

УДК 629.4.023.11.004.64: 001.891.5

*Д.В. Галаненко, С.А. Чебуров, Н.Г. Гаврилова*

**ПІДТВЕРДЖЕННЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО КОНТРОЛЮ БАЛОК  
НАДРЕСОРНИХ І РАМ БОКОВИХ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ  
ВИПРОБУВАННЯМИ НА ВТОМУ ДЛЯ ОЦІНКИ МОЖЛИВОСТІ  
ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

*Викладено короткий огляд методів контролю відповідності литих деталей візків вантажних вагонів вимогам технічної документації. Представлено програму експериментальної роботи для виявлення залежності між результатами акустико-емісійного контролю та технічним станом деталі.*

**Вступ**

Аварії та катастрофи, що відбуваються внаслідок руйнування деталей (в тому числі елементів залізничного рухомого складу), в більшості випадків пов'язані з наявністю в них дефектів. Дефектом вважається кожна окрема невідповідність продукції встановленим вимогам. В дефектоскопії поняття дефект зазвичай характеризується порушенням суцільності матеріалу, що виявлене засобами неруйнівного контролю.

Не існує єдиного універсального методу контролю, який дозволив би визначити всі властивості об'єкту. Методи контролю поділяються на дві великі групи: руйнівні та неруйнівні. Руйнівні – це методи контролю, при яких може бути порушена придатність об'єкта до подальшої експлуатації. Неруйнівні методи контролю (далі – НК) дозволяють оцінити якість продукції без порушення її придатності до подальшого використання, призначені для виявлення дефектів типу порушення суцільності матеріалу, оцінки фізико-хімічних властивостей матеріалу, контролю геометричних параметрів виробу [1].

**Мета роботи**

Метою НДР, що планується, є перегляд методики АЕ-контролю балок надресорних і рам бокових візків вантажних вагонів [2].

Балка надресорна і рама бокова являються основними несучими елементами візка вантажного вагона і в процесі експлуатації піддаються дії інтенсивних динамічних навантажень. Тому до надійності та довговічності цих деталей висуваються підвищені вимоги.

Оптимальна система НК на підприємстві повинна забезпечити максимальну технічну ефективність контролю при мінімальних затратах. Технічна ефективність НК – це правильність віднесення об'єктів до придатних чи непридатних на основі його (НК) результатів. Актуальність неруйнівних методів контролю полягає у виявленні дефектів не тільки в одиничних зразках, а й у всій партії виробів (100 % контроль), що зведе до мінімуму попадання браку в експлуатацію.

© *Д.В. Галаненко, С.А. Чебуров, Н.Г. Гаврилова, 2015*

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

НК, в залежності від фізичних явищ, які закладені в його основу, розподіляються на види, що в свою чергу складаються з методів, які розрізняються за характером взаємодії фізичних полів або речовин з об'єктом, що контролюється, інформативним первинним параметрам і способам отримання первинної інформації [1].

### **Огляд методів контролю**

Система НК технічного стану вузлів і деталей вагонів на підприємствах-виробниках базується на застосуванні візуально-вимірювального, магнітопорошкового, вихрострумowego, ферозондового, капілярного та акустичних методів контролю.

Візуально-вимірювальний контроль є обов'язковим, першочерговим та одним із найбільш інформативних методів контролю. Згідно з нормативною документацією, перед проведенням НК будь-яким іншим методом, необхідно візуально оглянути об'єкт контролю на предмет наявності недопустимих дефектів. Візуально-вимірювальний контроль проводять як на різних стадіях виготовлення деталей, так і періодично в процесі експлуатації.

Магнітопорошковий метод НК (далі – МПК) заснований на притягненні магнітних часток порошку з феромагнетика силами неоднорідних магнітних полів, які виникають на поверхні намагніченого об'єкта контролю. Над дефектом виникає утворення скупчень магнітних часток у вигляді індикаторних малюнків, які можна реєструвати як візуально, так і за допомогою універсальних оптичних засобів – луп, дзеркал, ендоскопів тощо. Умовну протяжність дефектів визначають за допомогою універсальних засобів вимірювань.

Вихрострумний (електромагнітний) метод НК (далі – ВСК) заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролю цим полем. Зважаючи на те, що вихрові струми виникають тільки в електропровідних матеріалах, то об'єктами вихрострумowego контролю можуть бути вироби, виготовлені з металів, сплавів, графіту, напівпровідників і інших струмопровідних матеріалів.

Ферозондовий метод НК (далі – ФЗК) заснований на виявленні ферозондовим перетворювачем (ФП) магнітного поля розсіювання дефекту на намагніченій деталі та перетворення його в електричний сигнал.

ФЗК дозволяє знаходити дефекти за рахунок виявлення просторових викривлень магнітного поля над дефектом. Викривлене поле над дефектом, яке називається полем розсіювання дефекту або полем дефекту, визначається за допомогою ФП, що перетворює градієнт напруженості магнітного поля в електричний сигнал.

Капілярний метод НК (далі – КМК) заснований на капілярному проникненні індикаторних рідин, що добре змочують матеріал об'єкта контролю, в порожнини несучільностей і реєстрації індикаторних слідів, що утворюються, візуально або за допомогою перетворювача.

Акустичними методами НК контролюється широкий спектр деталей залізничного рухомого складу: осі локомотивів і вагонів, бандажі та суцільнокатані колеса, колінчасті вали дизелів і компресорів, литі деталі візків вантажних вагонів та ін. ((35 – 40) % загального об'єму операцій НК, що проводяться під час виготовлення та ремонту рухомого складу).

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

Акустичні методи НК розділяють на дві групи: активні, які засновані на передачі та прийманні хвиль, і пасивні, що засновані тільки на прийманні хвиль, джерелом яких служить сам об'єкт контролю. При цьому частіше всього використовуються пружні хвилі ультразвукового діапазону (ультразвукова (далі – УЗ) дефектоскопія), параметри яких залежать від густини, пружності, анізотропії та інших властивостей матеріалів.

Пасивні методи засновані на аналізі пружних коливань хвиль, які виникають в самому об'єкті, що контролюється. Відрізняють, наприклад, такі методи як акустико-емісійний (далі – АЕ) метод (отримав найбільше розповсюдження), вібраційно-діагностичний і шумодіагностичний.

Акустична емісія представляє собою випромінення пружних хвиль матеріалом в результаті пластичної деформації твердих середовищ, фазовими перетвореннями в речовинах, розвитку дефектів, тертя, проходження рідких і газоподібних речовин скрізь вузькі отвори чи несучільності, під час перемагнічування матеріалів, в результаті радіаційної взаємодії, при хімічних і електрохімічних реакціях включаючи корозійні процеси. П'єзоелектричні перетворювачі акустичної емісії (ПАЕ), які встановлені на об'єкт контролю, приймають пружні хвилі та дозволяють встановити їх джерело. Робочий частотний діапазон апаратури для АЕ-методу знаходиться в межах від 0,01 до 1,0 МГц.

АЕ-метод – один із найбільш нових, сучасних методів НК, який динамічно розвивається, дозволяє знаходити і реєструвати тільки дефекти, що розвиваються (з приростом (1 – 10) мкм) незалежно від їх орієнтації та розмірів, а саме кваліфікує дефекти не за розмірами, а за ступенем їх небезпеки.

Переваги АЕ-методу:

- виявлення небезпечних дефектів (що розвиваються) в місцях, які недоступні іншим методам НК;
- виділення дефектних зон і оцінка залишкового ресурсу конструкцій на основі статистичних характеристик сигналів від дефектів;
- оперативність оцінки технічного стану об'єктів – немає операцій сканування;
- можливість дистанційного контролю великогабаритних об'єктів;
- визначення часу виникнення та контроль розвитку дефекту в реальному часі;
- можливість моніторингу технічного стану об'єктів упродовж всього терміну їх експлуатації.

Недоліки:

- можливість контролю тільки дефектів, що розвиваються;
- неможливість визначення лінійних розмірів дефектів;
- необхідність навантаження об'єкта контролю робочим навантаженням;
- достатньо висока чутливість до перешкод (вібраційних, кліматичних, акустичних та ін.).

Методом акустичною емісії контролюють такі деталі рухомого складу: литі балки надресорні та рами бокові візків вантажних вагонів, котли залізничних цистерн та ін., які знаходилися деякий час в експлуатації.

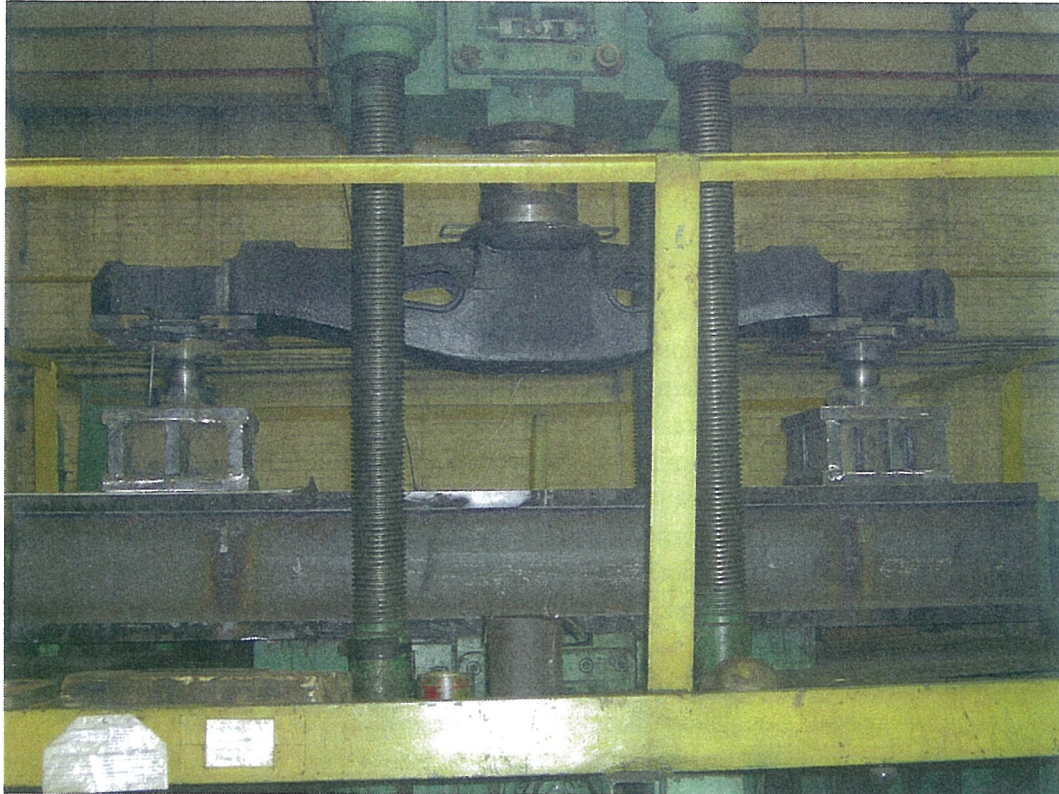
Метою випробувань на втому являється визначення довговічності чи початку руйнування елемента, що випробовується, підданого дії напруження з амплітудою, що змінюється в заданій послідовності. Коефіцієнт запасу опору втомі являється одним із основних показників, котрі визначають безпеку руху вагона.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

Втомні випробування призводять до руйнування об'єкту контролю чи, як мінімум, не гарантують придатності його до експлуатації після випробувань [1].

Перед проведенням випробувань на втому рами обладнують тензорезисторами для налашки та контролю режиму випробувань за їх показаннями. Загальний вигляд стенду для випробувань на втому ЦДМ-200 Пу, із встановленою балкою надресорною, наведений на рисунку 1.



*Рис. 1. Вигляд стенду ЦДМ-200 Пу для випробувань на втому зі встановленою балкою надресорною*

Випробування на втому проводяться за методикою «Надресорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытаний на усталость» [3].

Програма науково-дослідної роботи.

1. Створення експериментальної установки.
2. Розробка методики побудови графіка залежності остаточного ресурсу від кількості пройдених циклів навантажування за результатами експерименту для кожної з деталей.
3. Визначення періодичності (яка відображена в кількості циклів) проведення АЕ-контролю під час статичного навантажування.
4. Підбір деталей для експериментальної роботи.
5. Проведення експериментальної роботи.
6. Обробка результатів експериментів.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

7. Виявлення закономірностей і взаємозв'язку між результатами АЕК і технічним станом деталі.

8. Розробка методики АЕ-контролю балок надресорних і рам бокових візків вантажних вагонів.

### Опис експериментальної установки

Установка складається з гідропульсаторної машини ЦДМ-200 Пу та системи акустичної емісії ГАЛС-1. Задача ЦДМ-200 Пу – проведення навантажування деталей згідно графіків навантаження як у статичному режимі (див. рис. 2) [4], так і в динамічному на протязі N-циклів до руйнування; схеми навантаження балки надресорної – на рис. 3, рами бокової – на рис. 4.

Під час навантажування деталі необхідно виконати наступні умови:

- швидкість навантажування – не більше 5 тс/с;
- час витримки під дією попереднього та випробувального навантаження – не менше 1 хвилини;
- період часу від моменту зняття попереднього навантаження до нуля до початку випробувального навантажування – не менше 1 хвилини.

На рис. 3, 4 показані місця встановлення тензодатчиків для контролю режиму динамічного навантажування. Задача системи ГАЛС-1 – збір і запис сигналів акустичної емісії під час проведення статичного навантажування та на певних інтервалах динамічного навантажування, виділення параметрів цих сигналів, визначення місця розташування джерел АЕ, фіксація фактичних графіків навантаження. ПАЕ встановлюються на деталі у відповідних точках і забезпечують приймання АЕ-сигналів, що виникають у деталі в процесі випробувань. До блоку параметричних каналів ГАЛС-1 підключаються тензодатчики, які призначені для вимірювання дійсного значення навантаження. Параметричні канали калібруються відповідним чином для фіксації фактичних значень навантажень у тонах сили. Основою для калібрування слугуює показання манометра стенду навантаження. Калібрування параметричного каналу потрібно виконувати кожен раз під час встановлення чергової деталі.

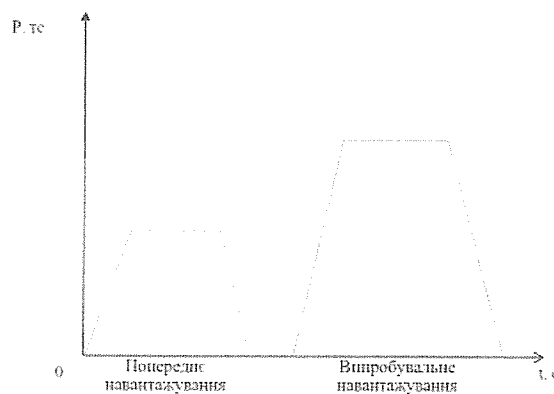
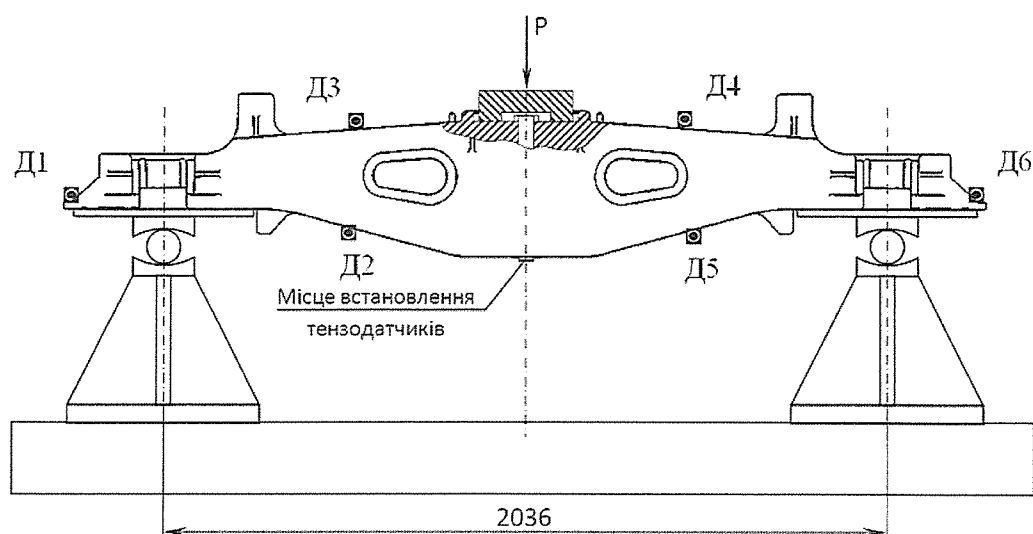


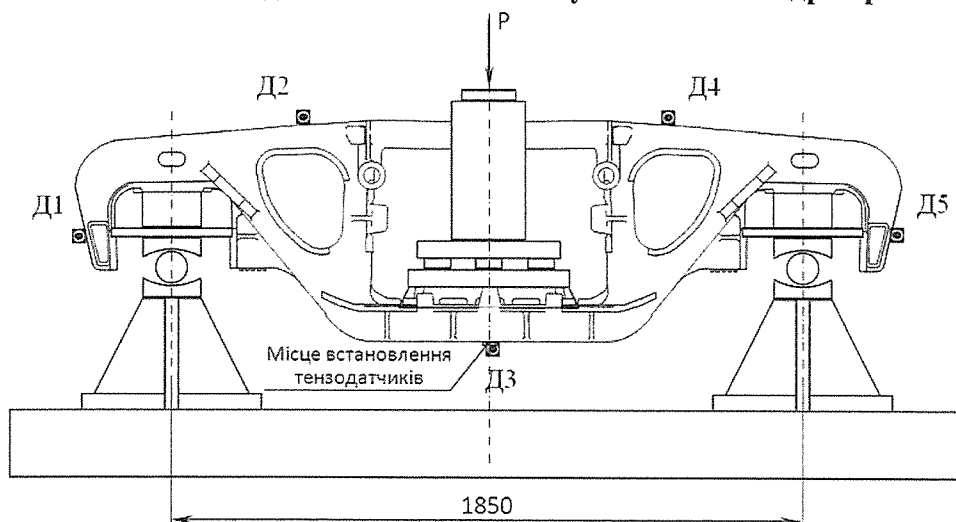
Рис. 2. Графік статичного навантажування під час АЕ-контролю

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



■ – розташування ПАЕ на балці надресорній

Рис. 3. Схема динамічного навантаження балки надресорної



■ – розташування ПАЕ на рамі боковій

Рис. 4. Схема динамічного навантаження рами бокової

Система акустичної емісії ГАЛС-1 повинна мати комплектність, яка наведена в таблиці 1.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. Склад системи акустичної емісії ГАЛС-1 для проведення експериментальних робіт

№ п/п	Найменування	Кількість, шт	Примітка
1	Блок живлення (БЖ)	1	
2	Блок синхронізації (БС)	1	15-канальний
3	Вимірювальні канали АЕ	14	
4	Блок параметричних каналів	1	4 канали в одному блоці
5	Перетворювачі АЭГС-150А (ПАЕ)	14	
6	Магнітні притискачі	14	
7	Кабель БЖ	1	
8	Кабель БЖ-БС+ПК	1	50 м
9	Кабель БС-канал	15	10 м
10	Персональний комп'ютер	1	Переносний

1. Деталі, що випробовуються, не повинні торкатися до металевих частин стенду. Для цього в місцях контакту потрібно вкласти заготовки (прокладки) з армованої резини.

2. Ізоляційний матеріал (наприклад, армована резина або поліуретан) повинен бути витривалим і надійним щоб забезпечити зберігання своїх властивостей у процесі всього періоду випробувань деталі.

3. Ізоляційний матеріал не повинен деформуватися в процесі випробувань тому, що амплітуда прогину деталі на стенді, в процесі динамічних випробувань, обмежена (не більше 5 мм).

4. Канали акустичної емісії повинні розташовуватися за межами стенду, щоб запобігти впливу на них вібрації.

5. Не допускається використання механічних пристосувань, які контактують з деталлю, що може призвести до виникнення тертя, ударів, і, відповідно, стати причиною виникнення паразитних сигналів АЕ.

Підбір і підготовка деталей для експериментальної роботи:

1. В експериментах використовуються бокові рами та надресорні балки, котрі пробули в експлуатації 30 років і більше, і забраковані по одному з методів неруйнівного контролю під час продовження терміну експлуатації. Деталі, які були забраковані по АЕК, до експериментів не допускаються.

Перед проведенням експериментів деталь очищують від бруду та окалини.

2. У місцях встановлення ПАЕ (див. рис. 3, 4) поверхні деталей, які подаються на контроль зачистити таким чином, щоб шорсткість поверхонь, в місцях зачистки, була не гірше Rz 40 згідно з ГОСТ 2789 [5]. Поверхня зачищеної ділянки повинна бути пласкою (хвилястість на базі 30 мм повинна бути не більше 0,1 мм). Розмір ділянки – не менше (80 × 80) мм. Зачищення потрібно виконувати за допомогою пласко-шліфувальної машинки.

### **Порядок проведення експериментів**

Вихідний стан перед початком проведення експериментів: деталь встановлена на позицію, тензометричні перетворювачі встановлені та підключені; система ГАЛС-1 зібрана і підключена; ПАЕ встановлені на деталь (по два ПАЕ в кожному підготовленому місці); проведено калібрування прикладеного до деталі навантаження.

Експерименти проводяться у наступній послідовності:

1. Запускається збір даних – необхідно переконатися в відсутності різного роду шумів і завад.

2. Виконується перевірка акустичного контакту.

3. Проводиться попереднє навантажування деталі у відповідності до графіку навантаження (див. рис. 2) з записом сигналів акустичної емісії, що виникають, у файл.

4. Фіксується в таблиці номер деталі, номер контролю, тип навантаження (попереднє), результат контролю, ім'я файлу контролю, кількість сигналів, зони з максимальною кількістю сигналів.

5. Проводиться основне (випробувальне) навантажування деталі у відповідності до графіку навантаження (див. рис. 2) з записом сигналів акустичної емісії, що виникають, у файл.

6. Фіксується в таблиці номер деталі, номер контролю, тип навантаження (основне), результат контролю, ім'я файлу контролю, кількість сигналів, зони з максимальною кількістю сигналів.

7. Необхідно навантажувати деталь у динамічному режимі (див. рис. 3, 4), попередньо запустивши збір даних системою ГАЛС-1. Запис сигналів АЕ ведеться на протязі 1 хвилини.

8. Фіксується в таблиці номер деталі, номер контролю, тип навантаження (динамічне), результат контролю, ім'я файлу контролю, кількість сигналів, зони з максимальною кількістю сигналів.

9. Далі проводиться динамічне навантажування деталі (див. рис. 3, 4) без збору сигналів акустичної емісії на протязі 500 000 циклів.

10. Закінчується даний етап навантаження деталі.

11. Переходимо до пункту 1.

Описані дії виконуються циклічно до руйнування деталі, або втрати нею несучої здатності.

### **Обробка результатів експериментів**

Розглядаються результати контролю під час статичних і динамічних варіантах навантаження. Розгляд ведеться у зворотньому порядку. Відслідковується виявлення джерела АЕ від дефекту, що призвів до руйнування деталі. Визначається кількість циклів і відповідний йому залишковий ресурс експлуатації деталі, під час якого вперше впевнено було виявлено вказане джерело АЕ. Особлива увага приділяється тій ітерації АЕК, котра проводилася певну кількість циклів тому, що відповідало б 5 рокам до руйнування.

Проводиться спроба застосування діючої методики АЕК до результатів експериментів у початковому вигляді, а також з певними модифікаціями. Для всіх результатів АЕК проводиться пошук трендів, які б допомогли встановити відповідність між результатами АЕК і процесом накопичення пошкоджень в деталях, що контролюються.



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

### Висновки

Результати проведеної роботи можливо використати для:

1. Виявлення закономірностей і взаємозв'язку між результатами АЕК і технічним станом деталі.
2. За результатами аналізу результатів експериментів провести перегляд діючої методики АЕК вагонного литва, або розробка нової.
3. Розроблення (коригування) методики, затвердження в установленому порядку та введення в дію на підприємствах залізничної галузі України.

### ЛІТЕРАТУРА

1. «Оцінка технології контролю якості рам бокових (кресленик 100.00.002-4) виробництва ПАТ «КСЗ». Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», вип. 10, – ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук, 2014. – 21 с.
2. «Методика акустико-емісійного контролю (діагностування) бокових рам и наддресорных балок тележек модели 18-100». – М.: ВАТ «Интерюнис», 2005. – 51 с.
3. «Надресорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытаний на усталость». – М.: ВАТ «ВНИИЖТ», ВАТ «НИИ вагостроение», 2010. – 16 с.
4. РД 30277055.002-2003 Железнодорожные грузовые вагоны. Методика технического диагностирования наддресорных балок и боковых рам тележек модели 18-100, с использованием метода акустической эмиссии, ВАТ «СЕРЕП», м. Маріуполь, 2003. – 48 с.
5. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – [Введений в дію від 1975-01-01]. – М.: Видавництво стандартів, 1973. – 7 с.