Розв'язання цього завдання вимагає глибоких знань конструкції об'єкта, властивостей його окремих вузлів та деталей, характеру робочих процесів та досвіду експлуатації.

Однак сучасний рівень діагностичних систем та інструментальних засобів контролю не має можливості раннього виявлення дефекту, не дозволяє відповісти на питання про наявність і реальні розміри дефекту, місце його розташування, не в змозі контролювати стан і якість зварних з'єднань і т.д. [3, 4].

Для аналізу стану елементів об'єктів рухомого складу необхідно застосування методів неруйнівних (контролю) та руйнівних випробувань, метою яких є не тільки виявлення дефектів, а й кількісна оцінка (розташування, тип та розміри), а також визначення властивостей металу конструктивних елементів у поточний момент часу. Дуже важливим є отримання такої інформації для своєчасного попередження ситуацій, які можуть створити загрозу життю та здоров'ю людини чи матеріальному майну [5, 6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фундаментальні теоретичні розробки виконані на основі результатів досліджень вчених, які займалися вирішенням питань забезпечення безпечної експлуатації рухомого складу залізниць, серед них відомі вчені: Бабанін О.Б., Бутько Т.В., Жалкін Д.С., Калабухін Ю.Є., Крашенінін О.С., Мороз В.І., Пузир В.Г., Тартаковський Е.Д. та закордонні вчені: Аміні А., Барков О.В., Ванг Д., Гієв З.Г.

Вагомий внесок у розвиток теорії безпечної експлуатації рухомого складу залізниць внесли вчені: О.В. Гателюк, А.І. Мішин, В.В. Молчанов, С.М. Овчаренко, П.А. Сіряк, О. Усманов, В.В. Харламов та інші.

**Метою статті** є забезпечення безпечної експлуатації рухомого складу залізниць на основі розрахункової оцінки ресурсу його базових частин.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Відповідно до прийнятого базового підходу, оцінку ресурсу проводять за визначальними показниками технічного стану на основі встановлених закономірностей їх зміни, аналізу механізмів накопичення пошкоджень, зародження та розвитку дефектів, а також за даними зміни функціональних параметрів у міру експлуатаційного напрацювання.

При проектуванні конструкцій локомотивів та вагонів, міцність та ресурс обґрунтовують за критеріями:

- опору пружним та пластичним деформаціям при статичному навантаженні та накопиченим при циклічному навантаженні;
- опір руйнуванню по в'язкому або крихкому механізму;
- опір втоми;
- опір втрати стійкості;
- корозійно- та зносостійкості.

Міцність при статичному навантаженні та зносі конструкції з урахуванням корозійних пошкоджень забезпечується вибором матеріалу, а також коефіцієнтами запасу міцності елементів конструкції.

Конструкційні сталі, залежно від умов, можуть перебувати в крихкому або в'язкому стані. Якщо конструкція або деталь виконана з пластичного матеріалу (практично всі конструкційні матеріали), то крихке руйнування може реалізуватися тільки при напруженнях ( $\sigma_{кр}$ ) нижче межі плинності за наступних умов:

- наявність у ній дефекту (порушення суцільності, тріщини тощо);
- коли вона стає чутливою до дефектів суцільності.

Таким чином, небезпека виникає тоді, коли дефекти суцільності досягають критичних розмірів і під дією зовнішнього навантаження стають нестійкими та починають швидко зростати.

При критичних напруженнях ( $\sigma_{кр}$ ) що дорівнюють межі плинності матеріалу ( $\sigma_{0,2}$ ) у деталі виникають невеликі пластичні деформації. В'язке руйнування відбувається з меншою швидкістю, характеризується напруженнями  $\sigma_{кр} > \sigma_{0,2}$ , і йому передують розвинені пластичні деформації.

Про настання граничного стану, вичерпання ресурсу та необхідність припинення експлуатації елементів рухомого складу можуть свідчити:

- поява на поверхні деталей (елементі конструкції) будь-яких тріщин;
- незворотні формозміни конструкції та її елементів, викликані пластичними деформаціями, не передбаченими проектною документацією та що призводять до виходу конструкції з ладу (відмови);
- перевищення рівня вимірювача (наприклад, кілометрів пробігу, тонно-кілометрів пропущеного залізничним шляхом тоннажу) або числа повторень (циклів) навантаження допустимого значення, визначеного на стадії проектування.

У разі передчасного вичерпання ресурсу експлуатації через недоліки конструкції, потрібна, як

правило, реконструкція (модернізація, вдосконалення). Недоліки (порушення норм) експлуатації можуть також суттєво скорочувати ресурс експлуатації та призводити до виникнення дефектів суцільності металу. Відновлення ресурсу в цьому випадку можливе з використанням ремонтної технології або шляхом заміни пошкодженого елемента конструкції. Узагальнений алгоритм робіт з оцінки та управління ресурсом представлений у формі блок-схеми рисунку 1.

Міцність та ресурс конструкції визначаються, головним чином, рівнем та характером механічних напружень. При статичному навантаженні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) можна проводити розрахунковими методами, зазвичай методом кінцевих елементів, що володіє достатньою для інженерної практики точністю. Оцінку характеристик НДС елементів конструкції виконують на основі сукупності наявних даних про фізико-механічні властивості матеріалів, конструктивні особливості, навантаження та впливів на об'єкт. Для деталей складної форми, що мають концентратори напружень, що зазнають динамічних і температурних силових впливів, доцільні також експериментальні методи.

При можливості наявності у конструкції невиявлених пошкоджень, що розвинулися при експлуатації, ресурс конструкції визначається з урахуванням можливого зростання цих пошкоджень з використанням методів механіки руйнувань [7]. Завдання може вирішуватися, як у детермінованій, так і у ймовірнісній постановці. Використовуються результати дефектоскопічного контролю та металографічних досліджень, враховуються механічні властивості та граничні стани сталей, що використовуються, у широкому діапазоні статичних, циклічних та ударних впливів при температурах від +50 до -60°C.

Оцінка показників ресурсу об'єкта, що досліджується, полягає у розрахунково-експериментальному визначенні напрацювання об'єкта від початку експлуатації (початковий ресурс) чи моменту проведення відповідного планового контролю (залишковий ресурс) до моменту переходу в граничний стан [8]. Для оцінки рівня пошкоджень, вже накопичених конструкцією, та для отримання прогнозних оцінок використовуються дані про рівень навантаженості за попередній та на прогнозний період експлуатації.

Наведений алгоритм робіт щодо оцінки та управління ресурсом, також застосовується для визначення рівня пошкоджень конструкцій вантажних вагонів [9, 10].

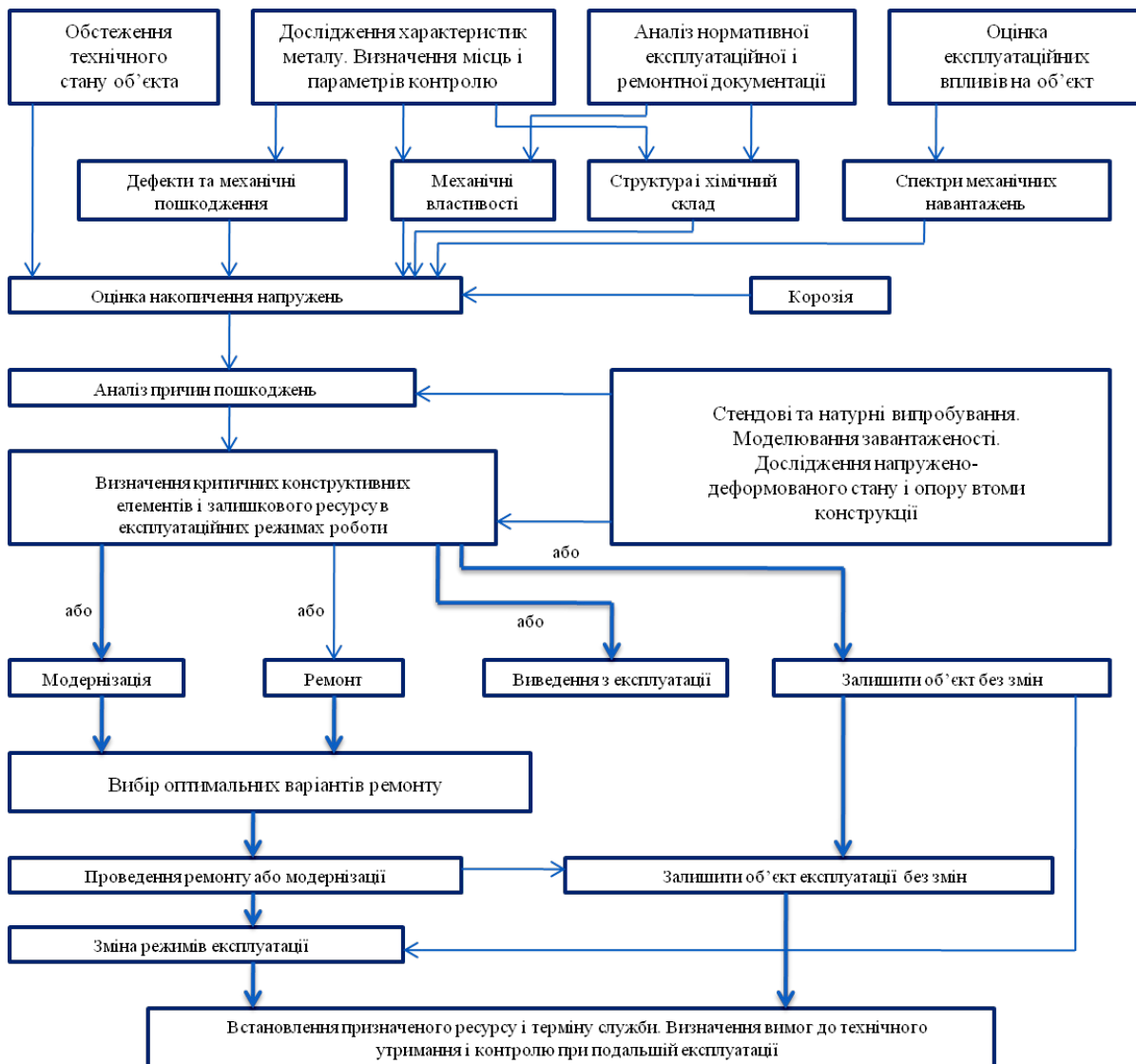


Рис. 1. Узагальнена структура (алгоритм) робіт з оцінки та управління ресурсом

Для отримання розрахункової оцінки працездатності та ресурсу конструкції враховується система розрахункових критеріїв, що відображає різноманітність механізмів деградації властивостей матеріалу конструкції в процесі виготовлення та експлуатації: міцності, стійкості, довговічності, зростання тріщин втомі. У міру витрачання вихідного ресурсу конструкції, можливі заходи щодо його продовження. Ресурс може оцінюватися за часом експлуатації та за кількістю циклів впливу. При проектуванні зазвичай призначається термін служби. Його встановлюють за усередненими значеннями параметрів навантаженості, умов експлуатації, технологій утримання та ремонтів. Однак відомо, що, залежно від умов експлуатації, фактичний термін буває більшим і меншим. Змінюючи умови та режими експлуатації, проводячи

інші заходи, можна регулювати закладений під час проектування термін експлуатації.

Методологія та процедура визначення ресурсу конструкцій локомотивів та вагонів (вихідного, залишкового) характеризується такими основними положеннями [11]:

- аналіз технічної документації даних експлуатації;
- виявлення та аналіз пошкоджень, встановлення їх механізму та визначальних параметрів;
- експертне обстеження (контроль) технічного стану об'єкта, а також елементів несучих конструкцій та вузлів.

Експертне обстеження проводять з метою отримання інформації про фактичний технічний стан об'єкта на даний момент часу. Такою інформацією можуть бути:

- механічні характеристики матеріалів, такі як межа витривалості, межа плинності, межа міцності, твердість;
- геометричні розміри несучих конструкцій;
- результати розрахунково-експериментальних досліджень стану конструкцій;
- причини утворення та зростання виявлених тріщин, дефектів та ушкоджень.

Відповідно до результатів випробувань та розрахунків напружено-деформованого стану конструкцій та характеристик матеріалів уточнюються механізми пошкоджень та параметри технічного стану, визначаються критерії граничних станів. Залишковий ресурс конструкції визначається прогнозуванням його технічного стану до її граничного стану. Підбір методу розрахунку ресурсу визначається достовірністю та точністю одержуваних даних, а також вимогами достовірності та точності прогнозованого ресурсу конструкції та ризику його подальшої експлуатації, наявності системи контролю за його технічним станом. Основним показником ресурсу приймається гамма-відсотковий ресурс, що задається чисельними значеннями напрацювання (км пробігу, число циклів до руйнування) вираженої у відсотках ймовірності того, що протягом цього напрацювання граничний стан не буде досягнуто. Ця можливість визначається залежно від функціонального призначення, рівня відповідальності та режиму експлуатації об'єкта. Для унікальних та особливо відповідальних об'єктів, достроковий вихід із ладу яких може призвести до значних економічних втрат, її значення має становити не менше 99 %. Для об'єктів ремонту рекомендується визначати показник ресурсу до планового ремонту. Рішення про можливість подальшої експлуатації такого об'єкта або його ремонт, зниження робочих параметрів, модернізацію, списання приймається на підставі даних щодо оцінки технічного стану об'єкта та ресурсу.

Накопичення втомних пошкоджень в матеріалі деталей, схильних до багато циклового навантаження у гігацикловій ( $N_G \gg N_0$ ) області (таких як шкворневий вузол, рама візка, вісь і колесо колісної пари та ін..) характеризується кривою втоми, представленою двома похилими гілками (рис. 2). Вони представляються рівняннями виду  $\sigma_{ai}^m \cdot N_i = const$  згідно гіпотезі лінійного сумування ушкоджень [12, 13].

З рівняння другої похилої гілки кривої втоми:

$$\sigma_{-1e}^{m_2} \cdot N_0 = \sigma_{ae}^{m_2} \cdot N_p \quad (1)$$

Знаходимо

$$N_p = \left( \frac{\sigma_{-1e}}{\sigma_{ae}} \right)^{m_2} \cdot N_0 = n_\sigma^{m_2} \cdot N_0 \quad (2)$$

де  $m_2$  – показник нахилу кривої втоми (при відомій величині  $m_1, m_2 = 2m_1 - 1$ );

$N_p$  – кількість циклів навантаження конструкції до граничного стану;

$\sigma_{-1e}$  – межа витривалості деталі для заданої ймовірності не руйнування (P);

$\bar{\sigma}_{-1e}$  – середнє значення межі витривалості.

$$\sigma_{-1e} = \bar{\sigma}_{-1e} (1 - U_p \cdot \vartheta_{-1}) \quad (3)$$

$N_0 = 5 \cdot 10^6 \dots 10^7$  – кількість циклів, відповідна фактичній точці зламу кривої втоми;

$\sigma_{ae}$  – еквівалентна амплітуда динамічних напружень в конструкції від напружень, які виникають при русі рухомого складу.

$$\sigma_{ae} = \sqrt[m]{\frac{N_\Sigma}{N_0}} \left[ \sum (K_{yuj} P_{vi} \cdot \sum \sigma_{ai}^m \cdot P_{oi}) \right] \quad (4)$$

де  $m$  – показник нахилу кривої втоми (для зварювальних конструкцій  $m=4-6$ );

Сумарна кількість циклів напружень від дій експлуатаційних навантажень за термін служби (років):

$$N_\Sigma = f_e \cdot \frac{365 \cdot 10^3}{V} \cdot L \cdot \tau_{ec}^p \quad (5)$$

$K_{yuj}$  – середня частка протяжності ( $j=1$ ), кривих ділянок шляху ( $j=2$ ) і стрілок ( $j=3$ ) в загальній довжині залізничних колій.

Ефективна частота процесу навантаження, враховуючи частки кожного рівня частоти  $f_i$  на кожній швидкості руху:

$$f_e = \sum f_i \cdot P_{vi} \quad (6)$$

$L$  – середньодобовий пробіг рухомого складу, км/год.;  
 $V$  – розрахункова середня технічна швидкість руху, м/с;

$P_{vi}$  – частка руху локомотиву з  $i$ -ю швидкістю;

$P_{oi}$  – ймовірність появи амплітуди напруження  $i$ -го рівня.

Розрахувавши коефіцієнт запасу опору втоми  $\bar{n}_\sigma$  і прийняв його за середнє значення, визначимо величину  $n_\sigma$  із заданою ймовірністю (надійністю).

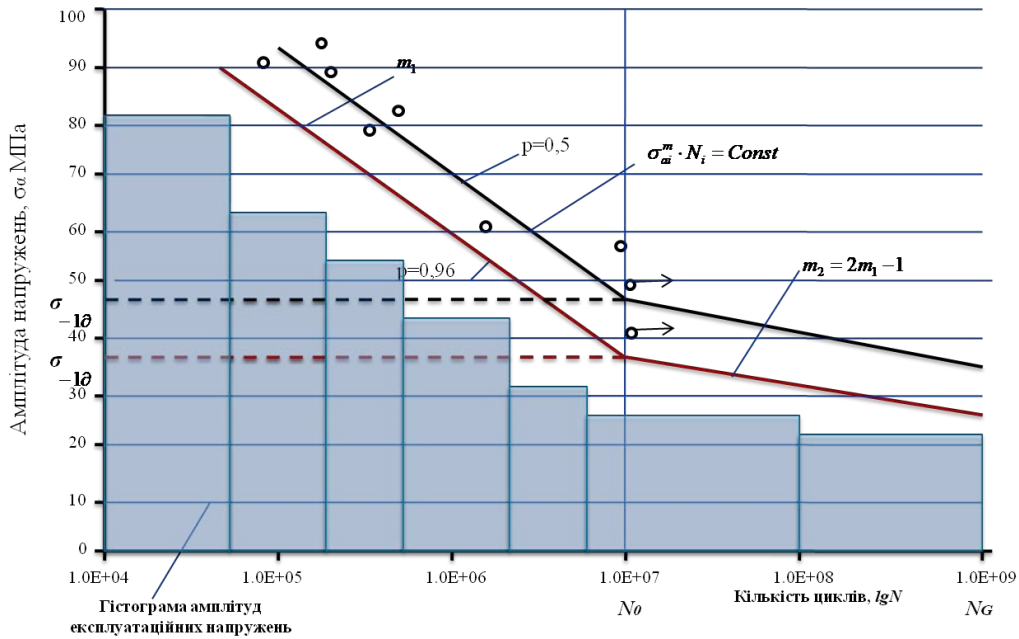
При збільшенні  $N_\Sigma$  підвищується рівень  $\sigma_{ae}$ , що призводить до зменшення коефіцієнта запасу  $n_\sigma$  (рис. 3).

Визначаємо відповідний запас за довговічністю  $n_N$  за залежністю  $n_N = f(n_\sigma)$  (рис. 4), допустиме число циклів навантаження деталі (ресурс за числом циклів):

$$[N] = \frac{N_p}{n_N} \quad (7)$$

Визначаємо строк безпечної експлуатації рухомого складу. При річному пробігу  $L_1 = L \cdot 365$ , і відповідній кількості циклів  $N_1 = 10^3 \cdot f / V$  знаходимо:

$$[\tau_e] = \frac{[N]}{N_1} \text{ років.} \quad (8)$$



Характеристика навантаженості деталі:  
 $m_1, m_2$  – показники кута нахилу кривої в томи;  $N_0, N_G$  – бази випробувань;  
 $\sigma_{l-\delta}$  – межі витривалості деталі при ймовірності неруйнування  
 $P=0,5$  і  $P=0,96$  відповідно

Рис. 2. Крива втоми

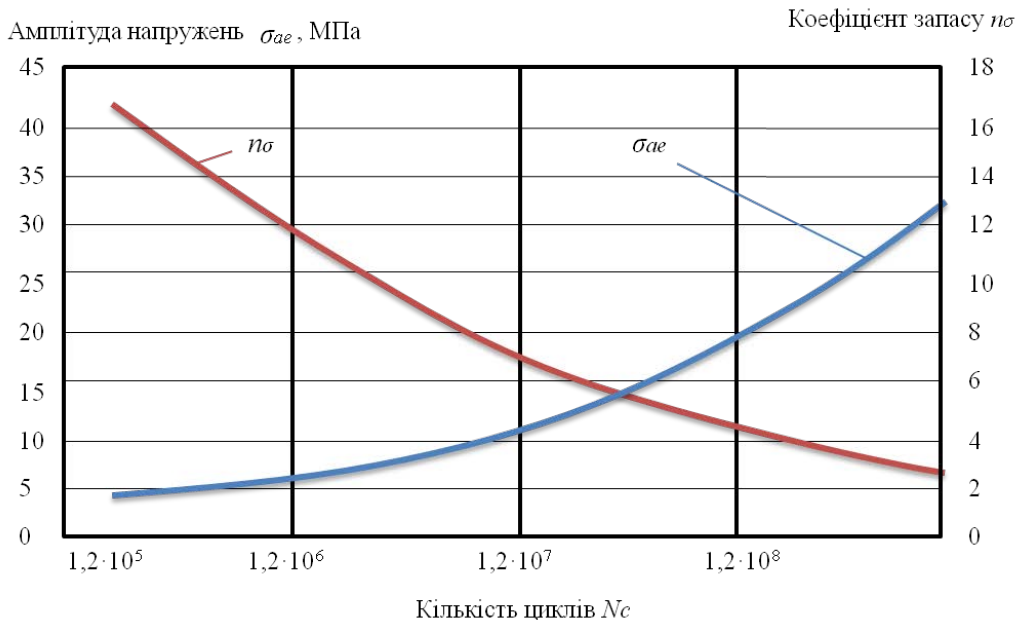
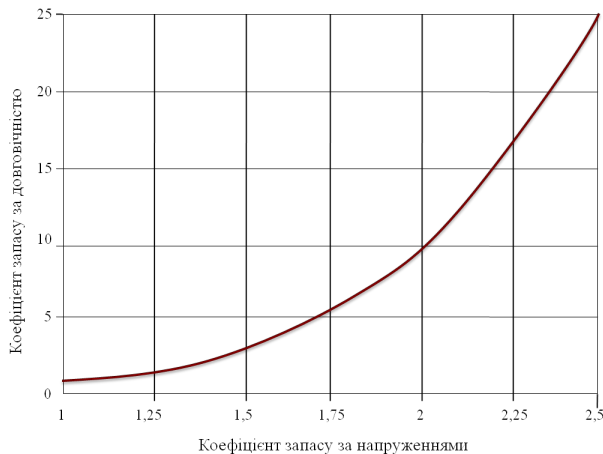


Рис. 3. Залежність між коефіцієнтом запасу опору втоми та величиною еквівалентних динамічних напружень

Пропоновані методи можуть використовуватися для розрахунку ресурсу деталей на стадії проектування та в процесі експлуатації з метою

оцінки залишкового ресурсу та встановлення продовженого терміну служби. Важливим фактором накопичення пошкоджень у конструкціях вантаж-



**Рис. 4. Залежність між коефіцієнтами запасу за напруженнями та довговічністю**

них вагонів є ударні навантаження, тому у вагонобудуванні для визначення терміну служби ( $T_k$ ) застосовується формула:

$$T_k = \frac{\left(\frac{\sigma_{aN}}{[n]}\right)^{m_i} \cdot N_0}{N_{c1} \sum_j (\sigma_{aj})^{m_j} \cdot P_{cj} + N_{c2} \sum_i (\sigma_{ai})^{m_i} \cdot P_{ci}} \quad (9)$$

де  $N_{c1}$  – кількість циклів амплітуд динамічних напружень ( $\sigma_{aj}$ ) в елементах, що досліджуються, конструкції вагону, наведених до еквівалентного

симетричного циклу виходячи з ушкоджуючої дії нормативного розподілу поздовжніх сил за один рік експлуатації;

$N_{c2}$  – кількість циклів амплітуд напружень ( $\sigma_{ai}$ ) від динамічних впливів при русі вагону за один рік експлуатації;

$\sigma_{aN}$  – межа витривалості елемента конструкції, що досліджується;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втоми елемента конструкції, що досліджується.

**Висновки.** В роботі запропоновані методи обчислення ресурсу на основі виправленої лінійної гіпотези про накопичення пошкоджень у матеріалі:

- відповідно до допустимої ймовірності руйнування за допомогою вторинної кривої втоми з горизонтальною або похилою правою гілкою, враховуючи дисперсію параметрів навантаження та характеристики опору втоми матеріалу;

- на основі аналітичного вирішення рівняння кривої втоми, представленого двома похилими гілками, що характеризують накопичення пошкодження на різних ділянках навантажувальних деталей. Запропоновано визначення та облік у розрахунках ресурсу кількості циклів пошкодження операційних напружень відповідно до їх частки у фактичних реалізаціях процесів.

#### Список літератури:

1. Візник Р. І., Чепурченко І. В., Яценко А. О. Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016. Вип. 159. С. 91–97.
2. Дьомін, Р. Ю. Розвиток методів і засобів досліджень з убезпечення технічної експлуатації залізничного рухомого складу: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. Сєверодонецьк, 2018. 40 с.
3. Кебал Ю. В., Шатов В. А., Тьокотев О. М., Мурашова Н. Г. (2017). Удосконалення конструкції вагона-хопера для перевезення зерна. Збірник наукових праць ДЕГУТ. Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 30. С. 113–122.
4. Кельріх М. Б., Федосов-Ніконов Д. В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля. 2016. № 1 (225). С. 90–94.
5. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В. Визначення навантаженості рами напіввагона із замкненою конструкцією хребтової балки. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2021. № 2 (21). С. 12–19.
6. Ловська А. О., Фомін О. В., Рибін А. В., Лебідь Г. О. Визначення динамічної навантаженості напіввагона з замкненою хребтовою балкою, заповненою наповнювачем. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32 (71). № 4, 2021. С. 255–259.
7. Сучасні технології в науці та освіті. Колективна монографія / під. ред. О. Б. Целіщева, Г. О. Татарченко, Г. М. Хорошун. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. – 320 с. doi: [https://doi.org/10.33216/MonographSNU\(978-617-11-0211-8\)-2021-320](https://doi.org/10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320)
8. Федосов-Ніконов Д.В. Покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Київ, 2018. 23 с.
9. Фомін О. В., Ловська А. О. Визначення вертикальних прискорень несучої конструкції вагона-платформи з в'язкими зв'язками у поздовжніх балках. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021, Том 32 (71). № 1, Частина 2, С. 135–140.

10. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження динамічної навантаженості та міцності рами напіввагона з замкненою конструкцією хребтової балки. III International Scientific and Practical Conference: SCIENCE, EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND MODERN ASPECTS. (Tallinn, June 25-26). Tallinn, 2021. P. 255–257.
11. Hecht Markus. Innovative rail freight wagons - A precondition to increase the market-share of rail freight / Markus Hecht // Archives of Transport. – 2015. – Vol. 29 (1). – Pp. 17–26.
12. Płaczek M., Wróbel A., Buchacz A. (2016). A concept of technology for freight wagons modernization. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 161. doi:10.1088/1757-899X/161/1/012107.
13. Wiesław Krasoń, Tadeusz Niezgoda, Michał Stankiewicz. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 615–624.

### **Fomin O.V., Baranov I.O., Miroshnykova M.V. ENSURING SAFE OPERATION OF RAILWAY ROLLING STOCK BASED ON ASSESSMENT OF THE RESOURCE OF ITS BASIC PARTS**

*The work presents the method of calculating the resource based on the corrected linear hypothesis about the accumulation of damage in the material. an actual scientifically substantiated issue of determining the designated service life of locomotives and wagons, as well as the need to determine the service life on the basis of the estimated and experimentally confirmed resource of safe operation of the object became obvious. Under static loading, the study of the stress-strain state (STS) can be carried out by calculation methods, usually the finite element method, which has sufficient accuracy for engineering practice. The assessment of the VAT characteristics of structural elements is performed on the basis of a set of available data on the physical and mechanical properties of materials, structural features, loads and effects on the object. A calculated estimate of the resource of the basic parts of the rolling stock of railways was made. The main criteria for substantiating the strength and resource of the design of locomotives and wagons are defined. A system of calculation criteria is proposed, which reflects the variety of mechanisms of degradation of the properties of the construction material during the manufacturing and operation process, which is used to obtain a calculation estimate of the performance and resource of the design of the basic parts of the rolling stock.*

*A system of calculation criteria is taken into account to obtain an estimate of the workability and resource of the structure, which reflects the variety of mechanisms of degradation of the properties of the structure material in the process of manufacture and operation: strength, stability, durability, growth of fatigue cracks. As the initial resource of the structure is used up, measures to extend it are possible. The fatigue curve of parts is built, which characterizes the accumulation of fatigue damage in the material of parts subject to loads. It is proposed to determine and take into account in resource calculations the number of damage cycles of operational stresses in accordance with their share in the actual implementation of processes. The relationship between the fatigue resistance reserve factor and the value of the equivalent dynamic stresses and the relationship between the stress reserve factor and durability are highlighted.*

**Key words:** rolling stock, operation, resource, traffic safety, resource management, dynamic stresses, durability.