

ФОНД ДЕРЖАВНОГО МАЙНА УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ВАГОНОБУДУВАННЯ»

Водянніков Ю.Я., Сулим А.О., Хозя П.О., Столетов С.О., Мельник О.О.,  
Лашкевич І.М.

**ПАСАЖИРСЬКІ ВАГОНИ**  
**ДІАГНОСТУВАННЯ. ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС. НАДІЙНІСТЬ**

(Монографія)

Кременчук 2023

УДК 629.45

*Рекомендовано до друку Науково-технічною радою  
Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
(протокол № 2 від 28.12.2022 р.)*

**Водянніков Ю.Я.**

**ПАСАЖИРСЬКІ ВАГОНИ. ДІАГНОСТУВАННЯ. ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС. НАДІЙНІСТЬ:**  
монографія / Ю.Я. Водянніков, А.О. Сулим, П.О. Хозя, С.О. Столетов, О.О. Мельник,  
І.М. Лашкевич. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2023. 69 с.

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. Сапронова С.Ю.  
д-р техн. наук, доц. Ловська А.О.

ISBN 978-966-97716-9-8

Наведено основні положення і розрахункові залежності для визначення показників надійності пасажирських вагонів. Стверджується, що звичайний спосіб проектування, заснований на застосуванні таких довільних коефіцієнтів, як коефіцієнт безпеки та запасу міцності, не дозволяє робити висновки про імовірність відмови елемента. Тому поширена думка про те, що відмова елемента можна повністю виключити, використовуючи коефіцієнт запасу міцності, що перевищує деяке певне значення, не є достатньо обґрунтованою. Показано, що основною проблемою діагностування пасажирських вагонів з метою продовження строку служби понад нормативний є відсутність достатньо обґрунтованих критеріїв. Запропоновано для продовження строку експлуатації, крім загальноприйнятих методів оцінки міцносних властивостей щодо граничного стану, використовувати показники надійності. Пропонована методологія дозволяє здійснити диференційовану оцінку залишкового ресурсу кожного вагона з використанням результатів ресурсних випробувань і фактичних геометричних параметрів несних елементів. Монографія призначена для інженерно-технічних працівників, пов'язаних з діагностуванням, оцінкою залишкового ресурсу і надійності пасажирських вагонів.

Авторська участь у написанні монографії: Водянніков Ю.Я. - передмова, розділи 1, 2, 3, висновки, додатки; Сулим А.О. - розділи 1, 2, висновки; Хозя П.О. - розділ 2, висновки; Столетов С.О. - розділ 2, висновки; Мельник О.О. - розділ 3, висновки; Лашкевич І.М. - розділ 2, редагування тексту.

**УДК 629.45**

© Водянніков Ю.Я., Сулим А.О., Хозя П.О., Столетов С.О., Мельник О.О., Лашкевич І.М.  
© ДП «УкрНДІВ», 2023

ISBN 978-966-97716-9-8

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>4</b>
<b>1 МЕТОДОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ.....</b>	<b>4</b>
1.1 Методика збору і обробки інформації про технічний стан.....	6
1.2 Порядок проведення обстеження технічного стану.....	7
1.3 Порядок визначення величини корозійного зносу.....	8
1.4 Порядок визначення залишкового ресурсу за результатами контрольних випробувань.....	11
<b>2. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Оцінка залишкового ресурсу за результатами вимірювання товщини стінок несних елементів конструкції.....	15
2.2 Побудова залежності корозійної стійкості матеріалу елементів вагона від строку експлуатації.....	17
2.3 Оцінка залишкового ресурсу за результатами вібраційних випробувань на втому.....	20
2.4 Оцінка залишкового ресурсу за результатами вертикальних та ударних поздовжніх навантажень.....	21
<b>3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ.....</b>	<b>22</b>
3.1 Ознаки відмов і характеристики граничних станів.....	31
3.2 Оцінка показників надійності елементів вагона методами математичної статистики.....	32
3.3 Оцінка показників надійності для електротехнічних систем.....	33
3.4 Оцінка показників надійності для конструктивних елементів.....	34
3.5 Показники ремонтпридатності.....	36
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>49</b>
<i>Додаток А. Критичні точки розподілу Стьюдента (t-критерію).....</i>	<i>51</i>
<i>Додаток Б. Критичні точки розподілу Пірсона.....</i>	<i>53</i>
<i>Додаток В. Імовірність і математична статистика.....</i>	<i>55</i>
<i>Додаток Г. Критичні точки розподілу Фішера і Колмогорова-Смирнова.....</i>	<i>67</i>

## ПЕРЕДМОВА

Пасажирські вагони посідають особливе місце у вагонному парку рухомого складу, яке обумовлюється перевезенням людей на великі відстані, тому питання безпеки і комфорту для них займають пріоритетне місце. Особливої актуальності зараз набувають питання надійності, які обумовлені прийняттям курсу на продовження призначеного строку служби пасажирських вагонів.

Звичайний спосіб проектування, заснований на застосуванні таких довільних коефіцієнтів, як коефіцієнт безпеки та запас міцності, не дозволяє судити про ймовірність відмови елемента. Тому поширена думка про те, що відмову елемента можна повністю виключити, використовуючи коефіцієнт запасу міцності, що перевищує деяке певне значення, не є достатньо обґрунтованою. Насправді, за одного і того ж коефіцієнта запасу міцності ймовірність відмови може коливатися в досить широких межах (прикладом може служити бокова рама візка вагона). Крім того, конструктивні параметри часто є випадковими величинами, що повністю ігнорується при звичайних методах проектування. У зв'язку з цим, звичайний детерміністський підхід до проектування не є задовільним з точки зору надійності, тому потрібна інша методика проектування, яка враховувала б імовірнісний характер як міцносних властивостей, так і конструктивних параметрів технічного виробу.

Останнім часом інженери та конструктори все частіше застосовують розрахункові методи різних дисциплін для розробки технічних виробів. Зокрема, імовірнісні розрахунки на міцність отримали розвиток при проектуванні авіаційної і космічної техніки, а тепер поширюються і на інші виробу.

Застосування під час проектування пасажирських вагонів завищених значень коефіцієнтів запасу міцності створює передумови для продовження строку їх служби понад установлений нормативно-технічною документацією на вагон. Обґрунтування продовження строку служби здійснюється за результатами технічного діагностування.

## 1 МЕТОДОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Визначення деяких термінів, які використовуються далі:

**Ресурс** – сумарне напрацювання вагона від початку його експлуатації, чи поновлення після ремонту, до переходу в граничний стан.

**Залишковий ресурс** – сумарне напрацювання вагона від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан.

**Технічне діагностування** – комплекс робіт, який включає обстеження технічного стану їх металоконструкцій та проведення контрольних випробувань кузовів вагонів, рам і надресорних балок візків і дозволяє зробити обґрунтування продовження строку експлуатації цих вагонів після виконання рекомендованого об'єму ремонтних робіт.

**Контроль технічного стану** – перевірка відповідності значень параметрів вагона вимогам технічної документації і визначення на цій підставі технічного стану об'єкта у певний момент часу.

**Контрольні випробування** – комплексні дослідження міцності зразка кузова вагона конкретного типу, зразків рам і надресорних балок його візків з метою оцінки їх залишкового ресурсу. При цьому в обсяг контрольних випробувань включаються такі їх види: стендові вібраційні на втому, статичні, скидання з клинів, динаміко-міцнісні, ударні ресурсні.

**Капітально-відновлювальний ремонт (КВР)** – вид ремонту, що виконується для продовження строку служби вагона з відновленням несних конструкцій і візків, а також – іншого обладнання згідно з Технічними умовами.

**Призначений строк служби** – календарна тривалість експлуатації, під час досягнення якої експлуатацію вагона належить припинити незалежно від його технічного стану.

Метою технічного діагностування є визначення можливості продовження строку експлуатації вагонів та найповніше використання ресурсу несних елементів пасажирських вагонів (кузов, рама, візки), які є базовими при безумовному забезпеченні безпеки руху.

Основним критерієм можливості продовження строку служби пасажирських вагонів є наявність у них залишкового ресурсу або можливості відновлення ресурсу. Відновлення ресурсу, необхідного для продовження строку служби понад установлений заводом-виробником, проводиться при виконанні капітально-відновлювального ремонту (КВР) на основі результатів технічного діагностування, в обсязі робіт, який забезпечує безпечну експлуатацію вагона протягом усього призначеного понаднормативного строку служби.

Залишковий ресурс оцінюється шляхом проведення технічного діагностування, що полягає в обстеженні організацією-виконавцем технічного стану базових елементів кузова і візків кожного пред'явленого до продовження строку служби пасажирського вагона.

Не продовжують строк служби змінних вузлів та деталей пасажирських вагонів (колісні пари, буксові вузли, автозчепне, гальмівне і внутрішнє обладнання), які проходять контроль технічного стану, технічне обслуговування (ТО) та ремонт в установленому порядку згідно з системою планово-попереджувального ремонту (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Система планово-попереджувального ремонту рухомого складу залізниць [1]

Принципова відмінність ТО від ремонту полягає в тому, що в процесі технічного обслуговування, зазвичай, не відновлюють технічний ресурс об'єкта (вагона), а виконують ряд робіт, регламентованих технічною документацією: перевірку технічного стану, мастила, кріплення деталей, регулювання і т.д.

Під час технічного діагностування пасажирських вагонів обов'язково визначають величини корозійного зносу і залишкового ресурсу основних несних елементів пасажирського вагона (*несні елементи кузова*: бокова і торцева стіни, дах; *рами кузова*: балка хребтова, шворнева, кінцева, бокова, поперечні, вузол з'єднання хребтової і шворневої балок; *візка*: рама і надресорна балка).

Технічне діагностування обумовлює необхідність проведення низки досліджень (рис. 1.2), найважливішою складовою частиною яких є обстеження технічного стану вагонів в експлуатації, а також обґрунтування можливості продовження строку служби вагона шляхом проведення ресурсних втомних випробувань конструкції вагона [2, 3, 4].

Для вирішення такого завдання потрібно розробити методику, яка включає збір і первинну обробку інформації про технічний стан вагонів, обробку та аналіз отриманої інформації, дослідження залежності корозійної стійкості матеріалу від часу експлуатації, визначення показників надійності, оцінку залишкового ресурсу конструкції вагона.

## 1.1 Методика збору і обробки інформації про технічний стан

1. Методика збору і обробки інформації про технічний стан включає [2, 3-16]:
- підготовку до збору інформації про технічний стан;
  - обстеження технічного стану вагонів та їхніх візків;
  - обробку отриманої інформації.



Рисунок 1.2 – Технічне діагностування

Для виявлення потенційно можливих місць виникнення пошкоджень проводиться підготовка до збирання інформації про технічний стан вагонів шляхом вивчення технічної документації, за результатами якої розробляється схема розташування і характер передбачуваних ушкоджень вагонів, а також карти обстеження.

Під час обстеження та подальшого аналізу технічного стану конструктивна схема вагона розбивається на три основні структурні системи:

- несні елементи кузова;
- рама кузова;
- візки.

У свою чергу кожна система ділиться на окремі вузли і деталі (надалі - елементи).

У процесі обстеження фіксують усі види виявлених несправностей або пошкоджень.

Під час дослідження як критерії відмови або граничного стану використовують технічний стан елементів вагонів у експлуатації, за якого заборонені постановка і проходження вагонів у поїздах, у тому числі в поїздах із порожніх вагонів.

Нероботоздатний стан вагонів характеризується наявністю хоча б однієї з несправностей, які загрожують безпеці руху та не забезпечують роботоздатність систем життєзабезпечення пасажирів або порушують габаритні обриси вагона.

Для підвищення достовірності первинної інформації, технічному діагностуванню піддають тільки ті вагони, паспортні відомості про які є однозначними (номер і дата виготовлення, відомості про останні види ремонту тощо).

Під час технічного діагностування враховують основні види відмов і відповідні їм моделі, наведені на рис. 1.3.

У разі виникнення в одній конструктивній зоні елемента різних за фізичною природою ушкоджень, ці пошкодження враховують як окремі.

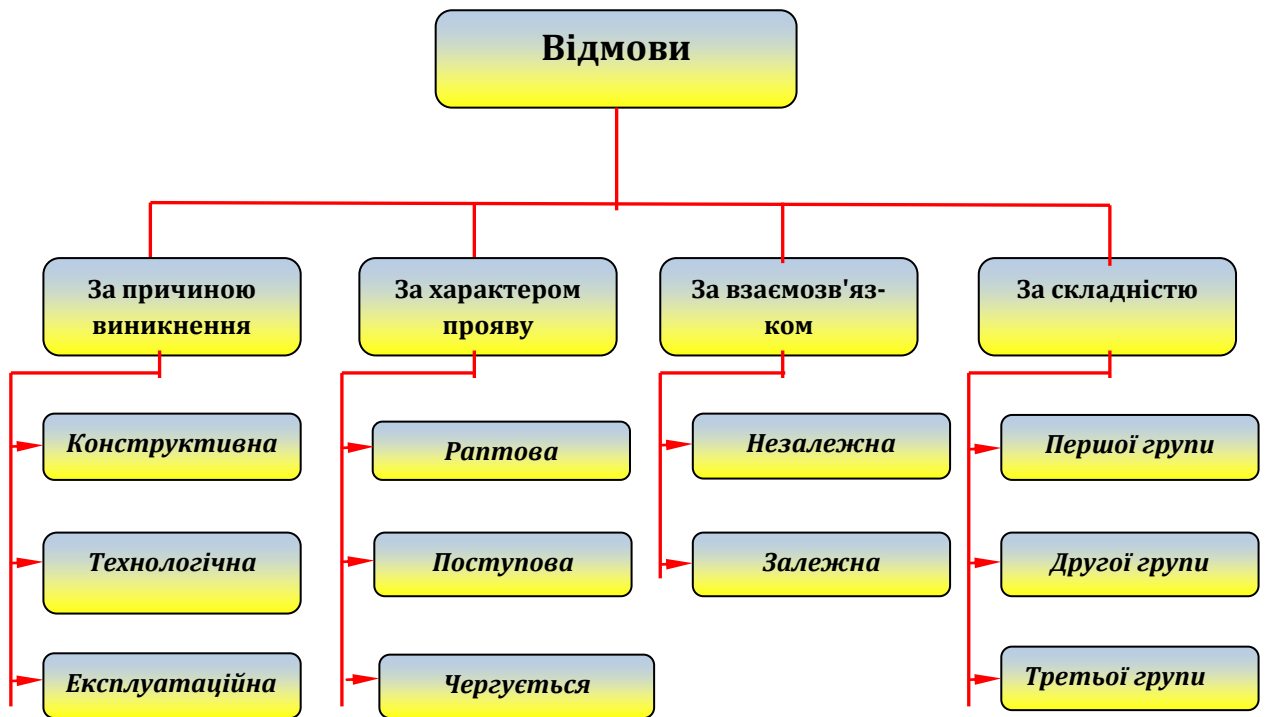


Рисунок 1.3 - Види відмов і відповідні їм моделі

## 1.2 Порядок проведення обстеження технічного стану

Завданням обстеження технічного стану вагонів є виявлення пошкоджень і несправностей їх металоконструкцій, а також визначення фактичних товщин основних несних елементів кузовів вагонів, рам і надресорних балок візків.

Обстеження технічного стану металоконструкцій кожного вагона проводиться в три етапи [2]:

- обстеження технічного стану металоконструкцій вагона візуально-оптичним методом з метою визначення місць механічних пошкоджень та деформацій, їх характеру та геометричних параметрів;
- виявлення дефектів в елементах металоконструкцій вагона, які неможливо виявити візуально-оптичним методом, іншими методами неруйнівного контролю;
- визначення ступеня корозійного пошкодження основних несних елементів металоконструкцій вагона.

Під час обстеження технічного стану основних несних елементів та вузлів металоконструкції кузова вагона, рам і надресорних балок візків, підлягають виявленню наступні імовірні пошкодження і несправності:

- деформації, злами, прогини, обриви, пробоїни елементів;
- ослаблення кріплення, відсутність вузлів та деталей;
- тріщини елементів та зварних швів;
- пошкодження елементів корозійного характеру.

Тріщини, злами, вигини, вм'ятини, зазори виявляють візуально-оптичним методом з подальшим обміром. Ослаблення кріплення – обстукуванням. Стан зварних швів визначають візуально та (або) за допомогою випробувального обладнання. Корозію – шляхом вимірювання товщини елементів. Виявлення механічних пошкоджень та дефектів в елементах металоконструкцій вагонів проводиться за допомогою оптичних систем, які дозволяють точніше визначити наявність та місце знаходження дефекту. Під час обстеження технічного стану кузовів вагонів та візків використовують товщиноміри ультразвукові, дефектоскопи, лінійки металеві, рулетки, штангенциркулі тощо. За умов забруднення обстежуваних елементів місця несправностей зачищають за допомогою скребоків або шабера.

Застосовувані засоби вимірювання та випробувальне обладнання мають бути в технічно справному стані, калібровані (повірені) і атестовані в порядку, встановленому національним законодавством.

Під час проведення обстеження елементів металоконструкцій вагонів візуально-оптичним методом нерідко виникають випадки, коли внаслідок значного корозійного пошкодження поверхні контролю, або наявності на такій поверхні раковин та інших поверхневих дефектів, підрізів від зварювальних робіт, зробити однозначний висновок про наявність в даній зоні тріщини неможливо. У такому випадку повинні використовуватись інші методи неруйнівного контролю. Найбільш достовірними методами для встановлення наявності на поверхнях контролю тріщини є магнітопорошковий та капілярний.

Магнітопорошковий метод контролю виконується способом прикладеного поля. При цьому контролі операції намагнічування деталі і нанесення суспензії виконують одночасно. Індикаторні рисунки дефектів (тріщин), що виявляються, утворюються в процесі намагнічування. За результатами огляду індикаторних рисунків фахівець, що проводить контроль, робить висновок про наявність або відсутність тріщин в обстежуваній зоні, оцінює їхній характер та геометричні параметри.

Капілярний метод контролю виконується для виявлення поверхневих тріщин різноманітного походження, які мають вихід на поверхню об'єкту контролю.

Капілярний метод контролю виконується способом нанесення спеціального пенетранту та проявника на підготовлену поверхню контролю, після чого поверхня оглядається. За результатами огляду поверхні з нанесеним пенетрантом та проявником фахівець, що проводить контроль, робить висновок про наявність або відсутність тріщин в обстежуваній зоні, оцінює їх характер та геометричні параметри.

Усі виявлені візуально-оптичним, магнітопорошковим, капілярним методами пошкодження та їхні геометричні характеристики вносять у карти технічного стану вагонів (табл. 1.1). При цьому, виходячи з накопиченого досвіду технічного діагностування вагонів, а також – теоретичних досліджень міцності їхніх кузовів та візків, необхідно приділяти особливу увагу зонам виникнення тріщин та несправностей, які наведено у табл.1.1.

### 1.3 Порядок визначення величини корозійного зносу

Визначення ступеня корозійного пошкодження основних несних елементів металоконструкцій вагонів здійснюється за результатами вимірювання фактичних товщин елементів. Вимірювання фактичної товщини елементів проводиться ультразвуковими товщиномірами.

Процес вимірювання товщини елементів кузова та візка пасажирського вагона фахівцями ДП «УкрНДІВ», зображено на рис. 1.4.

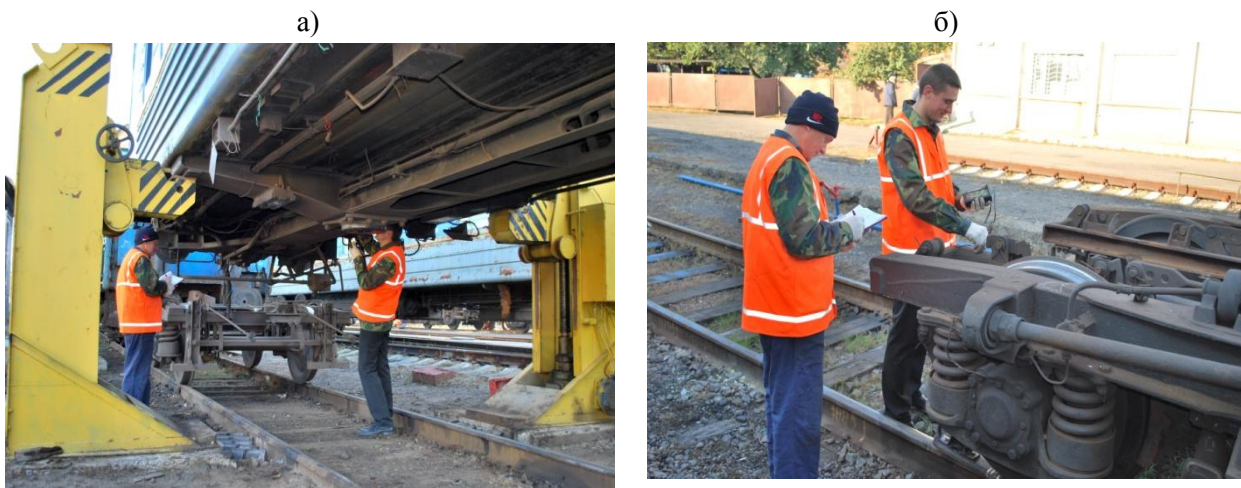


Рисунок 1.4 - Вимірювання залишкової товщини кузова (а) та візка (б) пасажирського вагона

Схема можливого розташування місць вимірювання величини корозійного зносу наведена на рис. 1.5.



Таблиця 1.1. Карта технічного стану пасажирського вагона

Місце і дата огляду				Кузов								Візки											
№ з/ч	Номер вагона	Дата виготовлення вагона	Номери візків	Тріщина, корозія хребтової балки	Тріщина, корозія кінцевої балки	Корозія, тріщини поперечних балок і вузлів їх з'єднання	Тріщина, знос ударної розетки	Неприпустимий прогин хребтової балки	Ослаблення кріплення п'ятників	Неприпустимий прогин шворневих балок	Корозія, вм'ятини обшиви бокової стіни	Неприпустимий прогин поперечних балок	Ослаблення кріплення гальмівного циліндра	Наявність неприпустимих дефектів у зварних швах	Тріщини, корозія обшиви даху	Тріщина, корозія надресорної балки	Тріщини кронштейна гасників коливань	Неприпустимий прогин поздовжніх і поперечних балок	Тріщини, корозія поздовжніх балок	Тріщини, корозія поперечних балок	Тріщини запобіжних скоб і болтів	Наявність неприпустимих дефектів у зварних швах	
Опис інших несправностей (2. за наявності)				1. ----- 2. ----- -----											1. ----- 2. ----- -----								

Можливі несправності кузова вагона:

- 1 Тріщина, корозія хребтової балки;
- 2 Тріщина, корозія кінцевої балки;
- 3 Корозія, тріщини поперечних балок і вузлів їх з'єднання;
- 4 Тріщина, знос ударної розетки;
- 5 Неприпустимий прогин хребтової балки;
- 6 Ослаблення кріплення п'ятників;
- 7 Неприпустимий прогин шворневих балок;
- 8 Корозія, вм'ятини обшиви бокової стіни;
- 9 Неприпустимий прогин поперечних балок;
- 10 Ослаблення кріплення гальмівного циліндра;
- 11 Наявність неприпустимих дефектів у зварних швах;
- 12 Тріщини, корозія обшиви даху;
- 13 Інші.

Можливі несправності візка вагона:

- 1 Тріщина, корозія надресорної балки;
- 2 Тріщини кронштейна гасників коливань;
- 3 Неприпустимий прогин поздовжніх і поперечних балок;
- 4 Тріщини, корозія поздовжніх балок;
- 5 Тріщини, корозія поперечних балок;
- 6 Тріщини запобіжних скоб і болтів;
- 7 Наявність неприпустимих дефектів у зварних швах;
- 8 Інші.

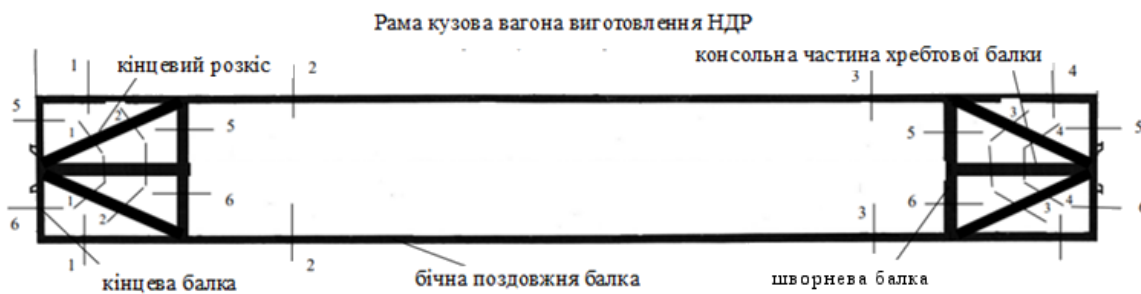
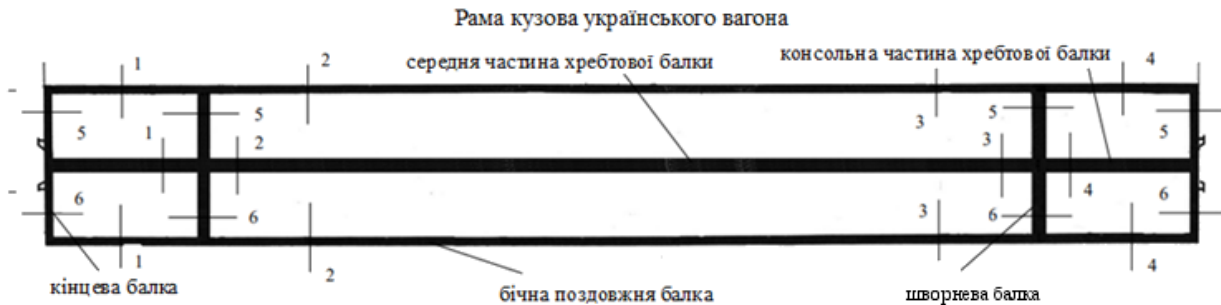
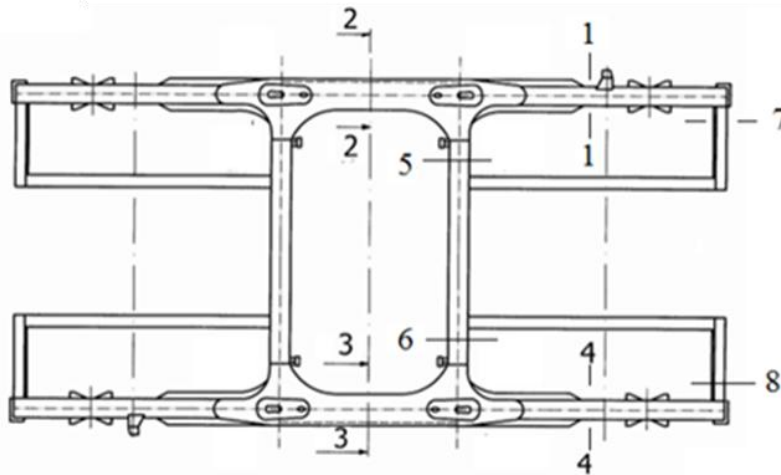


Схема розташування місць вимірювання товщини елементів пасажирського візка

а) рама візка



б) надресорна балка

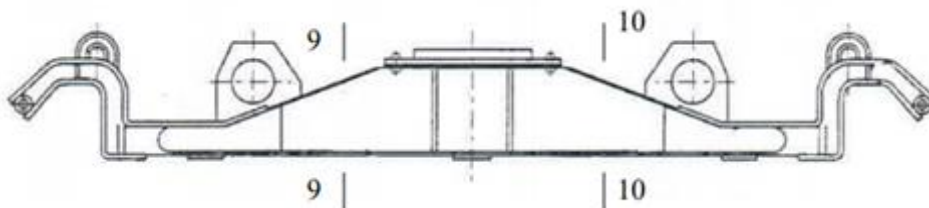


Рисунок 1.5 - Схема розташування місць вимірювань товщини

У місцях вимірювань поверхню досліджуваних деталей зачищають від забруднення, мастила, старого лакофарбового покриття, іржі, окалини, наплавок металу до металевого блиску. У місці встановлення акустичного перетворювача ультразвукового товщиноміра на поверхню елемента

металоконструкції повинен бути нанесений шар контактної мастила. Для визначення товщини елементів слід застосовувати ультразвукові товщиноміри з похибкою вимірювання  $\pm 0,1$  мм, у комплекті з перетворювачами, що забезпечують необхідні межі вимірювання. Результати вимірювань заносять у карту товщинометрії (табл. 1.2, 1.3).

Виходячи з накопиченого досвіду визначення величини корозійного зносу пасажирських вагонів найбільш схильними до корозії є наступні елементи конструкції:

- бічні поздовжні балки рами у зонах туалетів;
- обшива підлоги у зонах туалетних, службових і котельних приміщень і у тамбурах;
- нижній пояс бокової стіни;
- вертикальні стінки шворневих балок і кінцеві частини рами візка з туалетного боку.

#### **1.4 Порядок визначення залишкового ресурсу за результатами контрольних випробувань**

Контрольні випробування включають проведення стендових вібраційних випробувань на втому, статичних, скиданням з клинів, динаміко-міцнісних, ударних ресурсних випробувань.

Завданням стендових вібраційних випробувань на втому є експериментальна оцінка втомної міцності деталей та вузлів пасажирського вагона. Контрольні точки для визначення динамічних напружень обираються у найбільш навантажених зонах металоконструкцій деталей та вузлів, які установлюються експертно на базі попередніх теоретичних розрахунків, результатів раніше виконаних експериментальних досліджень, накопиченого досвіду обстеження вагонів.

Під час проведення стендових вібраційних випробувань на втому деталей та вузлів пасажирського вагона визначають та контролюють: кількість циклів навантаження до появи макротріщин довжиною від 10 мм до 50 мм, які виявляються візуально, а також кількість циклів до повного руйнування; характер розвитку втомних тріщин в процесі випробувань і вид втомного руйнування.

Для виконання вібраційних випробувань на втому використовують спеціалізоване випробувальне обладнання у вигляді стендів, гідропульсаторних машин тощо.

Під час проведення контрольних вібраційних випробувань на втому рам та надресорних балок візків пасажирських вагонів можливо використовувати спеціалізований випробувальний стенд типу 2CO (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 - Зовнішній вигляд стенду типу 2CO

Періодичність реєстрації показників встановлюється в процесі проведення стендових вібраційних випробувань з урахуванням режимів випробувань та типу випробовуваних деталей.

Таблиця 1.2. Карта вимірювання товщини елементів кузова пасажирського вагона

Елементи конструкції	Балки рами																																			
	хребтова				поздовжня				кінцева				шворнева				кінцевий розкіс																			
	вертикальні стінки		полиці		вертикальні стінки		полиці		вертикальні стінки		полиці		вертикальні стінки		полиці		вертикальні стінки		полиці																	
перетину	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4
№ вагона																																				

Таблиця 1.3. Карта вимірювання товщини елементів візка пасажирського вагона

Елементи конструкції	Балки рами														Надресорна балка																						
	поперечна				поздовжня								кінцева				листи																				
	стінки		полиці		стінки		полиці		верхній лист		нижній лист		стінки		полиці		нижній		верхній		вертикальний																
перетину	5	6	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	2	3	2	3	7	8	7	8	9	10	9	10	9	10											
№ візка																																					

Основним завданням статичних випробувань є дослідження напруженого стану металоконострукції зразка кузова вагона конкретного типу, що вислужив призначений термін, з фактичними товщинами елементів при навантаженні розрахунковими статичними зусиллями, а також встановлення факту втрати його металоконострукцією стійкості від таких навантажень.

Під час проведення статичних випробувань визначаються напруження і деформації, які виникають у контрольних точках несних елементів конструкції кузова при заданих режимах навантаження. Контрольні точки обираються у найбільш навантажених зонах металоконострукції, які встановлюються експертно на базі попередніх теоретичних досліджень, результатів раніше виконаних експериментальних досліджень, накопиченого досвіду обстеження вагонів.

Статичні випробування на міцність пасажирського вагона від дії вертикального навантаження виконуються в такій послідовності:

- підготовка вагона конкретного типу з фактичними (після призначеного строку експлуатації) товщинами елементів до випробувань (підбір тензорезисторів, підготовка місць встановлення тензорезисторів на елементах металоконострукції рухомого складу; наклеювання тензорезисторів; монтаж з'єднувальних кабелів);
- зважування тари вагона;
- реєстрація деформацій (напружень) в обраних місцях елементів металоконострукції вагона в порожньому режимі за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- завантаження до максимальної пасажиромісткості та екіпірування водою і вугіллям;
- зважування екіпірованого вагона;
- реєстрація деформацій (напружень) в обраних місцях елементів металоконострукції вагона в повністю екіпірованому стані за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- огляд металоконострукції вагона.

Завданням ударних ресурсних випробувань є експериментальна перевірка довговічності металоконострукції зразка кузова вагона конкретного типу з фактичними (після призначеного строку експлуатації) товщинами елементів при заданих режимах ударного навантаження, еквівалентних за руйнуючою дією навантаженням вагона експлуатаційними поздовжніми динамічними силами. При цьому допускається довговічність несних елементів конструкції кузова оцінювати за коефіцієнтами запасу опору втомі, що розраховуються на підставі результатів динаміко-міцнісних випробувань відповідно до вимог «Норм для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [17] та РД 24.050.37 [18] або скидання з клинів.

Під час проведення ударних ресурсних випробувань на співудар використовуються:

- стенд гірка із залізничним упором, що обладнаний автозчепним пристроєм;
- вагон-бойок, маса якого повинна бути не меншою ніж маса дослідного вагона;
- автозчеп-динамометр.

При цьому дозволяється замість стенда-гірки використовувати залізничний локомотив, а замість залізничного упору – дослідний зчеп з декількох вагонів, загальна маса яких складає не менше ніж 300 т.

Схему виконання ударних ресурсних випробувань з використанням стенда-гірки та дослідного зчепу як залізничного упора зображено на рис. 1.7.

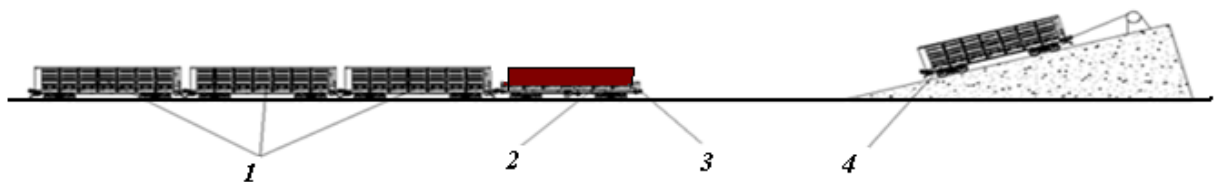


Рисунок 1.7 - Схema ударних ресурсних випробувань:

1 - вагони підпору; 2 – рухомий склад, що випробовують; 3 - тензометричний автозчеп; 4 - вагон-бойок

Схему виконання ударних ресурсних випробувань з використанням локомотива та дослідного зчепу як залізничного упора зображено на рис. 1.8.

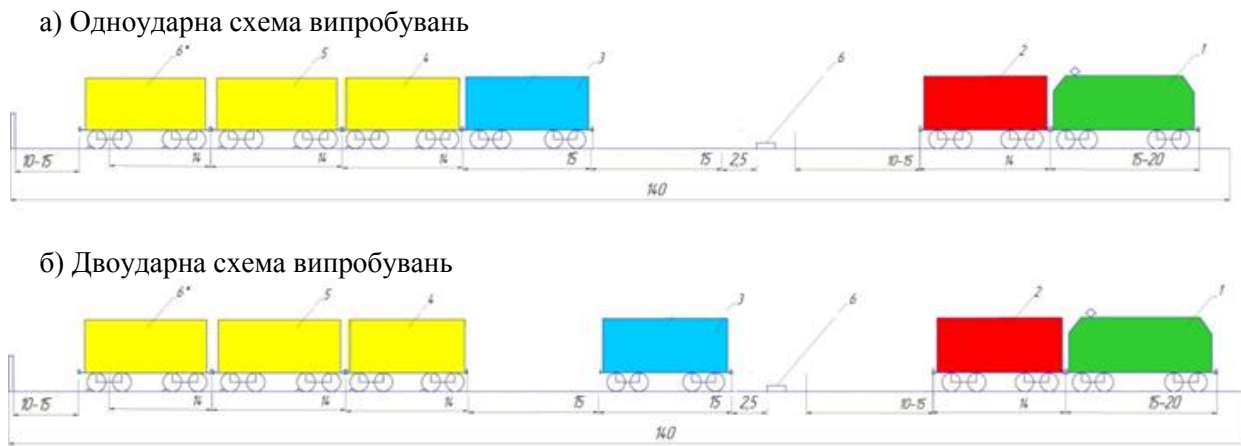


Рисунок 1.8 - Схема ударних ресурсних випробувань:

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний пасажирський вагон; 4,5,6\*– вагони підпору; 6 – пристрій для вимірювання швидкості

Під час проведення ударних ресурсних випробувань на співудар вагона визначаються наступні показники:

- сила удару в автозчеп;
- кількість співударів;
- швидкість набігання вагона-бійка;
- деформації (напруження) в дослідних перерізах несних елементів вагона в точках, обраних за результатами проведення теоретичних досліджень та накопиченого досвіду попередніх випробувань;
- наявність залишкових деформацій, пошкоджень від дії ударних навантажень у контрольованих елементах кузова.

Періодичність реєстрації показників, що визначаються, встановлюється в процесі випробувань з урахуванням режимів випробувань.

Ударні ресурсні випробування на співудар виконуються в такому порядку: екіпірування та завантаження вагона; зважування екіпірованого завантаженого вагона; обладнання вагона спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуєваним статичним навантаженням до 2,5 МН; установлення вагона на дослідну ділянку залізничної колії для випробувань; випробування дослідного вагона на співудар з проведенням вимірювань напружень у його несних елементах, швидкості накочування та силу удару вагона-бійка за допомогою засобів виміральної техніки; огляд стану конструкції вагона після кожних 10 ударів.

Під час динаміко-міцнісних випробувань визначаються й оцінюються динамічні напруження в основних несних елементах конструкції кузова, що виникають під час руху вагонів з різними швидкостями, аж до конструкційної, на характерних ділянках залізничної колії відповідної конструкції і поточного стану. Під час проведення динаміко-міцнісних випробувань, відповідно до вимог [18], визначаються наступні показники:

- власна частота основних вертикальних вигинних коливань кузова;
- коефіцієнт запасу опору втомі основних несних елементів кузова.

Під час проведення динаміко-міцнісних випробувань, як правило, використовують вагон-лабораторію, підсилювачі сигналу, аналого-цифровий перетворювач, тензорезистори. Динаміко-міцнісні випробування проводять у екіпірованому та завантаженому вагоні у такому порядку: підготовка вагона до випробувань шляхом підбору тензорезисторів; розмічання, зачищення місць та наклеювання тензорезисторів на вагон; збирання вимірального комплексу у вагоні-лабораторії для реєстрації та обробки даних випробувань; вимірювання і реєстрація даних досліджуваних процесів у визначених інтервалах проектного діапазону швидкостей руху, аж до конструкційної швидкості включно, на різних ділянках залізничної колії (сумарна реалізація для кожного інтервалу швидкості має становити не менше 300 с); оброблення зареєстрованих даних досліджуваних процесів.

Під час випробувань скиданням з клинів визначаються динамічні напруження в елементах рами та надресорній балці вагона відповідно до розробленої схеми контрольних точок установки тензорезисторів. Під колеса вагона залежно від досліджуваних елементів конструкції встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона з них шляхом його накочування на клин. Розміри кли-

ну стандартизовані і становлять: висота 21 мм, довжина 350 мм, ширина 50 мм. Екіпірований завантажений вагон накочується на клини за допомогою локомотива. Клини встановлюються по черзі: під всі колеса вагона (імітація підскакування); під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування); під всі колеса одного візка (імітація галопування); під колеса одного боку вагона (імітація бічної хитавиці). Під час випробувань скиданням вагона з клинів визначаються величини напружень залежно від виду коливання.

Під час випробувань на співудар, динаміко-міцнісних випробувань та випробувань на скидання з клинів використовують засоби вимірювальної техніки та обчислювальні пристрої, які забезпечують необхідну точність вимірювань та достовірність отриманих результатів випробувань.

Контрольні випробування проводять за спеціальними розробленими, погодженими з відповідними організаціями та затвердженими методиками за встановленими порядками.

Контрольні випробування проводить Орган з оцінки відповідності, який акредитований на незалежність та компетентність у Національному агентстві з акредитації України та, відповідно до галузі акредитації, має право на проведення зазначених видів випробувань.

## 2. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Інформація, зібрана під час обстеження вагонів і відображена у картах обстеження, проходить первинну якісну й наступну кількісну обробку, а також аналізується для визначення причин появи несправностей.

Метою первинної обробки є відсіювання явно невірогідного матеріалу, оцінювання повноти й однорідності інформації, що залишилася, і її ранжирування.

Ранжирування матеріалів обстеження полягає у систематизації первинної інформації у порядку зростання строку експлуатації на момент проведення обстеження (строк експлуатації - різниця між датою проведення обстеження і датою випуску вагона).

Оціночний показник для визначення залишкового ресурсу вибирають виходячи з результатів технічного діагностування вагона. Залишковий ресурс конкретного вагона оцінюють за результатами ресурсних випробувань аналога, а також фактично виміряних товщин несних елементів конструкції.

### 2.1 Оцінка залишкового ресурсу за результатами вимірювання товщини стінок несних елементів конструкції

На підставі інформації, отриманої в процесі технічного діагностування, визначається можливість встановлення нового призначеного строку служби вагонів. Обчислюється фактична швидкість корозії ( $V_{кор}$ , мм/рік) за формулою (2.1) [2]:

$$V_{кор} = \frac{h_{ном} - h_{факт}}{T}, \quad (2.1)$$

де  $h_{ном}$  - номінальна товщина елемента, мм, визначається за результатами вимірювання елемента в місцях, не уражених корозією, або за альбомними розмірами. Альбомні розміри, в запас міцності, беруться з плюсовим допуском;

$h_{факт}$  - фактична товщина елемента конструкції за результатами вимірювання, мм;

$T$  - строк служби вагона до моменту виконання вимірювання, років.

Залишковий строк служби ( $T_{зал}$ , років) визначається за формулою (2.2) [2]:

$$T_{зал} = \frac{h_{ном} - [h_{min}]}{V_{кор}}, \quad (2.2)$$

де  $[h_{min}]$  - мінімально допустима товщина елемента за умовами міцності і стійкості, мм.

Залишковий строк служби встановлюється за одним із мінімальних розрахункових значень, отриманих за формулою (2.2) для розрахунку залишкового строку служби. При цьому, під час розрахунків прийнято, що швидкість корозії основних несних елементів є рівномірною.

Величину залишкового ресурсу у роках можливо визначити за формулою (2.3):

$$T_{\text{зал}} = \frac{T_{\text{н}} \cdot l_{\text{н}} - L_{\text{експ}}}{l_{\text{ф,експ}} \cdot k_{\text{б}}}, \quad (2.3)$$

де  $T_{\text{н}}$  - призначений строк служби вагона, років;

$l_{\text{н}}$  - нормативний середньорічний пробіг, тис. км;

$L_{\text{експ}}$  - сумарний експлуатаційний пробіг на момент продовження строку служби, тис. км;

$l_{\text{ф,експ}}$  - середньорічний пробіг в умовах експлуатації, тис. км;

$k_{\text{б}}$  - коефіцієнт безпеки, для відповідальних деталей, як-от рама візка, дорівнює 2.

Формула (2.3) дозволяє визначати величину залишкового ресурсу з урахуванням пробігу вагона але не враховує корозійні процеси і накопичені пошкодження під час експлуатації. Величину залишкового ресурсу можливо визначати через коефіцієнт стоншення за формулою (2.4):

$$T_{\text{зал}} = T_{\text{н}} \cdot \lambda_{\Delta h}(t) \cdot K_{\text{р}}(t) \quad (2.4)$$

де  $\lambda_{\Delta h}(t)$  - залежність коефіцієнта стоншення від часу експлуатації вагона.

$K_{\text{р}}(t)$  - коефіцієнт перетворення, що залежить від мінімально допустимої товщини елемента, характеру нелінійності стоншення та прийнятого запасу за граничним станом корозійного зносу.

Коефіцієнт стоншення в заданий момент часу визначають за формулою (2.5):

$$\lambda_{\Delta h} = \frac{h_{\text{факт}}}{h_{\text{ном}}}, \quad (2.5)$$

Для деталей, схильних до інтенсивного навантаження, як-от рама візка і надресорна балка, залишковий строк служби визначається з припущення, що за впливу вібраційних навантажень, напруження в несних елементах пропорційні вигинним моментам, а величини моменту опору поперечного перерізу обернено пропорційні квадрату лінійної зміни товщини елемента, за умови впливу вертикальних навантажень:

$$\lambda_{\Delta h} = \frac{h_{\text{факт}}^2}{h_{\text{ном}}^2}. \quad (2.6)$$

При цьому фактичне значення границі втоми з урахуванням строку експлуатації може бути визначене за виразом (2.7):

$$\sigma_{\alpha, N}^{\text{факт}} = \frac{\sigma_{\alpha, N}}{\lambda_{\Delta h}}, \quad (2.7)$$

де  $\sigma_{\alpha, N}$  - розрахункова границя втоми за симетричного циклу напружень, приведена до бази випробувань  $N_0=10^7$ , отриманої на основі проведення стендових вібраційних випробувань несних елементів, МПа.

Оскільки границя міцності пропорційна площі поперечного перерізу, то мінімальна площа ( $F_{\text{кр}}$ ) перерізу визначається за формулою (2.8):

$$F_{\text{кр}} = F_{\text{ном}} \cdot \frac{\sigma_{\text{ф}}}{\sigma_{\text{пл}}}, \quad (2.8)$$

де  $F_{\text{ном}}$  - номінальна площа поперечного перерізу елемента, що відповідає технічній документації, мм<sup>2</sup>;

$\sigma_{\text{ф}}$  - фактичне напруження в елементі конструкції, МПа;

$\sigma_{\text{пл}}$  - границя плинності матеріалу, МПа.

Критичне значення товщини стінок поперечного перерізу елемента ( $h_{\text{кр}}$ ), мм визначається за формулою (2.9):



$$h_{кр} = h_{ном} - \lambda_{\Delta h}(t). \quad (2.9)$$

Пояснити визначення величини залишкового ресурсу через коефіцієнт стоншення пропонується за залежністю, яку наведено на рис. 2.1. На рисунку 2.1 наведена крива залежності залишкового строку служби від стоншення елемента (%), яка свідчить, що при більшому ніж 50 % стоншенні залишковий ресурс буде вичерпаний. Експертно приймається допустиме стоншення елемента не більше ніж 30% для створення дворічного запасу за граничним станом.

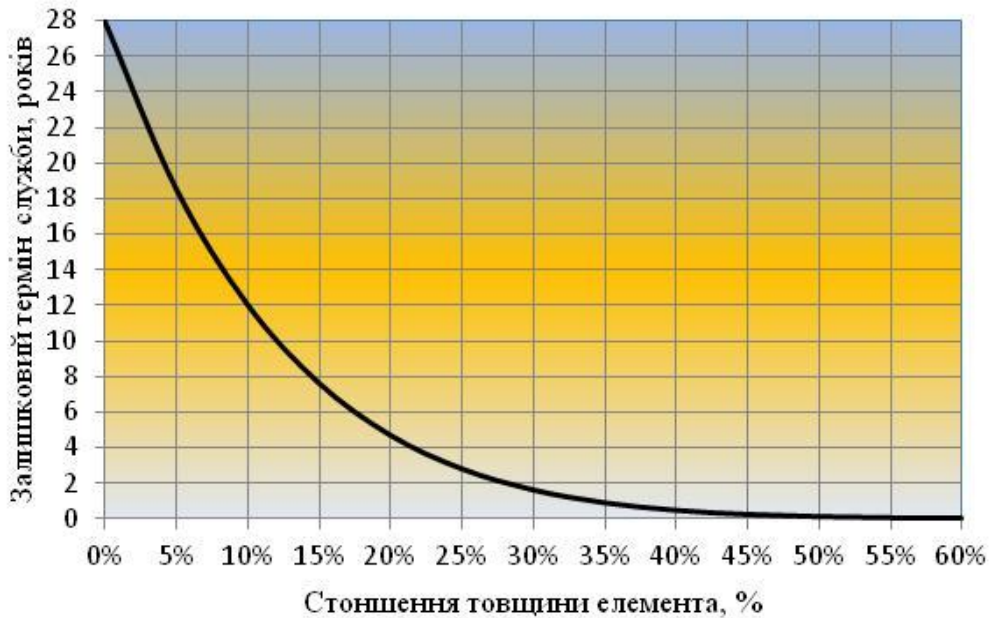


Рисунок 2.1 – Залежність залишкового ресурсу від величини корозійного зносу

Так, наприклад, при 28-річному строку служби і 15 % стоншенні несного елемента на момент діагностування, залишковий ресурс конструкції складе 8 років.

Перевагою такого методу оцінювання залишкового ресурсу є врахування одного з основних критеріїв втоми – корозійного зносу. Недолік – відсутність врахування накопичених пошкоджень, викликаних порушеннями технічних вимог до експлуатації та понаднормових навантажень.

Залежність  $\lambda_{\Delta h}(t)$  може бути експоненціальною, степеневою, поліноміальною та визначається експериментально на базі значної кількості даних накопичених досліджень. Методологію визначення цієї залежності наведено в наступному розділі.

## 2.2 Побудова залежності корозійної стійкості матеріалу елементів вагона від строку експлуатації

Метою дослідження є оцінювання корозійної стійкості матеріалу елементів вагона, отримання функціональної залежності стоншення елементів вагона від часу експлуатації (строку служби).

Величину корозії визначають за формулою (2.1), коефіцієнт стоншення за формулами (2.5), (2.6).

Дані замірів товщини (стоншення елементів) групуються за строком служби вагонів з часовим інтервалом і піддаються статистичній обробці, що полягає у визначенні:

- середнього значення (математичного очікування) за формулою (2.10):

$$\bar{m}_{\Delta h_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} h_{ij}}{N_i^{3T}}, \quad (2.10)$$

де  $m_{\Delta h_i}$  – середнє значення (математичне очікування) величини стоншення елементів вагона в  $i$ -му інтервалі;

$h_{ij}$  – значення  $j$ -ої вимірної товщини елемента вагона в  $i$ -му інтервалі;

$N_i^{3T}$  – кількість замірів в  $i$ -му інтервалі;

– середньоквадратичного відхилення за формулою (2.11):

$$S_{\Delta h_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - m_{\Delta h_i})^2}{N_i^{3T} - 1}}. \quad (2.11)$$

Величини замірів товщини у кожному часовому зрізі групуються на класи (інтервали) за правилом Штюргеса згідно з виразом (2.12) [19, 20]:

$$\kappa \approx 1 + 3,32lg(N_i^{3T}), \quad (2.12)$$

де  $\kappa$  - кількість класів.

Нульова гіпотеза про рівність (однорідність) середніх значень для кожного інтервалу оцінюється за допомогою критерію Стьюдента (додаток А).

Оцінкою  $\sigma^2$  служить вибіркова повна (загальна) дисперсія  $S_i^2$ , а інтервальною оцінкою математичного очікування  $i_m$  – вибіркоче загальне середнє значення  $\bar{m}_{\Delta h_i}$ . Довірчі інтервали для  $i_m$  і  $\sigma^2$  для  $p = N_i^{3T} - 1$  ступенів свободи визначають з виразів (2.13), (2.14):

$$\bar{m}_{\Delta h_i} - \frac{S_i}{\sqrt{N_i^{3T}}} t_{\alpha,p} < i_m < \bar{m}_{\Delta h_i} + \frac{S_i}{\sqrt{N_i^{3T}}} \quad (2.13)$$

$$\frac{S_i^2(N_i^{3T} - 1)}{\chi_{p_1}^2} < \sigma^2 < \frac{S_i^2(N_i^{3T} - 1)}{\chi_{p_2}^2}. \quad (2.14)$$

Значення  $t_{\alpha,p}$ ,  $\chi_{p_1}^2$  і  $\chi_{p_2}^2$  визначаються за таблицями залежно від числа ступенів свободи і вибіркового рівня довірчої ймовірності.

За даними вимірів товщини елемента для кожного часового зрізу будуються кумулятивна лінія, гістограма і полігон розподілу, за якими проводиться вибір теоретичного закону розподілу.

Для нормального розподілу, щільність імовірності випадкової величини визначається за формулою (2.15):

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad (2.15)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення теоретичного розподілу;

$x$  – випадкова величина;

$\mu$  – середнє значення (математичне очікування) теоретичного розподілу.

Перевірка гіпотези нормального розподілу для класу вибірок виконується з використанням критерію Пірсона (додаток Б).

У разі прояву функціональної залежності величини стоншення від часу експлуатації, проводиться вирівнювання методом найменших квадратів математичних очікувань відхилень товщини елементів від номінальних значень. Як апроксимуючу функцію приймають поліном щодо незалежної змінної  $t$  – часу напрацювання (вибирається лінійний, квадратичний та кубічний):

$$\begin{aligned} f_1(t) &= a + bt, \\ f_2(t) &= a + bt + ct^2, \\ f_3(t) &= a + bt + ct^2 + dt^3, \end{aligned} \quad (2.16)$$

де  $a, b, c, d$  – невідомі коефіцієнти.

Поліном обирають виходячи з найменшої величини залишкової дисперсії, яка визначається за формулою (2.17) [20, 21]:

$$\bar{S}_{\text{зал}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^K (\bar{m}_{\Delta h_i} - m_i^*)^2}{K - 1 - p}, \quad (2.17)$$

де  $\bar{m}_{\Delta h_i}$  – математичне очікування величини товщини елемента в  $i$ -ому інтервалі;  
 $m_i^*$  – аналітичне значення цієї ж величини;  
 $K$  – кількість інтервалів часу напрацювання;  
 $p$  – кількість ступенів свободи,  
а також максимального значення критерію Фішера за формулою (2.18) [19, 21]:

$$F = \frac{S_{\Delta}^2}{\bar{S}_{\text{зал}}^2}, \quad (2.18)$$

де  $S_{\Delta}^2$  – дисперсія випадкової величини при рівні значущості 5%.  
Коефіцієнти  $a, b, c, d$  визначаються з розв'язання системи алгебраїчних рівнянь (2.19)–(2.21), які мають вигляд:

– для полінома першого степеня

$$\begin{cases} a + b \sum_i x_i = \sum_i y_i \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 = \sum_i x_i y_i \end{cases}; \quad (2.19)$$

– для полінома другого степеня

$$\begin{cases} a + b \sum_i x_i + c \sum_i x_i^2 = \sum_i y_i \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 + c \sum_i x_i^3 = \sum_i x_i y_i; \\ a \sum_i x_i^2 + b \sum_i x_i^3 + c \sum_i x_i^4 = \sum_i x_i^2 y_i \end{cases} \quad (2.20)$$

– для полінома третього степеня

$$\begin{cases} a + b \sum_i x_i + c \sum_i x_i^2 + d \sum_i x_i^3 = \sum_i y_i \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 + c \sum_i x_i^3 + d \sum_i x_i^4 = \sum_i x_i y_i \\ a \sum_i x_i^2 + b \sum_i x_i^3 + c \sum_i x_i^4 + d \sum_i x_i^5 = \sum_i x_i^2 y_i \\ a \sum_i x_i^3 + b \sum_i x_i^4 + c \sum_i x_i^5 + d \sum_i x_i^6 = \sum_i x_i^3 y_i \end{cases}. \quad (2.21)$$

За обраним поліномом залежності стоншення елементів від строку служби проводиться оцінка товщини, яку буде мати елемент на кінець передбачуваного строку продовження, і порівняння отриманих значень з мінімально допустимими, встановленими нормативно-технічною документацією.

Отримані залежності товщини елементів від часу експлуатації використовуються для визначення залишкового ресурсу за формулою (2.4).

### 2.3 Оцінка залишкового ресурсу за результатами вібраційних випробувань на втому

Одним із варіантів оцінки залишкового ресурсу несних елементів вагона є визначення його за критерієм втомної довговічності за багатоциклового динамічного навантаження.

Вихідним співвідношенням для визначення строку служби несних елементів конструкції вагона є вираз (2.22) [17, 22]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_e} \leq [n], \quad (2.22)$$

де  $n$  – коефіцієнт запасу опору втомі;

$\sigma_e$  – еквівалентне розрахункове експлуатаційне напруження, приведенне до напруження симетричного циклу і бази випробувань  $N_0=10^7$ ;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Границя втоми натурної деталі розраховується за формулою (2.23) [17, 22]:

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} (1 - z_p \nu_{\sigma_{a,N}}), \quad (2.23)$$

де  $\bar{\sigma}_{a,N}$  – середнє (медіанне) значення границі втоми деталі;

$z_p$  – квантиль розподілу за імовірності  $P=0,95$ ;

$\nu_{\sigma_{a,N}}$  – коефіцієнт варіації границі втоми деталі.

Для визначення границі втоми натурних деталей шляхом проведення вібраційних випробувань використовують формулу (2.24) [17]:

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \sqrt{\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^k \sigma_{Vi}^m n_{Vi}}, \quad (2.24)$$

де  $m=4$  – рекомендоване значення показника степеня кривої втоми елементів вагона;

$N_0$  – базова кількість циклів;

$\sigma_{Vi}$  – величини напружень, отриманих під час вібраційних випробувань і приведених до еквівалентних симетричних;

$n_{Vi}$  – кількість циклів навантаження, реалізованих на  $i$ -му інтервалі;

$k$  – кількість інтервалів навантаження.

Згідно з нормативною документацією вплив асиметрії циклів динамічних напружень на накопичення втомних пошкоджень у конструкції не враховується, тому приймається  $\sigma_{Vi} = \sigma_{Va_i}$ .

Разом з тим, для проведення перевірного розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі та оцінювання залишкового ресурсу, вплив асиметрії циклів навантаження враховують шляхом його приведення до амплітуд еквівалентних симетричних циклів із використанням ідеалізованої діаграми Гудмана граничних амплітуд циклів і приведення їх до еквівалентної амплітуди симетричного граничного циклу за подобою амплітуд [23]:

$$\sigma_{e_i} = \frac{\sigma_{Va_i}}{\left(1 - \frac{\sigma_{Vm_i}}{\sigma_B}\right)}, \quad (2.25)$$

де  $\sigma_{Va_i}$  – амплітуди динамічних напружень, отримані в процесі випробувань;

$\sigma_{Vm_i}$  – амплітуди постійних складових напружень, реалізованих у процесі випробувань;

$\sigma_B$  – границя міцності елемента дорівнює границі міцності матеріалу.

Розрахункові величини амплітуд динамічних напружень визначаються за формулою (2.26) [17]:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{T_p f_e d_e}{N_0}}, \quad (2.26)$$

де  $T_p$  – сумарна дія експлуатаційних навантажень;

$f_e$  – центральна (ефективна) частота процесу зміни динамічних напружень;

$d_e$  – питома напрацювання несної конструкції (визначає відмінність умов експлуатації однотипних несних елементів).

Величина  $T_p$  згідно з чинними нормативами обчислюється за формулою (2.27) [17]:

$$T_p = B \cdot T_n = 365 \cdot 10^3 \cdot T_n \cdot \frac{\bar{\xi}_c}{V}, \quad (2.27)$$

де  $B$  – коефіцієнт переведення календарного розрахункового строку служби в роках за час безперервного руху в секундах;

$\bar{\xi}_c$  – середньодобовий пробіг пасажирського вагона, км/добу;

$V$  – середня технічна швидкість руху вагона.

Ефективна частота зміни динамічних напружень визначається за формулою (2.28) [17, 22]:

$$f_e = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{ст}}}, \quad (2.28)$$

де  $a = 1,1$  і  $a = 1,6$  відповідно для кузова пасажирського вагона і обресорених частин візка;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;

$f_{ст}$  – статичний прогин вагона.

Питоме напруження  $d_e$  визначається відповідно до формули (2.29) [18, 22]:

$$d_e = \sum_{j=1} K_{дїлj} \sum_{v_i}^{N_{v_i}} T_{v_i} \sum_{\sigma_i}^{N_{\sigma_i}} \sigma_{a_i}^m P_{\sigma_i}, \quad (2.29)$$

де  $K_{дїлj}$  – середня частка протяжності прямих ( $j = 1$ ), кривих ділянок колії ( $j = 2$ ) і стрілочних переводів ( $j = 3$ ) у загальній довжині залізничних ліній;

$N_{\sigma_i}$  та  $N_{v_i}$  – прийняті кількість розрядів амплітуд напружень  $i$ -ому інтервалі швидкостей та кількість розрядів швидкостей руху;

$T_{v_i}$  – частка часу, що припадає на експлуатацію в  $i$ -ому інтервалі швидкостей;

$\sigma_{a_i}$  – рівень (розряд) амплітуди динамічних напружень;

$P_{\sigma_i}$  – частота (імовірність) появи амплітуд напружень з рівнем  $\sigma_{a_i}$  в  $i$ -ому інтервалі швидкостей руху вагона.

Оцінка залишкового ресурсу елемента за критерієм втомної довговічності за багатоциклового динамічного навантаження здійснюється за формулою (2.30) [17]:

$$T_{зал} = \frac{\left(\frac{\sigma_{aN}}{[n]}\right) \cdot N_0}{B f_e d_e}. \quad (2.30)$$

Основною перевагою такого методу оцінки залишкового ресурсу є достатня точність отриманого результату, оскільки враховується одночасно фактичний корозійний знос та накопичені пошкодження деталі в експлуатації. Основним недоліком є необхідність застосування спеціалізованого випробувального обладнання (стендів) на втомне руйнування деталі, наслідком чого є висока вартість дослідження. Особливо високою є вартість проведення досліджень за критерієм втомної довговічності для габаритних несних елементів пасажирських вагонів (хребтової балки, бічної поздовжньої рами тощо). На практиці, зазначений метод здебільшого застосовується для визначення залишкового ресурсу рам, надресорних балок візків, шворневих, кінцевих балок вагонів.

## 2.4 Оцінка залишкового ресурсу за результатами вертикальних та ударних поздовжніх навантажень

Оцінка залишкового строку служби вагона за результатами ударних ресурсних навантажень виконується за критерієм накопичених пошкоджень з урахуванням поздовжнього та вертикального динамічного навантаження, які діють на вагон. У процесі експлуатації поздовжні навантаження визначають за результатами випробувань на співудар. Під час випробувань на співудар узагальнений розподіл повторюваності поздовжніх сил стиснення та розтягнення приймають як вихідний (експлуатаційний) спектр навантаження вагона [17]. Узагальнений розподіл приймають за припущення

однакової пошкоджувальної дії розтягувальних та стискальних сил у кожному інтервалі їх розподілу. Вертикальні навантаження визначають за результатами статичних, динаміко-міцнісних випробувань або випробувань скиданням з клинів.

Величина еквівалентного зусилля співудару  $P_{\text{екв}}$ , приведена до розрахункової бази випробувань, визначається за формулою (2.31) [18]:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt[m]{\frac{N_{\text{заг}}^{\text{розр}}}{N_0} \sum_{i=1} F_i^m \cdot p_i} \quad (2.31)$$

де  $N_{\text{заг}}^{\text{розр}}$  - загальна розрахункова кількість циклів дії імпульсів поздовжніх ударних сил;

$F_i^m$  і  $p_i$  - величини динамічних поздовжніх сил та імовірності їх виникнення, що визначаються за таблицями 5.3 і 5.4 [18].

Загальна розрахункова кількість циклів дії поздовжніх сил протягом розрахункового періоду експлуатації вагона для загальної мережі пробігу визначається за формулою (2.32) [18]:

$$N_{\text{заг}}^{\text{розр}} = N_{\text{заг}}^{\text{уд}} \cdot T_{\text{н}} \cdot k_{\text{реж}} \cdot k_{\text{уд}}, \quad (2.32)$$

де  $N_{\text{заг}}^{\text{уд}}$  - загальна кількість циклів ударних поздовжніх сил за один рік  $N_{\text{заг}}^{\text{уд}}=18200$  [18];

$k_{\text{реж}}$  - коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу,  $k_{\text{реж}} = 1$  [18];

$k_{\text{уд}}$  - коефіцієнт, що враховує несиметричність навантаження конструкції,  $k_{\text{уд}}=0,6$  [18].

Кількість циклів за один рік експлуатації для поздовжнього навантаження визначаються за формулою (2.33) [18]:

$$N_{\text{с}}^I = N_{\text{заг}}^{\text{уд}} \cdot T_{\text{розр}} \cdot k_{\text{реж}} \cdot k_{\text{уд}}, \quad (2.33)$$

де  $T_{\text{розр}}$  - розрахунковий період експлуатації (1 рік).

Кількість циклів вертикальних коливань за один рік строку служби визначається за формулою (2.34) [17, 18]:

$$N_{\text{с}}^{II} = 365 \cdot 10^3 \cdot f_e \cdot \frac{\bar{\xi}_c}{V}. \quad (2.34)$$

Залишковий строк служби вагона визначається за формулою (2.35) [17]:

$$T_{\text{зал}} = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{\text{с}}^I \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I) \cdot P_j^I + N_{\text{с}}^{II} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^{II}) \cdot P_j^{II}} \quad (2.35)$$

де  $\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$  - амплітуди динамічних напружень, приведених до симетричного циклу для кожного виду експлуатаційних навантажень (поздовжнього та вертикального) та їх діапазонів, МПа;

$P_j^I$  - імовірність появи амплітуди з рівнем  $\sigma_{aj}^I$  в  $j$ -му інтервалі швидкостей руху;

$P_j^{II}$  - імовірність появи амплітуди з рівнем  $\sigma_{aj}^{II}$  в  $j$ -му інтервалі швидкостей руху.

### 3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Надійністю називають властивість технічного засобу виконувати задані функції, зберігаючи протягом певного часу значення встановлених експлуатаційних показників у заданих границях, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування.

Головною метою розрахунку надійності виробів є оптимізація схемних і конструктивних рішень і параметрів, удосконалення режимів експлуатації й організації технічного обслуговування (ТО) і ремонту.

Надійність включає в себе такі властивості: безвідмовність, довговічність, збереженість та ремонтпридатність.

Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами «життєвого циклу» рухомого складу залізниць (РСЗ) від зародження ідеї створення до утилізації: під час розрахунків і проектування виробу його надійність закладають у проєкт, під час виготовлення надійність забезпечується, під час експлуатації – реалізується.

Тому проблема надійності – комплексна, і вирішувати її потрібно на всіх етапах життєвого циклу і різними засобами [1]. На етапі проектування виробу визначають його структуру, проводять вибір або розробку елементної бази, тому тут є найбільші можливості забезпечення необхідного рівня надійності РСЗ.

Оцінка надійності системи може здійснюватися:

- аналітичними методами;
- методами імовірнісного моделювання;
- комбінованими методами, тобто шляхом спільного використання аналітичних методів і методів моделювання під час розв'язання однієї задачі.

Під час оцінювання надійності системи аналітичними методами результати розв'язання отримують у вигляді виразів, що пов'язують показники надійності системи з чинниками, які їх визначають, і дозволяють не тільки здійснювати оцінювання показників, але й досліджувати вплив на ці показники різних чинників. Це є беззаперечною перевагою аналітичних методів.

Методи імовірнісного моделювання успішно застосовують для аналізу надійності систем практично необмеженої складності за будь-якого закону розподілу випадкових величин. Ці методи дозволяють враховувати значну кількість різних реально діючих чинників. Результатом імовірнісного моделювання є кількісна оцінка, а не математичні залежності, які застосовують при використанні аналітичних методів. Для виявлення залежності показників надійності системи від різних чинників, які на неї впливають, необхідно застосовувати багаторазове моделювання функціонування системи з визначеною варіацією параметрів.

У разі використання комбінованих методів задача проєктного оцінювання надійності складної системи поділяється на декілька підзадач, кожна з яких розв'язують тим методом (аналітичним або моделюванням), який найбільш ефективний щодо специфічних особливостей даної конкретної задачі. Завдяки цьому для розв'язання складних задач комбіновані методи завжди ефективніші за аналітичні методи або методи моделювання. У цій роботі розглянуті основні положення надійності на прикладі вітчизняних пасажирських вагонів.

В Україні пасажирське вагонобудування з'явилося у 2001 році на базі Публічного акціонерного товариства «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ «КВБЗ»). За короткий період були створені пасажирські вагони як з колодковими, так і з дисковими гальмами (таблиця 3.1) відповідно до сучасних вимог [17, 22, 24].

Таблиця 3.1. Характеристики пасажирських вагонів [25]

Модель вагона	Конструкційна швидкість, км/год	Тара вагона, тс	Пасажиромісткість, осіб	Брутто, тс
61-779 (з 4-місним купе)	160	59	40	63
61-779А (з 2-місним купе)	160	59	20	61
61-779Б (купейний для сидіння)	160	59	45	63,5
61-779В (купейний для сидіння)	160	59	42	63,2
61-779Г (купейний для сидіння)	160	59	42	63,2
61-779Д (для сидіння)	160	59	68	65,8
61-779Б (для сидіння)	160	59	60	65

Вагони мають збільшену пасажиромісткість, сучасну систему життєзабезпечення, підвищену комфортність.

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ») провело широкомасштабні випробування та дослідження електрообладнання, систем забезпечення параметрів мікроклімату, динамічних, міцносних і гальмівних якостей пасажирських вагонів вітчизняного виробництва, які показали, що вони відповідають кращим світовим аналогам.

Разом з тим, незважаючи на понад десятирічний строк експлуатації пасажирських вагонів моделей 61-779 та їхніх модифікацій, досі не проведено оцінювання фактичних показників надійності

та ремонтпридатності вузлів і систем пасажирських вагонів (за винятком системи електрообладнання) [26, 27].

Загальні оцінки надійності та ремонтпридатності технічного виробу визначені державними стандартами [28-34]. Установлений ними порядок передбачає:

- вибір номенклатури нормованих показників надійності та ремонтпридатності виробу стосовно до конкретних умов і режимів його використання, технічного обслуговування і ремонту;
- визначення величин показників надійності та ремонтпридатності.

Показники надійності та ремонтпридатності обчислюють на стадії науково-дослідних, а також конструкторських робіт під час розробки технічного завдання, технічного проекту і робочої документації з метою:

- установлення показників надійності та ремонтпридатності у процесі розроблення проекту і їхньої відповідності вимогам надійності і ремонтпридатності;
- установлення вимог до показників надійності та ремонтпридатності складових частин вагона;
- вибору виду і кількості резервування складових частин;
- розрахунку комплексу запасних частин (ЗП);
- оптимізації систем технічного обслуговування і ремонту;
- обґрунтування гарантійних або призначених строків служби;
- установлення критеріїв відмов і граничних станів конструкції.

Вибору показників надійності передуює встановлення критеріїв відмови і граничного стану виробу з урахуванням показників конструктивного рішення, характеру та режиму його використання і показників наслідків відмови. При цьому з класу показників характеру та режиму використання виробу враховується принцип обмеження тривалості експлуатації й режиму його використання в часі, а з класу показників конструктивного рішення - ознаки й умови ремонтпридатності.

Для вибору критеріїв відмови встановлюється перелік технічних параметрів виробу і його систем, які визначають його роботоздатність, і припустимі границі їхньої зміни (розміри допусків), вихід за які означає відмову. Ці допуски записують у нормативно-технічній документації на виріб або його складові частини, як критерій його відмови.

Граничний стан виробу визначається неможливістю його подальшої експлуатації або неприпустимим зниженням ефективності. При цьому для виробів, що ремонтуються, критерієм граничного стану є: досягнення моменту, який характеризує обумовлене зниження ефективності або порушення вимог безпеки, і досягнення періоду експлуатації, що характеризується підвищенням частоти відмов (параметра потоку відмов), внаслідок чого ремонт стає економічно недоцільним.

Терміни і визначення деяких основних понять показників надійності, які конкретизують загальнотехнічні визначення [28-38] стосовно до специфіки об'єктів, характеру їхньої експлуатації та інженерної термінології на залізничному транспорті, наведені в таблиці 3.2.

Показники безвідмовності вагонів наведені в таблиці 3.3, довговічності - в таблиці 3.4, ремонтпридатності - в таблиці 3.5, комплексні показники надійності - в таблиці 3.6.

Відповідно до ДСТУ 2862-94 [30] номенклатура показників надійності виробу в цілому повинна включати:

- показники безвідмовності: середнє напрацювання на відмову ( $T_o$ ) або параметр потоку відмов ( $w$ );
- показники довговічності: середній або гамма-процентний ресурс ( $T_p$  або  $T_{py}$ ) або відповідно середній або гамма-процентний строк служби ( $T_{cl}$  або  $T_{cly}$ );
- показники ремонтпридатності: середній час відновлення роботоздатності ( $T_a$ ) або імовірність відновлення роботоздатного стану  $P(t)$  за регламентований час.



Таблиця 3.2. Терміни, загальні поняття надійності вагонів

№ з/ч	Термін	Визначення
1	2	3
1	Надійність	Властивість об'єкта зберігати в часі в установлених границях значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. <i>Примітка:</i> властивість вагона (елемента) зберігати і підтримувати у встановлених границях значення технічних параметрів, що забезпечують виконання перевізної роботи відповідно до призначення й умов експлуатації, обслуговування і ремонту, регламентованих чинною нормативно-технічною документацією (НТД)
2	Безвідмовність	Властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи напрацювання. <i>Примітка:</i> властивість вагона (елемента) безупинно зберігати роботоздатний стан у періоди між плановими ремонтами при його використанні й обслуговуванні відповідно до НТД.
3	Довговічність	Властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу в граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту. <i>Примітка:</i> властивість вагона (елемента) зберігати роботоздатний стан до настання граничного стану при встановлених НТД умовах експлуатації, періодичності й об'ємах технічного обслуговування і планових ремонтів.
4	Ремонтпридатність (властивість)	Властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, у якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту. <i>Примітка:</i> властивість вагона (елементу), що полягає в пристосованості до виконання операцій контролю технічного стану, технічного обслуговування, планових ремонтів і відновленню при відмові у регламентованих умовах технічного обслуговування і ремонтів.
5	Збережуваність	Властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції під час і після зберігання та (чи) транспортування. <i>Примітка:</i> властивість вагона зберігати роботоздатний стан або значення технічних параметрів у встановлених межах при його утриманні «у відстої» або консервації в умовах, регламентованих технічною документацією.
6	Роботоздатний стан, роботоздатність	Стан об'єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції. <i>Примітка:</i> технічний стан, що забезпечує виконання перевізної роботи без обмежень у відповідності зі своїм призначенням в умовах експлуатації, обумовлених НТД.
7	Нероботоздатний стан, нероботоздатність	Стан об'єкта, за якого він нездатний виконувати хоч би одну з потрібних функцій. <i>Примітка:</i> технічний стан вагона (елемента), при якому він не може використовуватися для виконання перевізної роботи за призначенням (елемент не може виконувати задані функції) відповідно до вимог НТД. При переході в нероботоздатний стан вагон (елемент) виключається з робочого парку для виконання ремонту.
8	Справність	Стан об'єкта, за якого він здатний виконувати усі задані функції об'єкта. <i>Примітка:</i> стан об'єкта, при якому він відповідає усім вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.
9	Несправний стан	Стан об'єкта, у якому він не відповідає хоча б одній з вимог нормативно-конструкторської документації.

## Продовження таблиці 3.2

1	2	3
10	Відмова вагона  Відмова елемента	Подія, що полягає у втраті роботоздатності вагона, в тому числі виникнення несправностей, не допускає в експлуатації за чинною НТД. Подія, що полягає у втраті роботоздатності або виникненні несправностей, недопустимих в експлуатації, або виході параметрів за межі експлуатаційних (або ремонтних) допусків.
<b>Види відмов</b>		
10.1	Раптова відмова	Відмова, яку неможливо передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом. Характеризується стрибкоподібною зміною одного або декількох заданих параметрів об'єкта. <i>Примітка:</i> Відноситься до випадків руйнації, втрати стійкості, інших видів раптової втрати роботоздатності або виникнення несправностей, неприпустимих в експлуатації.
10.2	Поступова відмова	Відмова, спричинена поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів об'єкта. <i>Примітка:</i> Відноситься до відмов за ознаками зносу, корозії, інших видів контрольованої зміни параметрів.
10.3	Залежна (незалежна) відмова	Відмова об'єкта, обумовлена (не обумовлена) відмовою іншого об'єкта.
10.4	Конструкційна відмова	Відмова, обумовлена порушенням норм і правил проектування і розрахунків на тривкість, інших нормативних документів і спеціальних вимог технічного завдання на проектування. <i>Примітка:</i> До конструкційних можуть бути віднесені відмови, що виникають в експлуатації через недосконалість чинної нормативно-методичної документації на проектування вагона і його елементів.
10.5	Виробнича відмова	Відмова, що виникає в результаті порушення встановленого технічною документацією технологічного процесу виготовлення і контролю, в тому числі прихованих дефектів, що не допускаються НТД.
10.6	Експлуатаційна відмова	Відмова, що виникає в результаті порушення норм, правил і умов експлуатації, обслуговування і ремонтів, обумовлених технічною документацією на вагон, його складові частини і комплектуючі вузли.
11	Критерій відмови	Ознака чи сукупність ознак порушення роботоздатного стану об'єкта, встановлені в нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації. <i>Примітка:</i> Ознаки відмови вагона або елемента - перелік несправностей, неприпустимих в експлуатації (елемент - вихід за границі допуску на значення параметрів), за чинною експлуатаційною і ремонтною документацією.
12	Ушкодження	Подія, яка полягає в порушенні справного стану об'єкта, коли зберігається його роботоздатність. <i>Примітка:</i> Варто розрізняти ушкодження, викликані порушенням правил експлуатації, вимог до забезпечення цілості вагонів при вантажно-розвантажувальних і маневрових роботах або недобрросовісності обслуговуючого персоналу і несправності, що виникають у конструкції в процесі нормальної експлуатації через природні причини.

Кінець таблиці 3.2

1	2	3
13	Граничний стан	Стан об'єкта, у якому його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його роботоздатного стану неможливе чи недоцільне. <i>Примітка:</i> Для вагона, що ремонтується, із установленою системою планових поточних (деповських) і капітальних ремонтів, «граничний стан» встановлюється Інструкцією з виключення вагонів з інвентарного парку. Для елементів «граничний стан» встановлюється чинними «Правилами...» і інструкціями з ревізії і ремонтів двох видів: такий, що вимагає відновлення – «граничний стан на ремонт», і такий, що вимагає остаточного відбракування.
14	Напрацювання	Тривалість чи обсяг роботи об'єкта. <i>Примітка:</i> Тривалість або обсяг роботи вагона (елемента), виражені календарним часом або в км пробігу, мотогодин, числі операцій спрацьовування, інших одиницях роботи, що виконуються.
15	Напрацювання до відмови	Напрацювання об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови.
16	Ресурс; технічний ресурс	Сумарне напрацювання об'єкта від початку його експлуатації чи поновлення після ремонту до переходу в граничний стан. <i>Примітка:</i> Відповідно до виду граничного стану розрізняють «повний ресурс», обчислюваний за розміром напрацювання або тривалості експлуатації до списання вагона (відбракування елемента), і доремонтний (міжремонтний) ресурс, обчислюваний від початку експлуатації або після ремонту визначеного виду до необхідності відновлення в першому (або останньому) ремонті.
17	Відновлюваний об'єкт	Відремонтований об'єкт, який після відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати потрібні функції з заданими кількісними показниками надійності. <i>Примітка:</i> Елемент, роботоздатність якого підлягає відновленню в конкретній ситуації відповідно до експлуатаційної документації.
18	Невідновлюваний об'єкт	Об'єкт, ремонт якого неможливий чи не дозволяє відновити роботоздатність із заданими кількісними показниками надійності. <i>Примітка:</i> Елемент, роботоздатність якого не підлягає відновленню в конкретній ситуації відповідно до експлуатаційної документації.
19	Ремонтований об'єкт	Об'єкт, ремонт якого можливий та передбачений нормативною, ремонтною та (чи) конструкторською (проектною) документацією.
20	Неремонтований об'єкт	Об'єкт, ремонт якого неможливий чи непередбачений нормативною, ремонтною та (чи) конструкторською (проектною) документацією.
21	Одиничний показник надійності	Показник надійності, що характеризує одну із таких властивостей, які в сукупності складають надійність об'єкта.
22	Резервування	Спосіб забезпечення надійності об'єкта за рахунок використання додаткових засобів та (або) можливостей, надлишкових відносно мінімально необхідних для виконання потрібних функцій.
23	Резерв	Сукупність додаткових засобів і (або) можливостей, що використовуються для резервування. <i>Примітка:</i> Під «додатковими засобами» варто розуміти елементи, додані в конструкцію понад мінімально необхідних для виконання заданих функцій (структурне резервування) або «можливостей» виробу виконувати задані функції і зберігати задані параметри у встановлених межах протягом деякого часу при відмові одного або декількох структурно-необхідних (основних) елементів (тимчасове резервування); або «можливості» зберігати роботоздатні стани в умовах підвищеної понад розрахункову навантаженості всього виробу або його окремих елементів (навантажувальне резервування).

Таблиця 3.3. Показники безвідмовності вагонів

№ з/ч	Назва показника	Визначення
1	Середнє напрацювання до відмови	Математичне очікування напрацювання вагона чи елемента до першої відмови.
2	Середнє напрацювання між відмовами (середнє напрацювання на відмову)	Відношення сумарного напрацювання відновлюваного об'єкта до математичного очікування числа його відмов протягом цього напрацювання.
3	Інтенсивність відмов	Умовна частота імовірності виникнення відмови вагона, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникала. <i>Примітка:</i> для невідновлюваних елементів (перших відмов вагона або відновлюваних елементів) мається на увазі умовна щільність імовірності відмови у визначений момент експлуатації за умови, що до цього моменту відмова не відбувалася.
4	Параметр потоку відмов	Відношення математичного очікування кількості відмов відновлюваного об'єкта за досить мале його напрацювання до значення цього напрацювання. <i>Примітка:</i> показник «параметр потоку відмов» застосовується для характеристики безвідмовності об'єкта протягом «періоду його нормальної роботи» (стаціонарного потоку відмов) або для характеристики безвідмовності сукупності однотипних вагонів протягом міжремонтного періоду.
5	Імовірність безвідмовної роботи	Імовірність того, що протягом заданого напрацювання відмова вагона (елемента) не виникне.

Таблиця 3.4. Показники довговічності

№ з/ч	Назва показника	Визначення
1	Призначений строк служби (ресурс) до списання або ремонту	Календарна тривалість експлуатації (сумарне напрацювання), після досягнення якої експлуатація вагона (елемента) повинна бути припинена незалежно від технічного стану. Вагон підлягає списанню, передачі для використання за іншим призначенням або плановому ремонту; елемент - вибракуванню або відновленню при планових ремонтах по ремонтних допусках.
2	Середній ресурс	Математичне очікування ресурсу. <i>Примітка:</i> Математичне чекання календарної тривалості експлуатації (сумарного напрацювання) елемента до досягнення граничного стану.
3	Гамма відсотковий ресурс	Календарна тривалість експлуатації, протягом якої об'єкт не досягне граничного стану з імовірністю, вираженою у відсотках. <i>Примітка:</i> для особливо відповідальних елементів конструкції вагонів, технічний стан яких не контролюється при обслуговуванні вагонів у складі потягів, а відмови ведуть до важких наслідків (аварії), можуть установлюватися показники: 100% строк служби (100% - ресурс), що характеризує тривалість «гарантованої» роботоздатності (імовірність відмови дорівнює нулю). У цих випадках застосовується показник «установлений ресурс», «установлене безвідмовне напрацювання».

Таблиця 3.5. Показники ремонтпридатності

№ з/ч	Назва показника	Визначення
1	Середня тривалість відновлення	Математичне очікування часу відновлення роботоздатного стану об'єкта після відмови.
2	Імовірність відновлення	Імовірність того, що час відновлення роботоздатного стану об'єкта не перевищить заданого значення. <i>Примітка:</i> Імовірність того, що час відновлення роботоздатного стану при відмові вагона не перевищить заданої в НТД тривалості.

Таблиця 3.6. Комплексні показники надійності

№ з/ч	Назва показника	Визначення
1	Безвідмовність функціонування вагона	Характеристика безвідмовності вагона в реальних умовах експлуатації з урахуванням усіх видів відмов і ушкоджень, виражена розміром параметра потоку відмов вагона або імовірністю безвідмовної роботи за розрахунковий рейс, оборот, інші розрахункові інтервали напрацювання.
2	Коефіцієнт готовності	Імовірність того, що час відновлення роботоздатного стану об'єкта не перевищить заданого значення. <i>Примітка: Імовірність того, що вагон виявиться роботоздатним у довільний момент часу, крім планованих періодів перебування в резерві, відстою або ремонту.</i>
3	Коефіцієнт технічного використання	Відношення математичного очікування сумарного часу перебування об'єкта в роботоздатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарної години перебування об'єкта в роботоздатному стані та в простоях, обумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за той самий період.
4	Середня трудомісткість технічного обслуговування (ремонту)	Математичне очікування трудомісткості технічного обслуговування та (чи) ремонту, виражене в людино-годинах. <i>Примітка: Математичне очікування сумарних (або питомих) трудозатрат на виконання регламентних операцій технічного обслуговування і (або) ремонтів усіх видів і робіт з усунення відмов вагона в період до капітального ремонту.</i>

Однак, з огляду на специфіку умов експлуатації й організації технічного обслуговування і ремонту на залізницях, рекомендовано застосовувати в нормативній документації для пасажирських вагонів наступні показники надійності:

#### **Група показників довговічності**

**«Призначений строк служби»** (до першого деповського ремонту (циклічність деповських ремонтів), до першого і другого капітальних ремонтів, до списання) –  $T_n$ .

Застосування «призначених» показників замість «середніх» або «гамма-відсоткових» визначається тим, що пасажирські вагони піддаються профілактичним (деповським) і відновлюваним (капітальним) ремонтам у плановому порядку незалежно від їхнього технічного стану. При цьому показник типу «призначений строк служби» розглядається як обмеження «знизу» вимог до довговічності конструкції для виробника й обмеження «згори» міжремонтних строків служби для організацій, що експлуатують.

#### **Група показників ремонтпридатності**

**«Середній час відновлення роботоздатного стану»** –  $T_v$ .

Показник «середній час відновлення роботоздатного стану» варто розглядати, як середній час (або середні трудозатрати) на виконання позапланових відчеплювальних ремонтів. Оскільки постановка вагонів у деповські та капітальні ремонти здійснюється в плановому порядку незалежно від їхнього технічного стану, втрата роботоздатності (перехід у неробочий стан) відбувається тільки при відмові вагона в експлуатації в період між плановими ремонтами, а відновлення роботоздатного стану – під час позапланових відчеплювальних ремонтів.

Також, деякі елементи конструкції вагона працюють у більш-менш стабільних і визначених умовах, їхні відмови безпосередньо впливають на безпеку руху, технічний стан не може бути напевне проконтрольованим в умовах експлуатації, обслуговування, а можливо й при деяких видах планових ремонтів. Для таких елементів конструкції можна вважати обґрунтованою вимогу нормувати індивідуальні показники безвідмовності виду «установлене безвідмовне напрацювання не менше років, км, годин» тощо. Це може стосуватися декількох уніфікованих вузлів пасажирського вагона (колісні пари і їхні елементи, що несуть деталі візка, уніфіковані вузли автогальмового й автозчепного обладнання, елементи електрообладнання, кондиціонування і вентиляції), що мають самостійну технічну документацію і не «прикріплені» до конкретних вагонів (переставляються в процесі планових ремонтів). Тому індивідуальні показники нормуються не на вагон у цілому, а технічною документацією на вузли.

**Група показників безвідмовності**

**«Параметр потоку відмов»** вагона в період до першого деповського ремонту -  $w_d$  (середнє значення за час експлуатації до першого деповського ремонту).

Рекомендації щодо вибору і внесення показників надійності пасажирського вагона в технічну документацію зведені в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7. Зведена таблиця показників надійності пасажирських вагонів для використання в технічній документації

Назва показника	Розмірність	Примітка
Параметр потоку відмов (інтенсивність відмов) $w(t)$ , до першого деповського ремонту; Або: Середнє напрацювання на відмову в період до першого деповського ремонту.	1/рік, 1/км пробігу доб. тис. км	На стадії проєктування визначається експертним шляхом на основі даних про аналоги й уточнюється розрахунковим шляхом за результатами спостережень і реєстрації відмов у період до першого деповського ремонту. Для комплектуючих виробів дані вибираються з ТУ на виріб, а для систем - із ТЗ на систему.
Призначена циклічність деповського ремонту, $T_d$	Років (пробіг, км)	Критерієм визначення циклічності деповського ремонту є час напрацювання на відмову, який повинен бути не менше ніж призначений період циклічності для елементів, що досягли граничного стану відповідно до ЦЛ-0036 (Правила деповського ремонту (ДР)) [35];
Призначений строк служби до списання, $T_{cn}$	Років	Критерієм є час напрацювання на відмову, який повинен бути не менше ніж призначений строк до списання для елементів, що досягли граничного стану відповідно до ЦЛ-0069 (Правил виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку) [36];
Призначений строк служби до першого капітального ремонту КР-1 $T_{к1}$	Років	Критерієм є час напрацювання на відмову, який повинен бути не менше призначеного строку до першого капітального ремонту для елементів, що досягли граничного стану відповідно до ЦЛ-0041 (Правил капітального ремонту (КР-1)) [37];
Призначений строк служби до капітального ремонту КР-2 ( $T_{к2}$ )	Років	Критерієм є час напрацювання на відмову, який повинен бути не менше призначеного строку до капітального ремонту (КР-2) для елементів, що досягли граничного стану відповідно до ЦЛ-0044 (Правил капітального ремонту (КР-2)) [38].
Середній час відновлення роботоздатного стану ( $T_e$ )  Або Питомий сумарний час (трудомісткість) відновлення роботоздатного стану	Годин (нормогодин), годин/рік годин/тис. км	Залежно від характеру вимог до показників ремонтпридатності, встановлених у технічному завданні або технічних умовах, розраховуються або сумарні оперативні трудомісткості на всі види ТО і ДР за період до капітального ремонту, або їхнє середньорічне значення (або питомі значення на одиницю напрацювання)
Установлене безвідмовне напрацювання (для відповідальних вузлів і деталей, елементів систем електрозабезпечення і кондиціонування)		Вказується конкретний вузол, деталь і точна ознака відмови.

### 3.1 Ознаки відмов і характеристики граничних станів

Ознаки відмов і характеристики граничних станів визначаються відповідно до технічного опису й інструкції з експлуатації, Інструкції огляду вагонів, Правил деповського (ЦЛ-0036) [35] і капітального (КР-1 ЦЛ-0041 [37], КР-2 ЦЛ-0044 [38]) ремонтів.

Характерними ознаками порушення роботоздатності механічної частини вагона (видами відмов) є:

- руйнування (злами), залишкова деформація з неприпустимим перекручуванням форми відповідальних несних елементів від дії екстремальних випадкових перевантажень (раптові відмови);
- втомне руйнування елементів (утворення і розвиток тріщин) від тривалих багаторазових динамічних навантажуваль (поступові відмови);
- перекручування (ослаблення) передбаченого технічною документацією характеру з'єднань або взаємодії елементів конструкції внаслідок змінання або зносу поверхонь (поступові відмови);
- граничне стоншення елементів внаслідок абразивного, контактного і корозійного зносу (поступові відмови).

Для систем життєзабезпечення пасажирського вагона відмовою вважається подія, що полягає в порушенні роботоздатного стану об'єкта, тобто у втраті об'єктом спроможності виконувати необхідну функцію.

Для складових (комплектуючих) компонентів системи відмовою вважається неможливість виконувати ними необхідну функцію, що полягає в невідповідності вихідних параметрів паспортним даним або технічним умовам на виріб.

Під час аналізу безвідмовності вагон розглядають як складну систему, яка складається з  $N_{ск}$  послідовно з'єднаних, розрахункових частин (вузлів, складальних одиниць), кожна з яких включає  $N_{ел}$  послідовно з'єднаних деталей (елементів). При цьому відмова кожної деталі (елемента) веде до відмови розрахункової частини, а відмова кожної розрахункової частини - до відмови вагона (система без резервування).

Розрахунковими частинами вважають наступні функціональні вузли:

- кузов і рама з кріпильними системами підвагонного обладнання;
- ударно-тягові прилади;
- гальмівна система;
- ходова частини (візки);
- система опалення;
- система електрообладнання;
- система водопостачання;
- сантехнічна система;
- система кондиціонування та вентиляції;
- внутрішнє немеханічне обладнання.

З урахуванням взаємної незалежності відмов розрахункових частин і окремих деталей (елементів), імовірність безвідмовної роботи вагона протягом строку (напрацювання)  $T$  визначається за формулою (3.1) [22, 39-47]:

$$P_B(T) = \prod_{i=1}^{N_{ск}} P_i(T) = \prod_{i=1}^{N_{ск}} \prod_{j=1}^{N_{ел}} P_{ij}(T), \quad (3.1)$$

де  $P_i(T)$  - імовірність безвідмовної роботи за строк  $T$   $i$ -ої розрахункової частини;

$P_{ij}(T)$  - імовірність безвідмовної роботи за строк  $T$   $j$ -ої деталі (елемента)  $i$ -ої розрахункової частини.

Для елементів, у яких можуть виникати різні види відмов, імовірність безвідмовної роботи, у припущенні про початкову незалежність видів відмов, визначається як добуток окремих імовірностей за формулою (3.2) [22, 39-47]:

$$P_{ij}(T) = \prod_{f=1}^{k_v} P_{ij}^f(T), \quad (3.2)$$

де  $k_v$  - число, яке враховує кількість відмов;  
 $P_{ij}^f(T)$  - імовірність відмови виду  $f$  цього елемента.

### 3.2 Оцінка показників надійності елементів вагона методами математичної статистики

Пошкодження і відмови елементів конструкції є випадковими і тому оцінка залишкового ресурсу має базуватися на основних принципах теорії ймовірності і математичної статистики (додаток В).

Виходячи з досвіду експлуатації вагонів та спостереження за появою ушкоджень вводиться припущення, що ушкодження з'являються випадково і незалежно одне від одного, а імовірність появи пошкодження в досить малому інтервалі часу пропорційна довжині цього інтервалу. При цьому коефіцієнт пропорційності дорівнює  $\lambda$ . Це дозволяє визначити тривалість строку служби елемента до появи відмови з непараметричного виразу імовірності безвідмовної роботи за формулою (3.3) [30]:

$$P(t) = (1 - F(t)) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right), \quad (3.3)$$

де  $\lambda(\tau)$  - сума інтенсивностей відмов  $i$ -их елементів у кожен момент за формулою (3.4):

$$\int_0^t \lambda(\tau) d\tau = \sum_{i=0}^t \int_{i=0}^t \lambda_i(\tau) d\tau. \quad (3.4)$$

Кількісний аналіз інформації включає оцінку характеру несправності окремих елементів або вузлів, а також розрахунок показників пошкоджуваності, відповідно до виразів (3.3) і (3.4).

Первинна обробка статистичних даних може бути представлена обчислювальним процесом, вхідними даними для якого є строк служби ( $t_i$ ), кількість оглянутих ( $N_i$ ) і пошкоджених ( $n_i$ ) елементів в  $i$ -му інтервалі, і полягає у визначенні:

- величини частоти появи несправності в  $i$ -му інтервалі за виразом (3.5):

$$q_i = \frac{n_i}{N_i}; \quad (3.5)$$

- накопиченої інтервальної частоти несправності для  $i$ -го інтервалу за виразом (3.6):

$$r_i = \sum_{j=1}^i q_j = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{N_j}; \quad (3.6)$$

- емпіричної ймовірності роботи елемента в справному стані за  $i$ -ий строк служби за виразом (3.7):

$$Q_i^* = 1 - \exp(-r_i) = 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^i \frac{n_j}{N_j}\right); \quad (3.7)$$

- емпіричної ймовірності відмови елемента за  $i$ -ий строк служби за виразом (3.8):

$$R_i^* = \exp\left(-\sum_{j=1}^i \frac{n_j}{N_j}\right). \quad (3.8)$$

Для моделі раптових міцносних відмов і за умови, що розподіли діючих максимальних напружень і параметрів міцності підкоряються нормальному закону, імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою (3.9) [22]:



$$P(T) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_\varepsilon^2 + v_\varepsilon^2}}\right), \quad (3.9)$$

де  $\bar{n}$  - середнє розрахункове значення коефіцієнта запасу опору втомі;  
 $v_\varepsilon$  - коефіцієнт варіації показників міцності ( $\sigma_t$  або  $\sigma_B$ ).

### 3.3 Оцінка показників надійності для електротехнічних систем

Відповідно до рекомендацій ДСТУ 2862-94 [30], для електротехнічних систем, що не піддаються старінню і зносу, приймається експоненціальний закон розподілу.

Імовірність безвідмовної роботи визначають за формулою (3.10):

$$F(t) = e^{-\lambda t}, \quad (3.10)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність відмов;

Густину пошкоджень (відмов) визначають за формулою (3.11):

$$f(t) = \lambda \cdot \exp\left(-\sum_{j=1}^i \frac{n_j}{N_j}\right). \quad (3.11)$$

Середнє напрацювання до відмови (середній ресурс, середній строк служби, середній строк збереженості) визначають за формулою (3.12) [39-47]:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (3.12)$$

Гама-відсотковий ресурс [39-47] за виразом (3.13):

$$T_\gamma = \frac{1}{\lambda} \left(-\ln \frac{\gamma}{100}\right). \quad (3.13)$$

Визначення параметру потоку відмов

Показник «параметр потоку відмов» у загальному випадку визначається за формулою (3.14) [22, 39-47]:

$$\omega = \frac{\Omega(t_p)}{\bar{t}_p}, \quad (3.14)$$

де  $\Omega(t_p)$  - середня питома кількість відмов вагона цього типу, розрахункових частин або за розрахунковий період експлуатації;

$\bar{t}_p$  - середнє напрацювання вагона за розрахунковий період експлуатації (у роках, тис. км пробігу тощо).

З урахуванням поділу вагона на розрахункові частини (системи), що складаються з окремих елементів (деталей), параметр потоку відмов представляється у виді (3.15) [22]:

$$\omega_B = \sum_i^{N_{ск}} \omega_i = \sum_i^{N_{ск}} \sum_j^{N_{ел}} \omega_{ij}, \quad (3.15)$$

де  $\omega_i$  - параметр потоку відмов  $i$ -ої розрахункової частини (системи) вагона;

$\omega_{ij}$  - параметр потоку відмов  $j$ -го елемента  $i$ -ої розрахункової частини (системи).

Значення параметра потоку відмов для вузлів (елементів) уточнюються або визначаються в процесі експлуатаційних випробувань (Додаток В).

Адекватність вибіркової сукупності досліджуваних вагонів генеральній сукупності досліджува-

них вагонів оцінюється шляхом підбору теоретичного закону розподілу ймовірності роботи елемента в справному стані.

### 3.4 Оцінка показників надійності для конструктивних елементів

У зв'язку з тим, що основні ушкодження, які призводять до відмови, мають втомний характер, як теоретичний закон приймають розподіл Вейбула [39-47]:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right), \quad (3.16)$$

де  $t$  – час напрацювання;

$\theta, \beta$  - параметри розподілу.

Для статистичного оцінювання параметрів розподілу використовують метод максимальної правдоподібності.

Для цього формула для розподілу Вейбула після перестановки членів і подвійного логарифмування перетворюється до виду (3.17):

$$\ln(x) = \frac{1}{\theta} \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(x)}\right) + \ln(\theta)\right) \quad (3.17)$$

або (3.18)

$$y = a + bz. \quad (3.18)$$

Вирівнювання експериментальних даних за рівнянням (3.16) проводиться методом найменших квадратів:

$$U = \sum_{i=1}^K (y_i - (a + bz))^2, \quad (3.19)$$

а сама задача зводиться до визначення таких значень коефіцієнтів  $a$  і  $b$ , які мінімізують суму відхилень емпіричних значень і значень обчислених за формулою (3.16). Для цього необхідно знайти часткові похідні функції (3.19) за коефіцієнтами  $a$  і  $b$  і прирівняти їх до нуля (3.20):

$$\begin{cases} \frac{dU}{da} = \sum_{i=1}^K (y_i - (a + bz)) = 0 \\ \frac{dU}{db} = \sum_{i=1}^K (y_i - (a + bz))z_i = 0 \end{cases}. \quad (3.20)$$

Перетворивши отриману систему рівнянь маємо (3.21):

$$\begin{cases} aK + \sum_{i=1}^K z_i = \sum_{i=1}^K y_i \\ a \sum_{i=1}^K z_i + b \sum_{i=1}^K z_i^2 = \sum_{i=1}^K y_i z_i \end{cases}, \quad (3.21)$$

вирішуючи яку знайдемо коефіцієнти  $a$  та  $b$  за виразами (3.22), (3.23):

$$a = \frac{\sum_{i=1}^K y_i \sum_{i=1}^K z_i^2 - \sum_{i=1}^K y_i z_i \sum_{i=1}^K z_i}{K \sum_{i=1}^K z_i - (\sum_{i=1}^K z_i)^2}; \quad (3.22)$$

$$b = \frac{K \sum_{i=1}^K z_i y_i - \sum_{i=1}^K z_i \sum_{i=1}^K y_i}{K \sum_{i=1}^K z_i - (\sum_{i=1}^K z_i)^2}, \quad (3.23)$$

де  $z_i = \ln\left(\ln \frac{1}{Q_i^*}\right)$ ;  $y_i = \ln(t)$ ;  $\beta = \frac{1}{b}$ ;  $\Theta = e^a$ .

Для порівняння емпіричних і теоретичних функцій розподілу використовується критерій наведений у додатку В.

Числові значення показників надійності елементів вагона визначаються за формулами (3.24)–(3.29) [39-47]:

– імовірність роботи елемента в справному стані

$$P(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right); \quad (3.24)$$

– інтенсивність пошкоджень

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1}; \quad (3.25)$$

– гама-процентний ресурс

$$T_j = \Theta \sqrt{\ln \frac{\gamma}{100}}; \quad (3.26)$$

– параметр потоку ушкоджень за період  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$

$$w(\Delta t) = \frac{1}{\Theta} \left( \exp\left(-\left(\frac{t_i}{\Theta}\right)^\beta\right) - \exp\left(-\left(\frac{t_{i-1}}{\Theta}\right)^\beta\right) \right); \quad (3.27)$$

– середнє напрацювання до пошкодження

$$t_{cp} = \Theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right), \quad (3.28)$$

де  $\Gamma(x)$  – гама-функція, яка визначається за формулою [27]:

$$\frac{1}{\Gamma(x)} = x \exp(cx) \prod_{i=1}^{\infty} \left(1 + \frac{x}{i}\right) \exp\left(-\frac{x}{i}\right), \quad (3.29)$$

де  $c$  – постійна Ейлера-Маскероні.

Під кількістю об'єктів спостереження розуміють кількість виробів, за якими спостерігають, або кількість відмов, які можуть виникнути, або кількість вимірювань, які мають бути виконані під час випробувань.

Визначення мінімальної кількості об'єктів спостережень у заданому часовому інтервалі здійснюється табличним методом [47] і пов'язане з вибором значень довірчої ймовірності, точності, яка характеризується величиною відносної помилки, з законом розподілу досліджуваного параметра, а також з коефіцієнтом варіації випадкової величини.

### 3.5 Показники ремонтпридатності

Показники ремонтпридатності розраховуються виходячи зі складу регламентних робіт під час технічного обслуговування і планових ремонтів вагона, очікуваних розмірів параметра потоку відмов і розподілу відмов вагона за окремими видами відмов у процесі експлуатації за період до пер-

шого планового ремонту і типових поопераційних нормативів трудозатрат під час обслуговування і ремонту вагонів.

Середню тривалість відновлення вагона на довільний момент часу  $t$  (сумарного напрацювання) визначають за формулою (3.30) [22]:

$$T_B(t) = \frac{\sum_{i=1} T_{Bi} \Omega_i(t)}{\sum_{i=1} \Omega_i(t)}, \quad (3.30)$$

де  $T_{Bi}$  - середня тривалість відновлення елемента (складової частини)  $i$ -го типу;

$\Omega_i(t)$  - функція відновлення (математичне очікування кількості відмов) елемента (складової частини)  $i$ -го типу.

Сумарні оперативні трудомісткості технічних оглядів (далі - ТО)  $W_{TO}$  і деповських ремонтів (далі - ДР)  $W_{ДР}$  визначаються за формулами (3.31), (3.32) [22]:

$$W_{TO} = \frac{L_{РЦ}}{L_{TO}} \left( \sum_{j=1}^{K_{TO}} M_j^{TO} \cdot C_j^{TO} + \sum_{i=1}^{N_{НВ}} \omega_i C_i^{TO} \right); \quad (3.31)$$

$$W_{ДР} = \frac{L_{РЦ}}{L_{ДР}} \left( \sum_{j=1}^{K_{ДР}} M_j^{ДР} \cdot C_j^{ДР} + \sum_{i=1}^{N_{НВ}} \Omega_i^{ДР} C_i^{ДР} \right), \quad (3.32)$$

де  $L_{РЦ}$  - тривалість ремонтного циклу (період до капітального ремонту);

$L_{TO}$ ,  $L_{ДР}$  - тривалість експлуатації між ТО або ДР;

$M_j^{TO}$ ,  $M_j^{ДР}$  - найменування  $j$ -ої регламентної роботи з контролю, регулювання, заміни, обслуговування під час ТО і ДР;

$K_{TO}$  і  $K_{ДР}$  - кількість регламентних робіт під час ТО і ДР;

$C_j^{TO}$ ,  $C_j^{ДР}$  - трудозатрати (час, вартість)  $j$ -ої роботи під час ТО і ДР;

$\omega_i$  - параметр потоку відмов за  $i$ -ою несправністю, яка має бути усунута під час ТО (осереднений протягом ремонтного циклу);

$N_{НВ}$  - кількість назв відмов, які усуваються в процесі ТО;

$\Omega_i^{ДР}$  - питома кількість  $i$ -тих відмов, осереднена по всіх ДР за період оцінки показників ремонтпридатності (протягом ремонтного циклу);

$C_i^{TO}$ ,  $C_i^{ДР}$  - трудозатрати (час, вартість) усунення  $i$ -их відмов, у тому числі планових заміни елементів під час ТО і ДР.

Об'єднана питома оперативна трудомісткість (час, вартість) ТО і ДР у загальному випадку розраховується за формулою (3.33) [22]:

$$W_{оп} = \frac{W_{TO} \cdot N_{TO} + W_{ДР} \cdot N_{ДР}}{L_{РЦ}}, \quad (3.33)$$

де  $N_{TO}$  - кількість технічних обслуговувань протягом ремонтного циклу;

$N_{ДР}$  - кількість деповських ремонтів протягом ремонтного циклу.

Кількість об'єктів спостереження у заданому часовому інтервалі  $\Delta t$  визначають табличним методом [47] за значеннями довірчої імовірності, величини відносної помилки і законом розподілу досліджуваного параметра.

Зведені показники надійності та ремонтпридатності пасажирського вагона моделі 61-779 і його модифікацій у цілому і по окремих вузлах наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. Зведена таблиця показників надійності та ремонтпридатності пасажирського вагона моделі 61-779 і його модифікацій у цілому і по окремих вузлах

Назви виробу, складальних одиниць, системи вагона	Позначення нормативного документу	Показники надійності		Показники ремонтпридатності		Примітки по показниках надійності та ремонтпридатності
		Назва величини	Значення показника	Назва величини	Значення показника	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1. Для вагона в цілому</b>						
1. Вагон моделі 61-779 та його модифікації	Чинні ТЗ, ТУ	- призначений строк служби до списання; - призначений строк служби до першого капітального ремонту; - призначений строк служби до другого капітального ремонту	Визначаються за чинними ТЗ, ТУ, погодженими з АТ «Укрзалізниця»	- середній час відновлення до роботоздатного стану після відмови; - середнє напрацювання до відновлення; - встановлене безвідмовне напрацювання	Визначаються за чинними ТЗ, ТУ, погодженими з АТ «Укрзалізниця»	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>2. Генератор та привід генератора</b>						
2.1 Генератор індукторний різнойменно полюсний типу ГИР101У1	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання; - середній строк до капітального ремонту; - імовірність надійної роботи генератора за рік експлуатації в період до першого заводського ремонту	Визначаються в процесі дослідної експлуатації, або за чинними ТУ	- середній час відновлення до роботоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
2.2 Вал карданний НТ60 з редуктором	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання; - параметр потоку відмов; - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до роботоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань



Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
3.8 Шафа розподільча системи автоматизованого управління, контролю та діагностики електрообладнання пасажирського вагона ШР САУКД ПВ	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання; -значення середнього напруження блоку до відмови	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.9 Прилад приймально-контрольний пожежний «Прометей-2»	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання; - параметр потоку відмов - середнє напруження на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.10 Блок виклику провідника	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напруження на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.11 Пульти пасажира	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напруження на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.12 Ящик високовольтний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напруження на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.13 Ящик низьковольтний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напруження на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.14 Ящик зовнішнього живлення	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напруження на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
3.15 Оповісник охоронний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.16 Акумуляторна батарея	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.17 Панель пристрою радіомовлення	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
3.18 Міжвагонне високовольтне з'єднання	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>4. Система кондиціонування</b>						
4.1 Кондиціонер автономний вагонний АВК-30	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
4.2 Заслінка з електроприводом Р100х770Э-1	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
4.3 Фільтр повітряний сітчастий	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань



Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
<b>5. Система опалювання</b>						
5.1 Водонагрівач електричний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.2 Котел опалювальний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.3 Насос циркуляційний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.4 Водяний калорифер «Екватор»	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.5 Мережа опалення (система труб)	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.6 Манометр	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.7 Запірна арматура ПН20. ИТАП	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
5.8 Клапан зворотний ДН20 фірма «Овентрон»	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.9 Клапан запобіжний 245ДН15	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.10 Датчик температури 95° ТРМ11-01-95-04	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.11 Датчик включення бойлера ТРМ11-01-90-04	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.12 Система випуску повітря	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.13 Теплові компенсатори	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.14 Заправні головки що обігріваються (для заправки)	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
5.15 Вимикач рідинний ВЖ-1	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.16 Мережа управління опаленням	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.17 Розширювальний бак	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.18 Колектор	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.19 Повітрянагрівач	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.20 Насос циркуляційний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
5.21 Насос НІР 0,8/30	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
5.22 Реле температури ТРМ-11. 01-65-04	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>6. Система водопостачання</b>						
6.1 Кип'ятильник електричний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
6.2 Водяний бак основний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
6.3 Вимикач рідинний ВЖ-1	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
6.4 Запірна арматура	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
6.5 Головка з'єднувальна 1А	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
6.6 Клапан зворотний	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
6.7 Бак малий	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>7. Сантехнічна система</b>						
7.1 Умивальник 920 Аа-142000	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.2 Дозатор рідкого мила Д1Г	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.3 Дозатор рушник ПН-76/Н-74392-45	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.4 Тримач туалетного паперу У1С	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.5 Смітник 0852	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.6 Бак для фекалій 920 Аа-146100-1	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
7.7 Вакуумний туалет VT-S-568-11-61	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.8 Сенсор рівня води унітаза	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.9 Захисний клапан	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.10 Сенсор тиску	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.11 Вакуумний вузол (вакуумний насос)	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.12 Сенсор рівня в ємності для води	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.13 Впускна засувка	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
7.14 Процесор управління	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.15 Клапан швидкого продування	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
7.16 Сервісний термінал	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
8 Спеціальний апарат телефонний транспортний «бригадир»	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>9. Внутрішнє немеханічне устаткування</b>						
9.1 Вікна	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
9.2 Двері	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
9.3 Сидіння і полиці	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	- призначений строк служби до списання - параметр потоку відмов - середнє напрацювання на відмову	Визначаються в процесі дослідної експлуатації або за чинними ТУ	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань або за чинними ТУ	За наявності в ТУ уточнюються в процесі експлуатації або випробувань

Кінець таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
<b>10. Ходова частина</b>						
10.1 Ходова частина (візок)	ТВЗ ЦНИИ тип М ГОСТ 10527-84	- Призначений строк служби основних несних елементів конструкції (рама, надресорна балка) до першого капітального ремонту - середнє напрацювання до першої відмови	5 років  не менше ніж 190тис. км.	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначається за експлуатаційними даними аналогів  Визначається за експлуатаційними даними аналогів	Уточнюються в процесі експлуатації або випробувань  Уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>11. Гальмівна система</b>						
11.1 Гальмівна система	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - середнє напрацювання на відмову	Визначаються за експлуатаційними даними аналогів	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються за експлуатаційними даними аналогів	Уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
<b>12. Ударно-тягові прилади</b>						
12.1 Автотзеп	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - середнє напрацювання на відмову	Визначаються за експлуатаційними даними аналогів	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються за експлуатаційними даними аналогів	Уточнюються в процесі експлуатації або випробувань
12.2 Поглинальний апарат	Чинні ТУ або інша технічна документація, погоджена з АТ «Укрзалізниця»	-призначений строк служби до списання - середнє напрацювання на відмову	Визначаються за експлуатаційними даними аналогів	- середній час відновлення до робоздатного стану після відмови; - трудомісткість	Визначаються в процесі випробувань	Уточнюються в процесі експлуатації



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Калабухін Ю.Є., Мартинов І.Е., Труфанова А.В. Аналіз експлуатаційних складових економіко-технологічних станів життєвого циклу пасажирських вагонів. Збірник наукових праць «Рейковий рух-мий склад». 2022. Вип. 24. С. 124-139. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-24-124-139>.
- 2 ЦІ 0070 Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження. Введено на підставі наказу Укрзалізниці від 25.06.2008 р. № 304-Ц. К.: Нескінченне джерело, 2008. 60 с.
- 3 Мямлін С.В., Рейдемейстер О.Г., Калашник В.О. Науково-технічне обслуговування продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів після КВР. Вагонний парк. 2015. № 11-12 (104-105). С. 4-7.
- 4 Остапюк Б.Я. Продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2004. Вип. 24. С. 124-139.
- 5 Мямлін С.В., Рейдемейстер О.Г., Пуларія А.Л., Калашник В.О. Обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів з осередками корозії хребтової балки. Вісник ДНУЗТ. 2015. № 5 (59). С. 132-140. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55337>
- 6 Myamlin S.V., Reidemeister O.H., Pularia A.L., Kalashnyk V.O. Development of recommendations for extending the useful life of passenger cars. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2015. № 6 (60). С. 118 – 126. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57096>
- 7 Шикунів О.А., Рейдемейстер О.Г., Анофрієв В. Г., Кирильчук О.А, Донев О.А. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів. Вагонний парк. 2012. № 12. С. 4-6
- 8 Радкевич М.М., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П. Дослідження залишкового ресурсу та встановлення граничного терміну експлуатації некупейних пасажирських вагонів побудови КВЗ. Збірник ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2020. Вип. 36. С. 54-62. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-6>
- 9 Радкевич М.М., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П. Дослідження залишкового ресурсу спеціальних вагонів. Збірник ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2021. Вип. 37. С. 50-58. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-37-6>
- 10 Мартинов І.Е., Труфанова А.В., Павленко Ю.С., Сергієнко М.О. Аналіз технічного стану пасажирських вагонів. Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Транспортне машинобудування. Х.: НТУ «ХПІ». 2018. № 45 (1321). С. 41-46.
- 11 Радкевич М.М., Сапронова С.Ю., Брайковська Н.С., Ткаченко В.П. Удосконалення методики технічного діагностування пасажирських вагонів. Збірник ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2021. Вип. 38. С. 80-87. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-80-7>
- 12 Єжов Ю.В., Павленко Ю.С., Войтенко О.І. Удосконалення діючої системи продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів. Збірник наукових праць «Рейковий рух-мий склад». 2018. Вип. 17. С. 46-50.
- 13 Мямлін С.В., Горобець В.Л. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава. Вісник сертифікації залізничного транспорту. 2011. № 8. С. 12-17.
- 14 Божок Н.О., Булгакова Ю.В., Пуларія А.А. Дослідження сучасного стану парку пасажирських вагонів. Збірник наукових праць ДНУЗТ. Проблеми економіки транспорту. 2014. Вип. 8. С. 78-87.
- 15 Лобойко Л.М., Бараш Ю.С., Карась О.О. Оцінка варіантів продовження терміну служби пасажирських вагонів. Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. 2008. № 20. С. 240-245.
- 16 Мартинов І.Е., Труфанова А.В., Сергієнко М.О. До питань прогнозування залишкового ресурсу рам пасажирських вагонів. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2019. Вип. 34. С. 144–154. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-34-1-12>
- 17 Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. 258 с.
- 18 РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. М.: ГосНИИВ, 1995. 101 с.
- 19 Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта (изд. 2-е перераб.). М.: Наука, 1970. 432 с.
- 20 Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высшая школа, 1988. 239 с.
- 21 Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 232 с.

- 22 ДСТУ 7774:2015 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2017. 144 с.
- 23 Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
- 24 ДСТУ 4049-2001 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки. Введено на підставі наказу Держстандарту України від 29.08.2001 р. № 432. К.: Держстандарт, 2001. 18 с.
- 25 Публічне акціонерне товариство «Крюківський вагонобудівний завод» (офіційний сайт) [Електронний ресурс]. URL: <https://kvsz.com/index.php/ua/produksiya/pasazhirske-vagonobuduvannya/pasazhirski-vagoni-lokomotivnoji-tyagi>. Назва з екрану.
- 26 Звіт про НДР «Дослідження причин відмов електрообладнання пасажирських вагонів швидкісних поїздів та визначення показників надійності (заключний)» (ДР 0108U008191) / ДП «УкрНДІВ»; Распопін В., Водянніков Ю., Снітко Л., Гречко А., Сичов С., Мельник О., Сулим А., Федоров В. Кременчук, 2009. 185 с.
- 27 Калабухін Ю.Є., Мартинов І.Е., Труфанова А.В. Мартинов С.І. Аналіз технічного стану внутрішнього обладнання пасажирських вагонів. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2022. Вип. 25. С. 51-65. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-51-65>.
- 28 ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Введ. на підставі наказу Держстандарту від 28.12.1994 р. № 333. Чинний від 1996-01-01. К.: Держстандарт України, 1994. 92 с.
- 29 ДСТУ 2864-94 Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. Введ. на підставі наказу Держстандарту від 08.12.1994 р. № 310. Чинний від 1997-01-01. К.: Держстандарт України, 1994. 30 с.
- 30 ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунків показників надійності. Загальні вимоги. Введ. на підставі наказу Держстандарту від 08.12.1994 р. № 310. Чинний від 1997-01-01. К.: Держстандарт України, 1994. 38 с.
- 31 ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Введ. на підставі наказу Держстандарту від 25.01.1995 р. № 31. Чинний від 1996-01-01. К.: Держстандарт України, 1995. 122 с.
- 32 ГОСТ 27410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. Введен с 01.01.1989. М., 1988. 109 с.
- 33 ГОСТ 21623-76 Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения. Введен с 01.01.1977. М., 1976. 17 с.
- 34 ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Введен с 01.01.1981. М., 1980. 18 с.
- 35 ЦВ-0036 Правила деповського ремонту (ДР). Вагони пасажирські суцільнометалеві. Затв. та введ. на підставі наказу Укрзалізниці від 25.06.2003 р. № 224-Ц. К.: Укрзалізниця, 2003. 101 с.
- 36 ЦЛ-0069 Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку. Затв. та введ. на підставі наказу Укрзалізниці від 28.12.2007 № 635-Ц. К.: Нескінченне джерело, 2008. 40 с.
- 37 ЦЛ-0041 Вагони пасажирські суцільнометалеві. Правила капітального ремонту (КР-1). Затв. та введ. в дію наказом Укрзалізниці від 20.08.2004 № 643-ЦЗ. К.: Укрзалізниця, 2005. 103 с.
- 38 ЦЛ-0044 Вагони пасажирські суцільнометалеві. Правила капітального ремонту (КР-2). Затв. та введ. в дію на підставі наказу Укрзалізниці від 22.02.2005 р. № 059-ЦЗ. К.: Укрзалізниця, 2005. 152 с.
- 39 Баврин И.И. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. школа, 2005. 160 с.
- 40 Вентцель Е. С., Овчаров Л.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей: учеб. пособие для студ. вузов 5-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 448 с.
- 41 Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике М., Высш. школа, 2004. 404 с.
- 42 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. Изд. 12-е, перераб. М.: Высшая школа, 2009. 478с.
- 43 Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: учебник. Изд. 8-е, испр. и доп. М.: Едиториал УРСС, 2005. 448 с.
- 44 Кибзун А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами. М.: Физматлит, 2002. 224 с.
- 45 Максимов Ю.Д. Вероятностные разделы математики. Изд.: Иван Федоров, 2001. 592 с.
- 46 Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие. 2-е изд., исправл. и дополн. М.: Физматлит, 2002. 496 с.
- 47 Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.

*Додаток А. Критичні точки розподілу Стьюдента (t-критерію)*

**Таблиця А. Значення точок критерію Стьюдента (t-критерію)**

p - довірчі ймовірності; f - кількості ступенів свободи.

<i>f</i>	<i>p</i>							
	<b>0,80</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,995</b>	<b>0,998</b>	<b>0,999</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	3,0770	6,3130	12,7060	31,820	63,656	127,656	318,306	636,619
<b>2</b>	1,8850	2,9200	4,3020	6,964	9,924	14,089	22,327	31,599
<b>3</b>	1,6377	2,35340	3,182	4,540	5,840	7,458	10,214	12,924
<b>4</b>	1,5332	2,13180	2,776	3,746	4,604	5,597	7,173	8,610
<b>5</b>	1,4759	2,01500	2,570	3,649	4,0321	4,773	5,893	6,863
<b>6</b>	1,4390	1,943	2,4460	3,1420	3,7070	4,316	5,2070	5,958
<b>7</b>	1,4149	1,8946	2,3646	2,998	3,4995	4,2293	4,785	5,4079
<b>8</b>	1,3968	1,8596	2,3060	2,8965	3,3554	3,832	4,5008	5,0413
<b>9</b>	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	3,6897	4,2968	4,780
<b>10</b>	1,3720	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	3,5814	4,1437	4,5869
<b>11</b>	1,363	1,795	2,201	2,718	3,105	3,496	4,024	4,437
<b>12</b>	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0845	3,4284	3,929	4,178
<b>13</b>	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,1123	3,3725	3,852	4,220
<b>14</b>	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,976	3,3257	3,787	4,140
<b>15</b>	1,3406	1,7530	2,1314	2,6025	2,9467	3,2860	3,732	4,072
<b>16</b>	1,3360	1,7450	2,1190	2,5830	2,9200	3,2520	3,6860	4,0150
<b>17</b>	1,3334	1,7396	2,1098	2,5668	2,8982	3,2224	3,6458	3,965
<b>18</b>	1,3304	1,7341	2,1009	2,5514	2,8784	3,1966	3,6105	3,9216
<b>19</b>	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,1737	3,5794	3,8834
<b>20</b>	1,3253	1,7247	2,08600	2,5280	2,8453	3,1534	3,5518	3,8495
<b>21</b>	1,3230	1,7200	2,2,0790	2,5170	2,8310	3,1350	3,5270	3,8190
<b>22</b>	1,3212	1,7117	2,0739	2,5083	2,8188	3,1188	3,5050	3,7921
<b>23</b>	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,1040	3,4850	3,7676
<b>24</b>	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,0905	3,4668	3,7454
<b>25</b>	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,0782	3,4502	3,7251
<b>26</b>	1,315	1,705	2,059	2,478	2,778	3,0660	3,4360	3,7060

Кінець таблиці А

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>27</b>	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,0565	3,4210	3,6896
<b>28</b>	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,0469	3,4082	3,6739
<b>29</b>	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,0360	3,3962	3,8494
<b>30</b>	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,0298	3,3852	3,6460
<b>32</b>	1,3080	1,6930	2,0360	2,4480	2,7380	3,0140	3,3650	3,6210
<b>34</b>	1,3070	1,6909	2,0322	2,4411	2,7284	3,9520	3,3479	3,6007
<b>36</b>	1,3050	1,6883	2,0281	2,4345	2,7195	9,490	3,3326	3,5821
<b>38</b>	1,3042	1,6860	2,0244	2,4286	2,7116	3,9808	3,3190	3,5657
<b>40</b>	1,303	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	3,9712	3,3069	3,5510
<b>42</b>	1,320	1,682	2,018	2,418	2,6980	2,6930	3,2960	3,5370
<b>44</b>	1,301	1,6802	2,0154	2,4141	2,6923	3,9555	3,2861	3,5258
<b>46</b>	1,300	1,6767	2,0129	2,4102	2,6870	3,9488	3,2771	3,5150
<b>48</b>	1,299	1,6772	2,0106	2,4056	2,6822	3,9426	3,2689	3,5051
<b>50</b>	1,298	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778	3,9370	3,2614	3,4060
<b>55</b>	1,2997	1,673	2,0040	2,3960	2,6680	2,9240	3,2560	3,4760
<b>60</b>	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603	3,9146	3,2317	3,4602
<b>65</b>	1,2947	1,6686	1,997	2,3851	2,6536	3,9060	3,2204	3,4466
<b>70</b>	1,2938	1,6689	1,9944	2,3808	2,6479	3,8987	3,2108	3,4350
<b>80</b>	1,2820	1,6640	1,9900	2,3730	2,6380	2,8870	3,1950	3,4160
<b>90</b>	1,2910	1,6620	1,9867	2,3885	2,6316	2,8779	3,1833	3,4019
<b>100</b>	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259	2,8707	3,1737	3,3905
<b>120</b>	1,2888	1,6577	1,9719	2,3578	2,6174	2,8598	3,1595	3,3735
<b>150</b>	1,2872	1,6551	1,9759	2,3515	2,6090	2,8482	3,1455	3,3566
<b>200</b>	1,2858	1,6525	1,9719	2,3451	2,6006	2,8385	3,1315	3,3398
<b>250</b>	1,2849	1,6510	1,9695	2,3414	2,5966	2,8222	3,1232	3,3299
<b>300</b>	1,2844	1,6499	1,9679	2,3388	2,5923	2,8279	3,1176	3,3233
<b>400</b>	1,2837	1,6487	1,9659	2,3357	2,5882	2,8227	3,1107	3,3150
<b>500</b>	1,2830	1,6470	1,9640	2,3330	2,7850	2,8190	3,1060	3,3100

Таблиця Б. Критичні точки розподілу Пірсона

Число ступенів свободи $k$	Рівень значущості $\alpha$					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,6	5,0	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6,0	0,103	0,051	0,020
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	11,1	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16,0	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19,0	16,9	3,33	2,70	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,40	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25,0	7,26	6,26	5,23
16	32,0	28,8	26,3	7,96	6,91	5,81
17	33,4	30,2	27,6	8,67	7,56	6,41
18	34,8	31,5	28,9	9,39	8,23	7,01
19	36,2	32,9	30,1	10,1	8,91	7,63
20	37,6	34,2	31,4	10,9	9,59	8,26
21	38,9	35,5	32,7	11,6	10,3	8,90
22	40,3	36,8	33,9	12,3	11,0	9,54
23	41,6	38,1	35,2	13,1	11,7	10,2
24	43,0	39,4	36,4	13,8	12,4	10,9
25	44,3	40,6	37,7	14,6	13,1	11,5
26	45,6	41,9	38,9	15,4	13,8	12,2
27	47,0	43,2	40,1	16,2	14,6	12,9
28	48,3	44,5	41,3	16,9	15,3	13,6
29	49,6	45,7	42,6	17,7	16,0	14,3
30	50,9	47,0	43,8	18,5	16,8	15,0

Під час вирішення завдань математичної статистики використовуються критичні точки  $\chi^2(k)$ , які залежать від заданої ймовірності  $\alpha$  і кількості ступенів свободи  $k$  (див. табл. Б). Критична точка  $\chi_{кр}^2 = \chi^2(k, \alpha)$  є границею області, правіше від якої лежить  $100 - \alpha\%$  площі під кривою щільності розподілу. Імовірність того, що значення випадкової величини  $K \sim \chi^2(k)$  під час випробувань потрапить правіше за точку  $\chi^2(k)$  не перевищує  $P(K \geq \chi_{кр}^2) = \alpha$ . Наприклад, для випадкової величини  $K \sim \chi^2(20)$  задамо ймовірність  $\alpha = 0,05$ . За таблицею критичних точок розподілу  $\chi^2$  (таблиці Б) знаходимо  $\chi_{кр}^2 = \chi^2(20; 0,05) = 31,4$ . Значить, імовірність цієї випадкової величини  $K$  набути значення більшого за 31,4 менше ніж 0,05 (рис. Б.1).

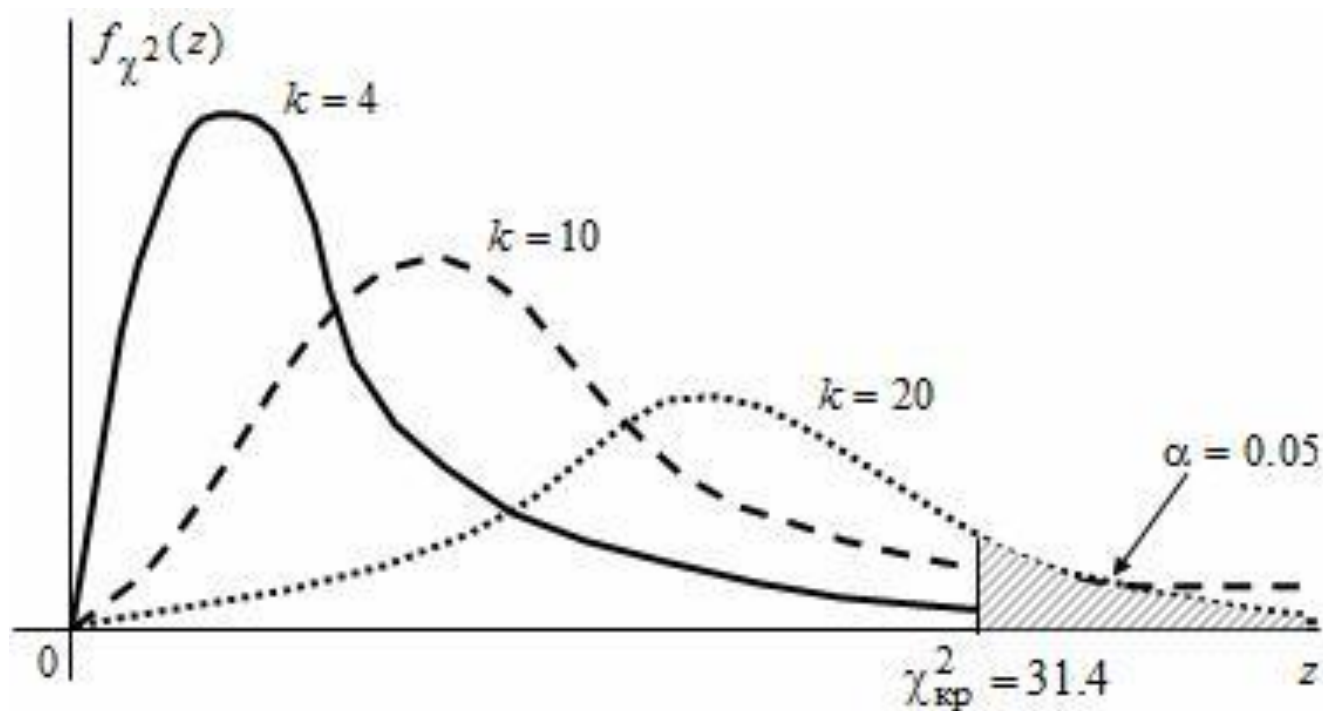


Рисунок Б.1 - Графік щільності розподілу  $\chi^2(k)$  за різних значень кількості ступенів свободи  $k$

## 1 ІМОВІРНІСТЬ

**Визначення.** Імовірністю події А називають відношення кількості подій  $m$ , сприятливих для події А до загальної кількості рівноможливих подій  $n$ , тобто

$$P(A) = \frac{m}{n}; m \leq n. \quad (B.1)$$

У теорії ймовірностей під подією розуміють все те, що може статися, але може і не статися в результаті виконання деякої сукупності (комплексу) умов. Подію розглядають як результат випробувань. Наприклад, влучання в ціль при пострілі: постріл - це випробування, а влучання або невлучання в ціль - це подія, підкидання монети - це випробування, а випадіння герба - подія тощо.

Види подій:

1) **Вірогідною** називається подія, якщо вона неодмінно має статися в цьому випробуванні. Наприклад, якщо в урні є тільки червоні кулі, то при вийманні кулі подія, що полягає в появі червоної кулі, є вірогідною подією.

2) **Неможливою** називається подія, якщо в цьому випробуванні вона явно не станеться. Так, якщо в урні є тільки червоні кулі, то при вийманні з урни кулі подія, яка полягає в тому, що ця куля вийдеться білою є неможливою.

3) **Протилежними** називаються дві події, одна з яких обов'язково має відбутися в цьому випробуванні, але настання однієї виключає настання іншої. Наприклад, події «деталь стандартна» і «деталь нестандартна» - протилежні події.

4) **Несумісними** називаються події, якщо поява однієї з них у випробуванні виключає можливість появи інших у цьому ж випробуванні. Наприклад, подія А - учень отримав на іспиті оцінку «відмінно», а подія В - той же учень отримав на іспиті оцінку «добре», то А і В - несумісні події, несумісними будуть також протилежні події.

5) **Сумісними** називаються події, якщо поява події А не виключає можливості появи і події В. Наприклад, два стрільці одночасно роблять по одному пострілу, тоді подія А - влучання в ціль першим стрільцем, і подія В - влучання в ціль другим стрільцем, будуть сумісними.

6) **Рівноможливими** вважаються події  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ , якщо не існує ніяких об'єктивних причин, внаслідок яких одна з них могла б наставати частіше, ніж будь-яка інша. Наприклад, поява напису або герба при киданні монети - події рівноможливі, поява того чи іншого числа очок на кинутій гральній кості є також рівноможливими подіями.

7) **Єдино можливими** у випробуванні називаються події А В С ... М, якщо поява хоча б однієї з них в цьому випробуванні є вірогідною подією. Наприклад, події: А - оцінка учня «відмінно», В - оцінка учня «добре», С - оцінка учня «задовільно», D - оцінка учня «незадовільно» єдино можливі події.

8) **Повна система подій.** Події  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  утворюють повну систему подій, якщо вони єдино можливі і несумісні. Найпростішим прикладом повної системи подій є система двох протилежних подій. Очевидно, якщо  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  утворюють повну систему подій, то справедлива рівність:  $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = U$ .

9) **Рівносильними** називаються події А і В, якщо настання А призводить до настання В, а настання В спричиняє настання А. Якщо, наприклад, в урні є кулі різних діаметрів, то подія А, що полягає в добуванні кулі найменшого діаметра, і подія В, що полягає в добуванні кулі найменшого об'єму, є рівносильними подіями. Рівносильні також усі вірогідні і всі неможливі події.

### 1.1 Розрахункові залежності

1. Визначення імовірності події, див. (B.1).

2. Імовірність протилежної події.

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A) \text{ та } P(A) + P(\bar{A}) = 1. \quad (B.2)$$

3. Імовірність суми несумісних подій

$$P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (B.3)$$

де А і В - несумісні події (тобто в ході проведення експерименту не можуть відбутися одночасно);

4. Імовірність добутку незалежних подій

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B), \quad (B.4)$$

де  $A$  і  $B$  - незалежні події (тобто ймовірність однієї події залишається незмінною незалежно від того, відбулася чи ні інша подія);

5. Імовірність добутку залежних подій

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B/A) = P(B) \cdot P(A/B), \quad (B.5)$$

де  $P(A/B)$  - імовірність події  $A$  за умови, що подія  $B$  вже відбулася (аналогічно і для  $P(B/A)$ );

6. Імовірність появи хоча б однієї з подій  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , незалежних в сукупності, дорівнює різниці між одиницею і добутком імовірностей протилежних подій

$$P(A) = 1 - q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n, \quad (B.6)$$

де  $q_1 \dots q_n$  - імовірності протилежних подій.

7. Імовірність суми сумісних подій

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB). \quad (B.7)$$

8. Формула Бернуллі для визначення ймовірності появи події  $A$  рівно  $m$  разів (байдуже в якому порядку) з імовірністю  $p$  в одному виході з серії з  $n$  експериментів

$$P_{m,n} = C_n^m \cdot p^m \cdot (1 - p)^{n-m}, \quad (B.8)$$

де  $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$  - кількість поєднань з  $n$  по  $m$ ;  $n!$  називається факторіалом числа і обчислюється за формулою  $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$ .

### Поєднання

Визначення. Поєднанням з  $n$  елементів по  $k$  називається будь-яка підмножина  $M$ , що складається з  $k$  елементів. Два поєднання з  $n$  елементів по  $k$  вважаються різними в тому і тільки в тому випадку, якщо в одному з них є, принаймні, хоча б один елемент, що не міститься в іншому. У поєднаннях не важливий порядок елементів, а важливий лише їх склад. Так, наприклад, з безлічі  $M = \{1, 2, 3, 4\}$  можна скласти чотири різних поєднання з 4 по 3:  $\{1, 2, 3\}$ ,  $\{1, 2, 4\}$ ,  $\{2, 3, 4\}$ ,  $\{1, 3, 4\}$ .

Число всіх можливих поєднань з  $n$  елементів по  $k$ , де  $k \leq n$  визначається за формулою:

$$C_n^k = \frac{n!}{k! \cdot (n - k)!} \quad (B.9)$$

Вираз (B.9) використовується у формулі бінома Ньютона в якості біноміальних коефіцієнтів: **якими б не були числа «а» і «в» і яке б не було натуральне число  $n$ , має місце формула бінома Ньютона**

$$(a + b)^n = a^n + C_n^1 \cdot a^{n-1} \cdot b + \dots + C_n^k \cdot a^{n-k} \cdot b^k + \dots + C_n^{n-1} \cdot a \cdot b^{n-1} + b^n. \quad (B.10)$$

Біноміальні коефіцієнти можна підраховувати, користуючись трикутником Паскаля, який має вигляд:

				1						
				1	2	1				
			1	3	3	1				
		1	4	6	4	1				
	1	5	10	10	5	1				
1	6	15	20	15	6	1				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Спосіб вирішення завдань безпосереднього визначення ймовірності подій полягає в наступному:

- 1) З умови задачі знаходять повну систему  $n$  подій, тобто безліч усіх єдино можливих, несумісних і рівно можливих випадків;
- 2) Підраховують число випадків  $m$ , що сприяють події, що нас цікавить;



3) Обчислюємо відношення  $\frac{m}{n}$ , яке і дасть шукану ймовірність.

## 2. МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА

Математична статистика - це наукова дисципліна, предметом вивчення якої є розробка методів реєстрації, опису та аналізу статистичних експериментальних даних, отриманих в результаті спостережень масових випадкових явищ.

Основними завданнями математичної статистики є:

- визначення закону розподілу випадкової величини або системи випадкових величин;
- перевірка правдоподібності гіпотез;
- визначення невідомих параметрів розподілу.

### 2.1 Основні терміни

• **Генеральна вибірка** - набір даних, що містить інформацію про кожен елемент групи або про всі можливі виміри;

• **Вибірка** - набір даних на деякій підмножині генеральної сукупності;

• **Випадковий відбір** - метод формування вибірки, за якого в неї з однаковою ймовірністю можуть потрапити елементи, що належать до генеральної сукупності;

• **Помилка** - різниця між оцінкою величини і її істинним значенням;

• **Відхилення** - різниця між значенням вхідної в вибірку величини і середнім вибірковою значенням;

• **Середнє арифметичне** - сума всіх значень, які входять в набір, поділена на їх кількість;

• **Стандартне відхилення** - середнє значення, що характеризує діапазон розкиду величин, які входять у набір даних, біля середнього арифметичного;

• **Дисперсія** - стандартне відхилення, піднесене до квадрату;

• **Довірчий рівень** - процентне відношення випадків, значення яких виявляється істинним (часто застосовується довірчий рівень, що дорівнює 95% або 0,95);

• **Рівень достовірності** - для його обчислення треба від одиниці відняти довірчий рівень (наприклад  $1-0,95 = 0,05$  або 5%);

• **Довірчий інтервал** - визначається з урахуванням математичного очікування, стандартного відхилення та довірчого рівня.

Усі методи математичної статистики засновані на теорії ймовірностей. Однак, зважаючи на специфічність вирішуваних завдань, математична статистика виділяється з теорії ймовірностей в самостійну область. Якщо в теорії ймовірностей вважається заданою модель явища і проводиться розрахунок можливого реального перебігу цього явища (рис. В.1), то в математичній статистиці підбирається підходяща теоретико-ймовірнісна модель, виходячи зі статистичних даних (рис. В.2).

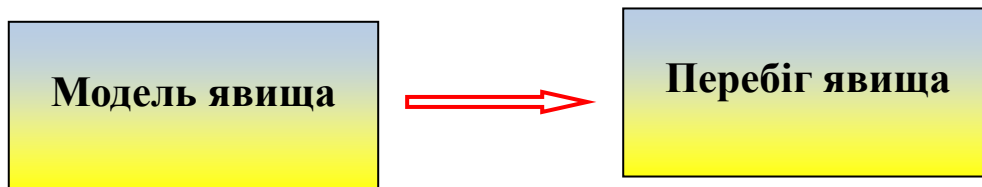


Рисунок В.1 - Загальна задача теорії ймовірностей

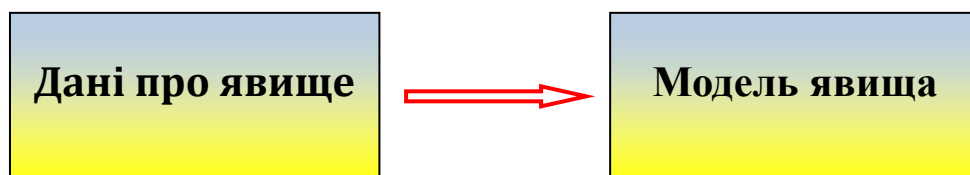


Рисунок В.2 - Загальна задача математичної статистики

Як наукова дисципліна математична статистика розвивалася разом з теорією ймовірностей. Математичний апарат цієї науки побудований у другій половині XIX століття.

**Поняття про випадкові величини.** Випадковою величиною називають таку змінну величину, яка в результаті досліду може набувати того чи іншого заздалегідь невідомого значення. Розрізняють два основних типи випадкових величин: дискретні і безперервні. **Дискретна** випадкова величина може набувати кінцевого або скінченної (зліченної) множини значень  $x_i$  (їх можна пронумерувати). Можливі значення **безперервних** випадкових величин не можуть бути заздалегідь перераховані і безперервно заповнюють деякий проміжок або навіть всю вісь.

Повною статистичною характеристикою одновимірної випадкової величини є закон розподілу ймовірностей. У разі дискретної випадкової величини  $X$  під ним розуміють співвідношення, яке встановлює залежність між можливими значеннями  $x_i$  дискретної випадкової величини та їхніми ймовірностями  $p_i = p(x_i)$ .

Функція розподілу дискретної випадкової величини є ступінчастою функцією зі стрибками в точках  $x_1, x_2, x_3, \dots$ , а функція розподілу неперервної випадкової величини - безперервною функцією.

Закон розподілу дискретної величини можна задати в різних формах: табличній (ряд розподілу), графічній (багатокутник розподілу), аналітичній (у вигляді формули).

Універсальною характеристикою, однаково придатною як для дискретних, так і для безперервних одновимірних випадкових величин, є функція розподілу ймовірностей  $F(x)$ , що визначає ймовірність  $P$  того, що випадкова величина  $X$  набуде значення меншого за деяке число  $X$ :  $F(x) = P(X < x)$ .

Функцію розподілу  $F(x)$  іноді називають також інтегральною функцією розподілу або інтегральним законом розподілу.

### 2.2 Властивості функції розподілу

1.  $F(-\infty) = \lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$ ;
2.  $F(\infty) = \lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$ ;
3.  $F(x)$  - неспадна функція, тобто  $F(x_2) \geq F(x_1)$  при  $x_2 \geq x_1$ ;
4.  $P(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1)$ .

Функції розподілу, які мають похідні у всій області можливих значень випадкових величин, характеризуються щільністю розподілу

Щільність розподілу ймовірності  $p(x)$ , яка іноді називається диференціальним законом розподілу або диференціальною функцією розподілу, визначається як похідна функції розподілу:

$$p(x) = \frac{dF(x)}{dx}. \tag{B.11}$$

У таблиці В.1 наведено перелік поширених дискретних і безперервних розподілів.

Таблиця В.1. Перелік дискретних і неперервних розподілів

Номер розподілу	Назва розподілу	Кількість параметрів
<b>Дискретні</b>		
1	Бернуллі	1
2	Біноміальний	2
3	Дискретно рівномірний	2
4	Геометричний	1
5	Від'ємний біноміальний	2
<b>Безперервні</b>		
6	Пуассона	1
7	Бета	2
8	Хі-квадрат	1
9	Ерланга	2
10	Експоненціальний (показовий)	1
11	Фішера	2

Кінець таблиці В.1

Номер розподілу	Назва розподілу	Кількість параметрів
12	Гамма	
13	Логнормальний	2
14	Нормальний	2
15	Стюдента	1
16	Трикутний	3
17	Рівномірний	2
18	Вейбула	2

### 2.3 Основні властивості щільності ймовірності

1. Щільність ймовірності невід'ємна, тобто  $p(x) \geq 0$ ;
2. Імовірність потрапляння неперервної випадкової величини в інтервал  $(x_1, x_2)$  дорівнює інтегралу від щільності в цих границях:

$$P(x_1 \leq X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p(x) \cdot dx = F(x_2) - F(x_1). \quad (\text{B.12})$$

Інтеграл в нескінченних межах від функції  $p(x)$  дорівнює одиниці (умова нормування);

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot dx = 1. \quad (\text{B.13})$$

### 2.4 Числові характеристики випадкової величини X

Найбільш важливими числовими характеристиками випадкової величини X є:

**Математичне очікування  $M(X)=m_x$**

Для дискретної випадкової величини X математичне очікування визначається за формулою:

$$m_x = M(X) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i; \quad (\text{B.14})$$

для неперервної випадкової величини X з щільністю ймовірності за формулою:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p(x) \cdot dx. \quad (\text{B.15})$$

**Дисперсія  $D(X)=\sigma^2$**

Формули для дисперсії для дискретної  $S^2$  і безперервної  $\sigma^2$  випадкових величин відповідно мають вигляд:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - m_x)^2}{N_{\text{виб}} - 1} = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \cdot p_i; \quad (\text{B.16})$$

$$D(X) = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - m_x)^2}{N_{\text{сук}}} = \int_{-\infty}^{\infty} (x_i - m_x)^2 \cdot p(x) \cdot dx, \quad (\text{B.17})$$

де  $N_{\text{виб}}$  - величина вибірки випадкових величин;

$N_{\text{сук}}$  - сукупність випадкових величин.

Математичне очікування визначає абсцису центру ваги кривої розподілу, а дисперсія - розсіювання (розкид) випадкової величини щодо її математичного очікування. Розсіювання випадкової величини часто характеризується середнім квадратичним відхиленням:

для неперервної випадкової величини

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}; \quad (\text{B.18})$$

для дискретної випадкової величини (стандартне відхилення)

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (\text{B.19})$$

Нерівність Чебишева. Імовірність того, що відхилення випадкової величини  $X$  від її математичного очікування за абсолютною величиною менше ніж позитивне число  $\Delta$  не менша ніж

$$P(|X - M(X)| < \Delta) \geq \frac{D(X)}{\Delta^2}. \quad (\text{B.20})$$

### **Моментні характеристики розподілів**

Важливу роль в статистиці грають моментні характеристики розподілів. Розрізняють початкові та центральні моменти, які визначаються порядком  $k$ .

Початковий момент порядку  $k$  для безперервних розподілів:

$$m_k = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k \cdot f(x) dx = M[x^k]. \quad (\text{B.21})$$

Для дискретних розподілів:

$$m_k = \sum_{i=1}^t x^k \cdot P_i = M[x^k]. \quad (\text{B.22})$$

Центральний момент порядку  $k$  для безперервних розподілів:

$$M_k = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^k \cdot f(x) dx = M[(x - \bar{x})^k]. \quad (\text{B.23})$$

Для дискретних розподілів:

$$M_k = \sum_{i=1}^t (x - \bar{x})^k \cdot P_i = M[(x - \bar{x})^k]. \quad (\text{B.24})$$

Центральний момент нульового порядку  $M_0 = 1$ .

Центральний момент першого порядку

$$M_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x}) \cdot f(x) dx = 0. \quad (\text{B.25})$$

Центральний момент другого порядку (дисперсія)

$$M_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 \cdot f(x) dx = \sigma. \quad (B.26)$$

Центральний момент третього порядку (асиметрія)

$$A = \frac{M_3}{\sigma^3}. \quad (B.27)$$

Центральний момент четвертого порядку (ексцес)

$$E = \frac{M_4}{\sigma^4} - 3. \quad (B.28)$$

На рисунках В.3 і В.4 наведені графіки центральних моментів третього і четвертого порядків з різними асиметрією і ексцесом.

Ексцес характеризує «гостру» ( $E > 0$ ) або згладжену ( $E < 0$ ) вершину розподілу порівняно з деяким еталонним розподілом ( $E = 0$ ), за який вважають нормальний розподіл. Асиметрія характеризує форму кривої розподілу.

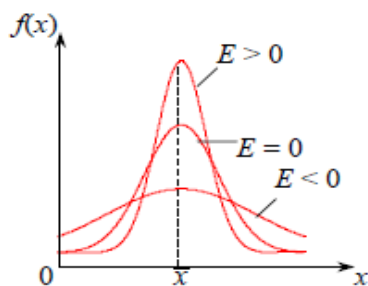


Рисунок В.3. Графік центральних моментів третього порядку

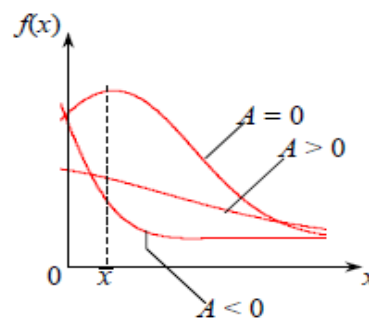


Рисунок В.4. Графік центральних моментів четвертого порядку

### 2.5 Генеральна та вибіркова сукупності

Для вивчення статистичних методів вводяться поняття генеральної і вибіркової сукупностей. У загальному випадку під *генеральною сукупністю* розуміють випадкову величину  $X$  з функцією розподілу  $F(x)$ . Вибірковою сукупністю чи вибіркою обсягу  $N_{\text{виб}}$  для даної випадкової величини  $X$  називають набір  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  незалежних спостережень цієї величини, де  $x_i$  називають вибіркоvim значенням або реалізацією випадкової величини  $X$ . Таким чином,  $x_i$  можна розглядати як числа (якщо експеримент проведений і вибірка відбулася) і як випадкові величини (до проведення експерименту), оскільки вони змінюються від вибірки до вибірки.

Для того щоб за даними вибірки впевнено судити про ознаки генеральної сукупності, які нас цікавлять, об'єкти вибірки повинні правильно її представляти, тобто вибірка повинна бути репрезентативною (представницькою). Репрезентативність вибірки зазвичай досягається випадковістю відбору об'єктів: кожному об'єкту генеральної сукупності забезпечується рівна з усіма іншими імовірність попадання у вибірку.

Статистичним розподілом вибірки називають перелік варіант і відповідних їм частот або відносних частот. Слід зазначити, що в теорії ймовірностей під розподілом розуміють відповідність між можливими значеннями випадкової величини і їхніми імовірностями, а в математичній статистиці - відповідність між варіантами, що спостерігаються, і їхніми частотами, або відносними частотами.

Емпіричною функцією розподілу (функцією розподілу вибірки) називають функцію  $F^*(x)$ , яка визначає для кожного значення  $x$  відносну частоту події  $X < x$ :

$$F^*(x) = \frac{n_x}{N_{\text{виб}}}. \quad (B.29)$$

де  $n_x$  - число варіантів менших за  $x$ .

На відміну від емпіричної функції розподілу вибірки, інтегральну функцію  $F(x)$  розподілу генеральної сукупності називають теоретичною. Різниця між емпіричною і теоретичною функціями розподілу полягає в тому, що теоретична функція  $F(x)$  визначає ймовірність події, а емпірична  $F^*(x)$  - відносну частоту цієї події.

Дані, зібрані в процесі дослідження, потребують наочного подання. Формами такого наочного подання є графіки розподілу - полігон і гістограма, як параметри використовуються:

- відносні частоти  $\frac{n_i}{N_{\text{виб}}}$ ;
- накопичені частоти  $W_i = n_1 + n_2 + \dots + n_i$ ;
- накопичені відносні частоти  $\frac{W_i}{N_{\text{виб}}}$ .

**Полігоном частот** називають ламану лінію, відрізки якої з'єднують точки  $(x_1, n_1), (x_2, n_2), \dots, (x_k, n_k)$ , а полігоном відносних частот - ламану, відрізки якої з'єднують точки  $(x_1, W_1), (x_2, W_2), \dots, (x_k, W_k)$ .

**Гістограмою частот** називають ступінчасту фігуру, що складається з прямокутників, основами яких служать часткові інтервали завдовжки  $h$ , а висоти дорівнюють відношенню  $\frac{n_i}{h}$  (щільність частоти).

**Гістограмою відносних частот** називають ступінчасту фігуру, що складається з прямокутників, основами яких служать часткові інтервали завдовжки  $h$ , а висоти дорівнюють відношенню  $\frac{W_i}{h}$  (щільність відносної частоти).

Для характеристики розподілу випадкової величини використовуються також коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

**Коефіцієнт асиметрії** визначає наскільки асиметричний розподіл даних. Позитивні значення асиметрії говорять про те, що крива розподілу зміщена вправо від середнього значення вибірки, а негативні - вліво.

**Коефіцієнт ексцесу** показує однорідним чи неоднорідним є розподіл даних по відношенню до нормального (гауссового) розподілу. Для нормального розподілу коефіцієнт ексцесу дорівнює нулю. Якщо коефіцієнт ексцесу негативний, то крива буде пласкою з короткими «хвостами». Якщо коефіцієнт позитивний, то крива або дуже крута в центрі, або має досить довгі «хвости».

## 2.6 Статистичні оцінки параметрів розподілу

Статистична оцінка невідомого параметра теоретичного розподілу полягає в знаходженні функції від спостережуваних випадкових величин, яка дає наближене значення оцінюваного параметра. Параметри для оцінювання визначають через значення кількісної ознаки  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які отримані в результаті  $n$  спостережень.

### Підбір відповідного розподілу до дослідних даних

Отримані експериментальні дані при досить великому обсязі вибірки дозволяють підібрати підходящий розподіл імовірностей. Для цього можна скористатися перебором відомих розподілів.

Припустимо, що випадкова величина  $X$  має розподіл імовірностей (нормальний, експоненціальний тощо) з функцією розподілу  $F(x)$ . Будемо називати це припущення гіпотезою про вид розподілу. Однак, щоб мати повну інформацію про розподіл випадкової величини, треба ще знати параметри цього розподілу або деякі їхні оцінки.

Для оцінювання надійності технічних пристроїв найбільш поширеними є такі теоретичні розподіли як експоненціальний, нормальний і Гніденко-Вейбула.

### Експоненціальний розподіл

Загальна схема (механізм) формування випадкової величини даної природи - випадковий проміжок часу між двома подіями пуассонівського типу (приклад: проміжок часу між двома послідовними збоями обладнання, що працює в налагодженому стаціонарному режимі).

Експоненціальним (показовим) називають розподіл імовірностей, який описується диференціальною функцією (щільністю):

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (\text{B.30})$$

де  $\lambda$  - постійна позитивна величина.

Інтегральна функція розподілу  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$  визначає ймовірність відмови за час тривалістю  $t$ :  $F(t) = P(T < t)$ .

Функцією надійності називають функцію  $R(t) = e^{-\lambda t}$ , яка визначає ймовірність безвідмовної роботи елемента за час тривалістю  $t$ :  $R(t) = P(T > t)$ .

Математичне очікування і середнє квадратичне відхилення показового розподілу рівні між собою:

$$M(X) = \sigma = \frac{1}{\lambda} \quad (B.31)$$

Для оцінки обґрунтування використання експоненціального розподілу як моделі напрацювання на відмову існують кілька критеріїв згоди, наприклад Пірсона, Колмогорова і т.д. Однак, як показали недавні дослідження, найбільш потужним порівняно з іншими існуючими критеріями для виявлення зростаючої чи спадаючої інтенсивності відмов є критерій Бартлетта [47]:

$$B_r = \frac{2 \cdot r \left[ \ln \left( \frac{t_r}{r} \right) + \frac{1}{r} \cdot \left( \sum_{i=1}^r \ln x_i \right) \right]}{1 + \frac{1+r}{6 \cdot r}}, \quad (B.32)$$

де  $x_i$  - випадкова величина, що позначає напрацювання до відмови;

$r$  - кількість відмов;

$t_r$  - параметр, який визначається за формулою:  $t_r = \sum_{i=1}^r x_i$ .

Гіпотеза про експоненціальний розподіл приймається, якщо виконується нерівність:

$$\chi_{1-\alpha, r-1}^2 < B_r < \chi_{\alpha, r-1}^2, \quad (B.33)$$

де  $\chi_{1-\alpha, r-1}^2$  і  $\chi_{\alpha, r-1}^2$  - критичні точки розподілу  $\chi^2$ , визначаються з таблиці залежно від рівня значущості  $\alpha$  і кількості ступенів свободи  $r - 1$ .

Як приклад розглянемо результати стендових вібровипробувань автомобіля, моменти появи відмов наведені в таблиці В.2.

Таблиця В.2. Моменти появи відмов (год) при випробуваннях

№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год	№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год	№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год	№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год
1	21,2	6	74,7	11	108,6	16	157,4
2	47,9	7	76,8	12	112,9	17	164,7
3	59,2	8	84,3	13	127,0	18	196,8
4	62,0	9	91,0	14	143,9	19	214,4
5	74,6	10	93,3	15	151,6	20	218,9

Перепишемо таблицю В.2 у вигляді напрацювання між відмовами (табл. В.3).

Таблиця В.3. Напрацювання між сусідніми відмовами (год) при випробуваннях

№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год	№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год	№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год	№ дос-ліду	Напрацювання на відмову, год
1	21,2	6	0,1	11	15,3	16	5,8
2	26,7	7	2,1	12	4,3	17	7,3
3	11,3	8	7,5	13	14,1	18	32,1
4	2,8	9	6,7	14	16,9	19	17,6
5	12,6	10	2,3	15	7,7	20	4,5

Таким чином, отримаємо:  $\sum_{i=1}^r \ln x_i = 38,8$ ;  $t_r = \sum_{i=1}^r x_i = 218,9$ ;

$$B_r = \frac{2 \cdot 20 \cdot \left[ \ln \left( \frac{218,9}{20} \right) - \frac{1}{20} \cdot 38,8 \right]}{1 + \frac{21}{120}} = 15,42.$$

Критичні значення для двостороннього критерію при  $\alpha = 10$  (95 % і 5 %) мають вигляд:  $\chi_{0,95,20}^2 = 10,12$  і  $\chi_{0,05,20}^2 = 30,24$ , що не суперечить гіпотезі про експоненціальний розподіл випадкових величин для генеральної сукупності.

### **Нормальний розподіл**

Загальна схема (механізм) формування випадкової величини даної природи - значення випадкової величини формується під дією великої кількості взаємно незалежних випадкових чинників, причому сила впливу кожного окремого фактора мала і не може переважати серед інших.

Аналітичний вираз функції розподілу  $F(x)$  і щільності ймовірності  $p(x)$  має вигляд:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp \left( -\frac{(x - m_x)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \cdot dx = \Phi \left( \frac{x - m_x}{\sigma} \right); \quad (B.34)$$

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot \exp \left( -\frac{(x - m_x)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right), \quad (B.35)$$

де  $\sigma^2$  - дисперсія;

$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$  - середньоквадратичне відхилення;

$m_x$  - математичне очікування;

$x$  - випадкова величина.

Інтегральна функція нормованого нормального розподілу характеризується нульовим математичним очікуванням  $m_x = 0$  і дисперсією, що дорівнює одиниці  $\sigma^2 = 1$ :

$$F_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp \left( -\frac{(x)^2}{2} \right) \cdot dx = \Phi(x). \quad (B.36)$$

### **Розподіл Вейбула**

Розподіл Вейбула поширений для оцінки надійності механічних систем, які працюють в умовах впливу змінних навантажень.

Функція двопараметричного розподілу має вигляд:

$$F(t) = 1 - \exp \left( -\left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta \right), \quad (B.37)$$

де  $t$  - час напрацювання;

$\theta, \beta$  - параметри розподілу.

Щільність розподілу й інтенсивність відмов визначаються за формулами:

$$f(t, \theta, \beta) = \frac{\beta}{\theta} \cdot \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta}; \quad (B.38)$$



$$h(t) = \frac{\beta}{\theta} \cdot \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}. \quad (\text{B.39})$$

Математичне очікування та дисперсія мають вигляд

$$\mu = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right); \quad (\text{B.40})$$

$$\sigma^2 = \theta^2 \cdot \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right], \quad (\text{B.41})$$

де  $\Gamma(x)$  – гамма-функція.

Найкращими критеріями згоди є критерій Пірсона, а також Колмогорова. Перевірка проводиться за допомогою спеціально підібраної випадкової величини - критерію згоди.

### Критерій Пірсона

Для того щоб за заданого рівня значущості перевірити нульову гіпотезу  $H_0$  (генеральна сукупність розподіляється нормально), треба спочатку обчислити теоретичні частоти, а потім бачимо значення критерію:

$$\chi_{\text{набл}}^2 = \sum \frac{n_i^* - n_i}{n_i}, \quad (\text{B.42})$$

а за таблицею критичних точок  $\chi^2$  за заданим рівнем значущості  $\alpha$ , і числом ступенів свободи  $k = s - 3$  (де  $s$  - число груп (часткових інтервалів вибірки) знайти критичну точку  $\chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k)$ .

Якщо  $\chi_{\text{набл}}^2 < \chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k)$ , то немає підстав відкидати нульову гіпотезу, в іншому випадку при  $\chi_{\text{набл}}^2 > \chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k)$  нульова гіпотеза відкидається.

### Критерій Колмогорова

Як міру розбіжності приймають величину, пропорційну максимуму абсолютної величини відхилень функцій розподілу передбачуваного теоретичного закону і емпіричної функції розподілу:

$$D = \max|F(x) - F^*(x)|, \quad (\text{B.43})$$

де  $F^*(x)$  – емпірична функція розподілу,

$F(x)$  - теоретична функція розподілу.

*Алгоритм застосування критерію Колмогорова:*

1. Виходячи з відомих значень емпіричних частот попадання в  $i$ -тий інтервал, висувають нульову гіпотезу про передбачуваний закон розподілу випадкової величини  $X$  і знаходять його параметри.

2. За результатами  $n$  незалежних спостережень будується  $F^*(x)$  - емпірична функція розподілу неперервної випадкової величини  $X$ . За розрахованими параметрами будується передбачувана теоретична функція розподілу  $F(x)$ .

3. Визначається міра розбіжності між теоретичними і емпіричними значеннями функції розподілу:

$$\lambda^* = D \cdot \sqrt{n} \cdot \max|F(x) - F^*(x)|. \quad (\text{B.44})$$

4. На заданому рівні значимості  $\alpha$  за таблицею розподілу критичних значень для критерію Колмогорова знаходять критичне значення  $\lambda_\alpha$  з таблиці теоретичного розподілу.

5. Якщо  $\lambda^* < \lambda_\alpha$  – приймається нульова гіпотеза (теоретичний закон розподілу суперечить емпіричним даним), якщо  $\lambda^* > \lambda_\alpha$  – нульову гіпотезу відкидають.

### *Довірчі інтервали*

Алгоритм визначення довірчого інтервалу:

- ✓ Визначаються вибіркове середнє і стандартне відхилення;
- ✓ Визначається кількість значень, що входять у вибірку;
- ✓ Вибирається довірчий інтервал (наприклад 95% або 0,95);
- ✓ Обчислюється рівень достовірності ( $\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$ ).

За допомогою кількості вхідних у вибірку значень і рівня достовірності знаходиться за таблицями критичних значень розподілу Стьюдента коефіцієнт  $t$ .

Визначаються верхня і нижня границі довірчого інтервалу за формулами:

$$B_{\text{н}} = \bar{x} - t \cdot \frac{S}{\sqrt{N_{\text{вib}}}}; B_{\text{в}} = \bar{x} + t \cdot \frac{S}{\sqrt{N_{\text{вib}}}}. \quad (\text{B.45})$$

Повна інформація про теорію ймовірностей і математичну статистику наведена в літературних джерелах [39-46].

У додатках А, Б, Г, наведені критичні точки розподілу Стьюдента (t-критерію), критичні точки розподілу Пірсона, критичні точки розподілу Фішера і Колмогорова-Смирнова.

**Додаток Г. Критичні точки розподілу Фішера і Колмогорова-Смирнова**

**Критичні точки розподілу Фішера**

$K_1$  - кількість ступенів свободи більшої дисперсії;  $K_2$  - кількість ступенів свободи меншої дисперсії.

Рівень значущості $\alpha = 0,01$												
$K_1/K_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	6056	6082	6106
2	98,49	99,01	90,17	99,25	99,33	99,30	99,34	99,36	99,36	99,40	99,41	99,42
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,13	27,05
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,45	14,37
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,96	9,89
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,79	7,72
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,54	6,47
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,74	5,67
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	5,18	5,11
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,78	4,71
11	9,86	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,46	4,40
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,22	4,16
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	4,02	3,96
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,86	3,80
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,73	3,67
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,61	3,55
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,52	3,45
Рівень значущості $\alpha = 0,05$												
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,40	19,41
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,76	8,74
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93	5,91
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70	4,68
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31	3,28
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,82	2,79
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72	2,69
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,63	2,60
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,56	2,53
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,51	2,48
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,45	2,42
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,45	2,41	2,38

**Критичні значення статистики Колмогорова-Смирнова для рівнів статистичної значущості  $P\{\lambda > \lambda_\alpha\} = \alpha$**

$\lambda$	P	$\lambda$	P	$\lambda$	P
0,30	1,000	0,76	0,610	1,00	0,270
0,37	0,999	0,79	0,561	1,21	0,107
0,40	0,997	0,82	0,512	1,24	0,092
0,43	0,993	0,85	0,465	1,27	0,079
0,46	0,984	0,88	0,421	1,30	0,068
0,49	0,970	0,91	0,379	1,35	0,052
0,52	0,950	0,94	0,400	1,40	0,040
0,55	0,923	0,97	0,304	1,50	0,022
0,58	0,890	1,03	0,239	1,60	0,012
0,61	0,851	1,07	0,202	1,70	0,006
0,64	0,807	1,10	0,178	1,80	0,003
0,67	0,760	1,13	0,156	1,90	0,002
0,70	0,711	1,16	0,136	2,00	0,001
0,73	0,661	1,19	0,118	2,10	0,000

**Критичні значення статистики Колмогорова-Смирнова для рівнів статистичної значущості  $P\{\lambda > \lambda_\alpha\} = \alpha$  для рівнів значущості  $\alpha = \{0,01; 0,05; 0,10\}$**

$P\{\lambda > \lambda_\alpha\} = \alpha$			
$\alpha$	1,10	0,05	0,01
$\lambda_\alpha$	1,22	1,36	1,63

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут  
вагонобудування»  
(ДП «УкрНДІВ»)

Ю.Я. Водянніков, А.О. Сулим, П.О. Хозя, С.О. Столетов, О.О. Мельник,  
І.М. Лашкевич

ПАСАЖИРСЬКІ ВАГОНИ. ДІАГНОСТУВАННЯ.  
ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС. НАДІЙНІСТЬ

*Рекомендовано до друку науково-технічною радою  
Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
(протокол № 2 від 28.12.2022 р.)*

*Формат паперу 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>, Тираж 100 прим.*

*Видавництво ДП «УкрНДІВ»  
Адреса редакції видавництва:  
вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621  
[www.ukrndiv.com.ua](http://www.ukrndiv.com.ua)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
серії КВ № 23892-13732Р від 19.04.2019 р.,  
видане Державною реєстраційною службою України*

*ДП «УкрНДІВ», 2023. 69 с.  
ISBN 978-966-97716-9-8*