

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

КУДЕНКО ІГОР ОЛЕКСІЙОВИЧ

УДК 629.45:621.331.019.3

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ
ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ, ЩО ВИЧЕРПАЛИ РЕСУРС**

(05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів)

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник –
доктор технічних наук,
професор Головка
Владислав Федорович

Харків, 2006

Зміст

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Аналіз стану несамохідного рухомого складу для перевезень пасажирів	10
1.1 Аналіз існуючого парку пасажирських вагонів.....	10
1.2 Аналіз систем технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів.....	20
1.3 Вплив експлуатаційних факторів на надійність роботи пасажирських вагонів.....	28
РОЗДІЛ 2. Розробка моделі визначення характеристик елементів конструкції пасажирського вагона в залежності від строку відпрацьованого ресурсу	37
2.1 Методика розрахунків зусиль, які діють на елементи конструкції пасажирського вагона.....	37
2.2 Моделювання системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів з урахуванням відпрацьованого ресурсу.....	63
РОЗДІЛ 3. Експериментальне дослідження експлуатаційних показників стану пасажирського вагона	80
3.1 Методика обстеження технічного стану металоконструкції кузовів пасажирських вагонів.....	80
3.2 Методика визначення сумарних напруг від статичного навантаження.....	89
3.3 Результати обстеження технічного стану металоконструкцій рам і кузовів пасажирських вагонів.....	94
РОЗДІЛ 4. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів	118
4.1 Прогнозування залишкової несучої здібності елементів кузовів пасажирських вагонів.....	118
4.2 Інструментальні методи виявлення залишкової несучої здатності елементів конструкції пасажирських вагонів.....	129
4.3 Інформаційно-технологічне забезпечення технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, що вичерпали ресурс.....	135
4.4 Удосконалення технології обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, що вичерпали ресурс.....	155
ВИСНОВКИ	170
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	172
ДОДАТКИ	183

ВСТУП

Основним напрямком економічного розвитку залізничного транспорту України в теперішній час є підвищення економічної ефективності його роботи при своєчасному і повному задоволенні потреб в перевезеннях.

Технічний стан і надійність пасажирського вагонного парку залізничного транспорту має велике значення для забезпечення його ритмічної, безперебійної роботи, безвідмовної експлуатації пасажирських вагонів, підтримці їх в технічно-справному стані, забезпеченні високоякісною системою технічного обслуговування та ремонту.

Проте, кризисні явища в економіці негативно позначились на залізничному транспорті: уповільнилось інвестування, погіршилось матеріально-технічне забезпечення, знизилась об'єм перевишень. Следствием цього є те, що в Україні, як і в інших країнах СНД, спостерігається тенденція старіння парку пасажирських вагонів.

В 2000 році інвентарний парк пасажирських вагонів різних типів і призначень складав 9240 одиниць. В цьому ж році встановлений нормативний строк експлуатації – 28 років (вагон-ресторанів – 25 років) наступив для 1128 одиниць.

В подальшому ці показники змінювались слідуючим чином:

Рік	Кількість пасажирських вагонів різних типів	%	Вагони віком більше 28 років та ресторанів більше 25 років
2001	9021	12	1164
2002	8763	16	1417
2003	8329	18	1503
2004	7979	27	2223
2005	7872	35	2749

По прогнозам, в 2010 році уже 5363 пасажирських вагона вичерпають свій ресурс.

Експлуатація пасажирських вагонів з простроченим ресурсом без проведення комплексних заходів, пов'язаних з оцінкою залишкового ресурсу, визначення відповідного об'єму ремонту, і відповідного з ним технічного обслуговування таких пасажирських вагонів, пов'язана з підвищеним ризиком в частині забезпечення необхідного рівня безпеки перевезення пасажирів.

Утилізація пасажирських вагонів, строк служби яких завершився, приведе до різкого зменшення експлуатаційного парку, в результаті чого, виникнуть значні труднощі в забезпеченні наявним парком пасажирських вагонів.

Поповнення парку за рахунок нових пасажирських вагонів в найближчі роки є проблематично.

Строки служби пасажирських вагонів встановлювались в основному з врахуванням досвіду експлуатації великої кількості пасажирських вагонів в різних умовах різних регіонів колишнього Союзу і практично без об'єктивних теоретичних досліджень в області експлуатації та ремонту рухомого складу. У

зв'язку зі зміною умов експлуатації а також необхідністю продовження строку експлуатації пасажирських вагонів які відпрацювали свій ресурс необхідно удосконалити систему технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів.

Це зводиться до рішення задач переходу від загального до часткового. Концепція цього повинна базуватися на діагностиці стану пасажирських вагонів в експлуатації, постановці пасажирських вагонів в ремонт а також методи їх відновлення повинні бути індивідуальні для кожного окремого пасажирського вагона в залежності від його технічного стану.

В ситуації, яка склалася, актуальною являється проблема забезпечення роботоспроможності та підтримування надійного технічного стану наявного пасажирського вагонного парку через проведення відновлювальних ремонтів, в тому числі з модернізацією і продовженням терміну служби. Тобто центр ваги по розв'язанню цих питань в теперішній час зміщується на якість ремонтних заходів.

Необхідно шукати нові підходи до вирішення проблеми відновлення технічного ресурсу пасажирських вагонів. Необхідно змінювати систему життєзабезпечення пасажирського вагона за рахунок переходу до системи ремонту, яка була б зорієнтована на кожен конкретний пасажирський вагон в залежності від його технічного стану. Індивідуальними повинні бути і строки постановки пасажирських вагонів в ремонт і методи їх відновлення, тобто система ремонту повинна бути функцією їх технічного стану.

Концепція індивідуального підходу до ремонту пасажирських вагона передбачає проробку і обґрунтування великого комплексу взаємопов'язаних питань і, перш за все, необхідність оцінки їх технічного стану і остаточної несучої спроможності.

Дисертаційна робота виконана згідно діючих Державних програм і концепцій: “Реформування транспортного комплексу України”; “Реструктуризації на залізничному транспорті України” (від 1998 р.); “Розвитку транспортно – дорожнього комплексу України на 2000 – 2004 р.”, затвердженої Кабінетом Міністрів України від 30.12.2000р.; програми підвищення безпеки руху на залізницях України в 1997 – 2001 р., затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 22.04.97 р. № 367; постанова Кабінету Міністрів України №821 від 04.08.97 р.; “Про затвердження концепції створення та функціонування національної мережі транспортних коридорів в Україні”, а також науково – дослідницької роботи за темою “Технічне діагностування пасажирських купейних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації: Отчёт НИР/ДР0102U005206, от 2002 г. “Технічне діагностування пасажирських плацкартних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації: Отчёт НИР/№ДР0102U05207, от 2002 г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів, що вичерпали ресурс на основі достовірної інформації оцінювання їх технічного стану, яка отримана за допомогою аналітичних та експериментальних методів, для прийняття науково-обґрунтованих рішень по корегуванні технологічних процесів.

Для досягнення вказаної мети в дисертаційній роботі поставлені задачі:

- 1.Проведення обстеження і аналізу технічного стану пасажирських вагонів, які знаходяться на даний час в експлуатації.
- 2.Аналіз існуючої системи технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів з метою подальшого переходу до системи ремонту за технічним станом.
- 3.Оцінка впливу ступеня корозійних та механічних пошкоджень на технічний стан вагонів в експлуатації.
- 4.Розробити формалізоване описання для оцінювання фактичного технічного стану вагонів що вичерпали свій ресурс.
- 5.Розробити метод оцінки технічного стану елементів конструкцій кузова пасажирського вагона з використанням інструментальних методів контролю.
- 6.Розробити науково-обґрунтовані рекомендації щодо удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вагонів з врахуванням відпрацьованого ресурсу.

Об'єкт і предмет дослідження. Предметом дослідження є технологія технічного обслуговування та ремонту вагонів, що вичерпали ресурс, об'єктом - пасажирський вагон, що вичерпав ресурс.

Методи дослідження. Вирішення наукової задачі виконано на основі системного підходу, з використанням методів технічної діагностики, теорії ймовірностей, теорії алгебри логіки, математичної статистики, теорії подібності та моделювання.

Наукова новизна. Вперше:

- вперше систематизовані характерні механічні і корозійні пошкодження пасажирських вагонів що вичерпали свій ресурс;
- запропоновані формалізовані описання що дозволяють оцінювати міцність та стійкість елементів конструкцій вагонів з урахуванням корозійного зношення.

Доопрацьовано:

- кінцево-елементна модель для оцінювання фактичного технічного стану кузовів пасажирських вагонів;
- метод оцінки технічного стану елементів конструкцій кузова пасажирського вагона з використанням інструментальних методів контролю;
- підхід до формування технології технічного обслуговування та ремонту вагонів з врахуванням технічного стану.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень удосконалено технологію технічного обслуговування та ремонту вагонів, що вичерпали ресурс, з

урахуванням їх технічного стану.

Використання запропонованої технології на Південній залізниці дозволило продовжити ресурс експлуатації 102 пасажирських вагонів.

Результати виконаних досліджень передані в Головне управління пасажирського господарства Укрзалізниці з метою впровадження на мережі залізниць України.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належить: розробка карт обстеження для контролю технічного стану литих деталей візків [27]; розрахунки міцності та стійкості пасажирських вагонів по розробленій моделі [67]; визначення деталей які не підлягають відновленню з урахуванням безпеки руху [28].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації обговорювалися і схвалені на:

Міжнародній науково – технічній конференції „Современные материалы, технологии, оборудование и инструмент в машино- и приборостроении” (Київ, 2001 р.);

IV Міжнародній конференції “Вплив людського фактору на безпеку руху на залізничному транспорті” (Львів, 2001 р.);

I Міжнародній науково – практичній конференції “Наука в транспортному вимірі” (Київ, 2005);

Науково – технічних конференціях кафедр УкрДАЗТ, іноземних спеціалістів і працівників підприємств залізничного транспорту в 2000 – 2006 рр.

Публікації. Основний зміст роботи опублікований у 9 наукових працях (6-х наукових статтях [25, 26, 57, 58, 59, 67], 3-х тезах матеріалів Міжнародних науково-технічних конференцій [10, 29, 30] у виданнях, затверджених ВАК України.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається із вступу, 4 – х розділів і висновку та додатків; викладена на 155 сторінках друкованого тексту; містить 37 рисунків, 27 таблиць, список використаних літературних джерел з 112 найменувань і 5 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ НЕСАМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ

1.1 Аналіз існуючого парку пасажирських вагонів

Однією з основних вимог до пасажирського вагонного парку є надійна та безпечна робота протягом всього терміну служби. Разом з тим, відбувається погіршення технічного стану пасажирських вагонів в залежності від терміну служби, знижується експлуатаційна надійність.

Їх працездатність повністю не відновлюється до початкового рівня після проведення відповідного технічного обслуговування, деповського або капітального ремонтів. Повна або часткова втрата працездатності відбувається з різною інтенсивністю в залежності від конструкції пасажирських вагонів та умов їх експлуатації, від якості ремонту та технічного обслуговування у міжремонтні періоди.

До теперішнього часу в нашій країні та за кордоном виконаний значний обсяг наукових досліджень і практичних розробок у напрямку удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів.

Питаннями пасажирських вагонів, що вичерпали свій ресурс займалися: вчені Білорусії – В.І. Сенько, І.Ф. Пастухов, В.В. Белогуб, А.А. Гульвиченко, Н. А. Злотникова, А.І. Піскунова, В.В. Пігунов, А.В. Пігунов, В.В. Назаренко, В. М. Кошанов («Аналіз корозійних пошкоджень кузовів пасажирських вагонів», «Діагностування – як основа якісного відновлення втраченого технічного стану продукції», «Удосконалення конструкції, ремонту та обслуговування рухомого складу залізниць», «Щодо вибору стратегії ремонту пасажирських вагонів в умовах ВРЗ», «Розробка системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів та шляхів її реалізації», «Розрахункова модель для оцінки залишкової міцності кузовів пасажирських некупейних вагонів», «Стратегія відновлення технічного ресурсу пасажирських вагонів»); вчені Російської федерації – С.М. Бородай, Г.В. Райков («Пасажирським вагонам – прогресивну систему ремонту»), А.Л. Лавров, Г.В. Райков, Н.І., Подлитов, Т.А. Романова («Капітально-відновлювальний ремонт пасажирських вагонів»), Є.М. Комський («Дослідження технічного стану кузовів пасажирських суцільнометалевих вагонів та шляхи підвищення їх надійності»), І.А. Морозов, В.Х. Маттейс («Щодо терміну служби пасажирських суцільнометалевих вагонів та заходів його продовження»), Ю.Ф. Портнов («Прогнозування залишкового ресурсу відповідальних елементів вагона»), В.А. Атрощенко, В.В. Кобищанов, А.О. Кузнецов, А.А. Ольшевський («Система автоматизованої побудови розрахункових схем МКЕ кузовів пасажирських вагонів»); вітчизняні вчені О. М. Савчук, І.В. Бруякін («Проведення теоретичних та експериментальних досліджень з оцінки терміну служби пасажирського вагона після капітально-відновлювального ремонту», «Теоретичні та експериментальні дослідження ресурсу пасажирських вагонів після реновації»), Ю.О. Трубачів, В.Ф. Головка, І

.Д. Борзилов («Технічне діагностування пасажирських купейних та плацкартних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації»).

Разом з тим, в них не знайшли належною мірою питання технології технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів у взаємозв'язку з технічним станом після терміну їх служби. Це позначається на тому, що при існуючій технології технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів витрати часу та праці дуже істотні, а якість функціонування та надійності пасажирських вагонів не повною мірою відповідає поставленим вимогам.

Таким чином, впровадження в практику нових технологій, пов'язаних з реалізацією концепції індивідуального підходу до їх технічного обслуговування та ремонту з забезпеченням заданого рівня відновлення технічного стану основних елементів пасажирських вагонів, дозволяє кваліфікувати її як актуальну роботу, спрямовану на розв'язання питань підвищення якості технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, що вичерпали свій ресурс.

На вагоноремонтних підприємствах в очікуванні ремонту накопичилась велика кількість пасажирських вагонів у яких закінчується або закінчився термін служби. Особливо несприятливе становище склалося з відкритими суцільнометалевими вагонами (СМВВ), які забезпечують більшу частину місцевих пасажирських перевезень. Ці пасажирські вагони мають недостатній антикорозійний захист кузова, морально застаріле обладнання.

Збереження пасажирського парку на даний час можливе за умови виконання цим пасажирським вагонам капітально-відновного ремонту (КВР) або продовження строку експлуатації без КВР за результатами технічного обстеження (діагностики) відповідними спеціалістами. [11, 37, 46, 68, 101, 102]

Станом на 01.01.2006 р. інвентарний парк пасажирських вагонів становив 7704 од. з розподілом по роках побудови, відображеним на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Розподіл пасажирських вагонів за роками побудови

Аналіз існуючого парку пасажирських вагонів залізниць України свідчить про його значне зношення. На 01.01.2006р. інвентарний парк пасажирських вагонів налічував 7704 од., з яких 2545 пасажирських вагонів відпрацювали встановлений ресурс (28 років) і мають бути виключені з експлуатації як такі, що не можуть забезпечити безпеку руху. Тобто, на початок року фактичний інвентарний парк пасажирських вагонів у межах нормативного терміну експлуатації становив 5159 одиниць або 52 відсотків від кількості, яка була у 1990 році (10040 вагонів).

Структура інвентарного парку пасажирських вагонів за віком надана на рисунку 1.2.

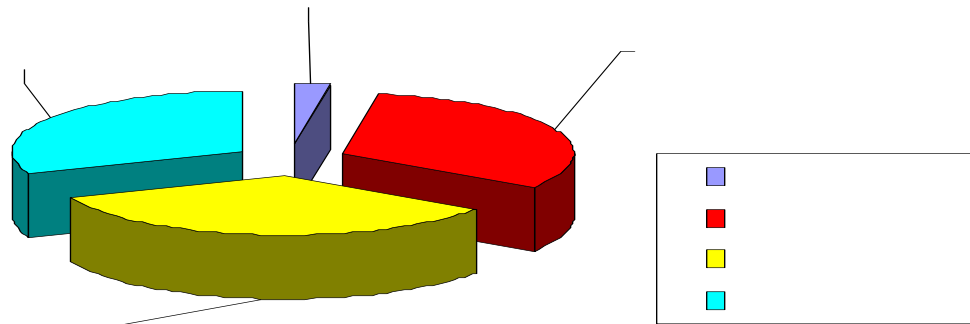


Рисунок 1.2 – Структура інвентарного парку пасажирських вагонів за віком

До кінця 2006 року вичерпається ресурс (28 років) у 291 пасажирського вагона, а впродовж 2006-2010 рр. – ще у 1681 пасажирського вагона. Парк пасажирських вагонів за типами станом на 01.01.2005 р. в межах терміну експлуатації відображено на рисунку 1.3.

В подальшому ситуація з пасажирськими перевезеннями може набути критичного характеру через дефіцит пасажирських вагонів.

Для утримання парку пасажирських вагонів у кількості, необхідній для задоволення потреб населення в пасажирських перевезеннях, лише за рахунок придбання нових пасажирських вагонів, впродовж наступних п'яти років необхідно було б придбати 3907 нових пасажирських вагонів на суму 13 млрд. 917 тис. грн. (при визначенні вартості пасажирських вагонів прийнято ціну, яка є середньоарифметичною цін пасажирських вагонів, що виготовляють ВАТ „Крюківський вагонобудівний завод” і ВАТ „Тверський вагонобудівний завод” – Російська Федерація, та становить 3,53 млн. грн.).

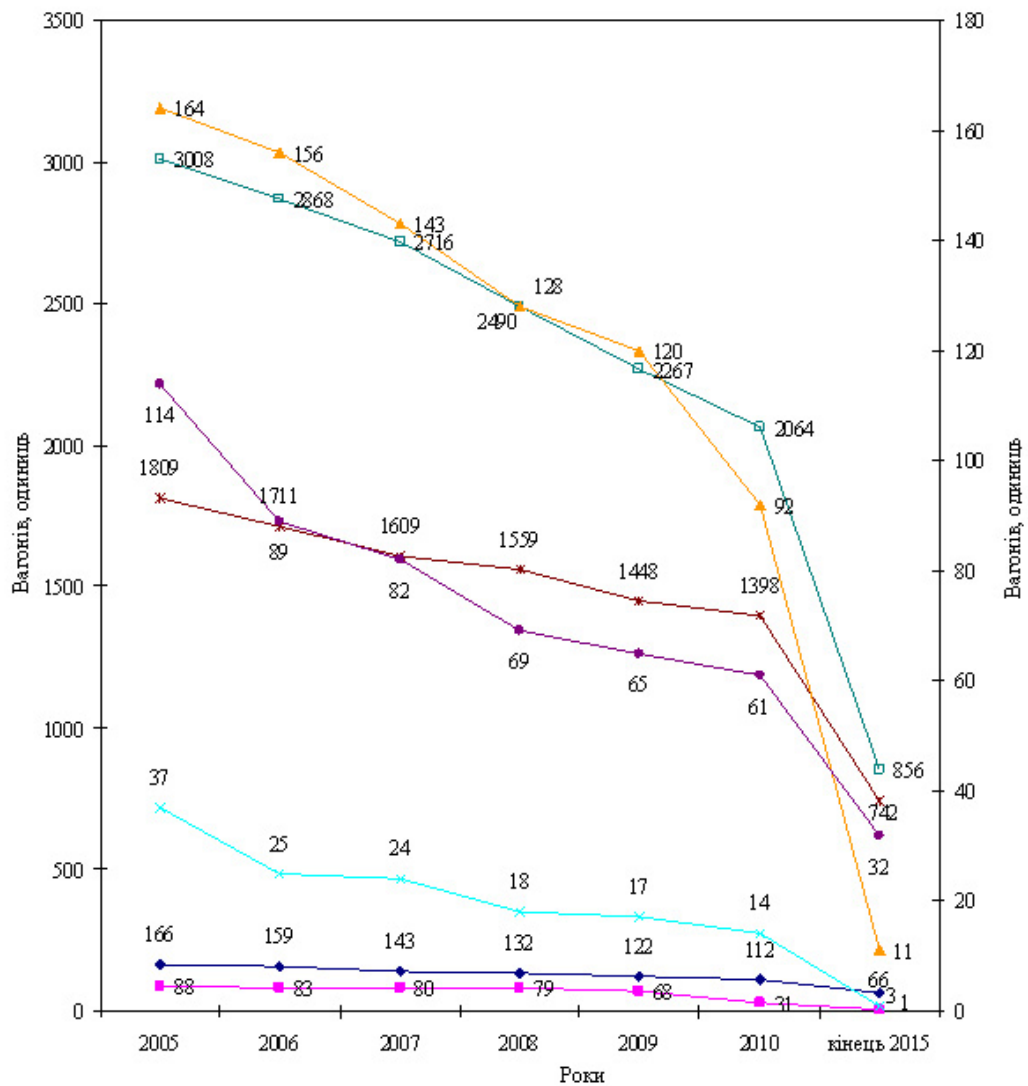
Закон України „Про залізничний транспорт” (стаття 10) передбачає, що придбання залізничного рухомого складу для перевезень пасажирів у поїздах далекого слідування та місцевого сполучення повинне здійснюватися за рахунок коштів Державного бюджету України, але до цього часу цільові бюджетні кошти, через їх дефіцит, для закупівлі пасажирських вагонів не передбачалися. Враховуючи складну економічну ситуацію в країні, подальше виділення їх в необхідній кількості нереальне.

Коштів залізниць також недостатньо для забезпечення покриття експлуатаційних витрат та оновлення в необхідних обсягах залізничного рухомого складу, зокрема, пасажирських вагонів. При середньорічній потребі у придбанні 250 нових пасажирських вагонів, за останні 13 років залізницями України за власні кошти придбано лише 226 пасажирських вагонів або приблизно 7% від потреби.

Тому необхідно визначитися з роботами, які необхідно виконати з пасажирським парком для утримання парку пасажирських вагонів на належному рівні.

Передбачається максимальне використання наявного парку пасажирських вагонів для забезпечення обсягів перевезень.

Враховано вивільнення впродовж 2006 - 2010 рр. 246 пасажирських вагонів з приміського сполучення, які, залежно від року побудови та технічного стану, будуть виключені із інвентарного парку або включені в поїзди після виконання ремонту.



- РІЦ - спальний вагон міжнародного сполучень (РІЦ);
- СВ - спальний вагон (СВ);
- * СМВК - суцільнометалевий вагон купейний (СМВК);
- СМВВ - суцільнометалевий вагон відкритий
- ▲ СМР - суцільнометалевий вагон-ресторан (СМР);
- × СМБ - суцільнометалевий багажний вагон (СМБ);
- ◆ СММО - суцільнометалевий міжобласний (СММО).

Примітка: Кількісний показник для пасажирських вагонів типу СМР, СМБ та СММО розташований справа, для пасажирських вагонів РІЦ, СВ, СМВВ та СММО – зліва.

Рисунок 1.3 – Парк пасажирських вагонів в межах терміну експлуатації

Через обмеженість придбання нових пасажирських вагонів у необхідній кількості, для запобігання скорочення інвентарного парку, обумовлені напрямки з продовження нормативного терміну служби пасажирських вагонів. Це, зокрема, технічне обстеження пасажирських вагонів, у яких закінчився встановлений виробником термін експлуатації. За результатами технічного обстеження визначається можливість продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів після виконання рекомендованого виду ремонту або необхідність виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку. За результатами технічного діагностування пасажирських вагонів впродовж 1999 – 2005 рр. встановлено статистичну залежність відсотку виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку в залежності від типу пасажирського вагона, який наведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Обсяги виключення з інвентарного парку пасажирських вагонів в результаті технічного діагностування

Тип вагона	РЦ	СВ	СМК	СМВВ	СМОбл	СМР	СМБ
% виключення із інвентарного парку	-	-	3,2	25	18	19	16

Методика визначення залишкового ресурсу рухомого складу [30, 61, 83, 100] дозволила здійснити прогнозування щодо можливості продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів, які відпрацювали ресурс, на більш тривалий строк за умови виконання ремонту підвищеного обсягу та заміни інтер'єра пасажирського вагона на сучасний. В результаті на вагоноремонтних підприємствах України організовано капітально-відновлюваний ремонт пасажирських вагонів з продовженням терміну експлуатації. Відновлення пасажирських вагонів провадиться з урахуванням підвищених вимог до них, із застосуванням якісних матеріалів та комплектуючих виробів. Починаючи з 1997 року, в обсязі капітального ремонту з подовженим ресурсом (КРП) відремонтовано 689 пасажирських вагонів.

Під час виконання капітально-відновлюваного ремонту обов'язковою є модернізація окремих систем, вузлів та деталей, яка направлена на забезпечення безпеки руху, покращення технічних властивостей пасажирського вагона та підвищення комфорту салонів.

Крім відновлення пасажирського вагона, зазначений вид ремонту дозволяє переобладнання одного типу пасажирського вагона під інший (наприклад, вагони-ресторани з вичерпаним терміном експлуатації, які були в надлишку, переобладнанні у вагони міжобласного типу).

Але ремонтні підприємства виконували ремонт пасажирських вагонів за особистими Технічними умовами, з продовженням терміну експлуатації пасажирських вагонів до 41 року від дати побудови. При цьому був відсутній єдиний підхід всіх підприємств до технології відновлення пасажирських вагонів.

ВАТ „Дніпровагонрембуд” впровадив нову технологію капітально-відновлюваного ремонту пасажирських вагонів, яка дозволила продовжити термін експлуатації пасажирського вагона до 51 року з одночасним збільшенням міжремонтних пробігів від 300 тис. км. до 450 тис. км. Межовий вік пасажирських вагонів, які підлягають КРП, становить 32 роки.

Починаючи з 2006 р., передбачається перехід на єдину технологію капітально-відновлюваного ремонту пасажирських вагонів, розроблену ВАТ „Дніпровагонрембуд”, з продовженням міжремонтного циклу.

Планується впровадження сервісного обслуговування пасажирських вагонів після КРП вагоноремонтними підприємствами, які виконували зазначений вид ремонту, а також нових вітчизняних пасажирських вагонів вагонобудівниками.

Та, крім освоєння КРП та технічного діагностування, треба одночасно придбавати нові пасажирські вагони, потреба в яких дедалі нарощуватиметься за рахунок необхідності

виключення із інвентарного парку пасажирських вагонів, яким за технічним станом неможливо продовжити термін експлуатації за результатами технічного діагностування (17% від кількості, яка підлягає діагностуванню), а також пасажирські вагони, термін експлуатації яких становить 41 рік та більше, незалежно від виконаного виду ремонту.

Вагони РЩ, завдяки своєму габариту, використовуються, в основному, для перевезення пасажирів до країн Європи.

Станом на 01.01.2005 р. в інвентарному парку залізниць України налічувалося 154 вагонів РЩ, з яких у 66 вагонів завершився термін експлуатації. В результаті виконання КРП продовжено термін експлуатації 36 вагонам.

Роботи на перспективу з парком пасажирських вагонів залізниць України наведені в таблиці 1.2.

В даних умовах найбільш ефективною і економічною буде система ремонту, яка зорієнтована на кожен конкретний пасажирський вагон в залежності від його технічного стану.

Основні елементи індивідуального підходу до відновлення пасажирських вагонів використовуються при виконанні капітально-відновлювального ремонту (КВР) пасажирських вагонів. Питаннями організації КВР займаються у багатьох організаціях. Заслужують уваги перш за все наукові роботи ВНДІЗТа, БелДУТу, ДПТу, УкрНДІБу, ХПТу та ін. Практичний досвід застосування КВР мають Дніпропетровський, Воронежський, Гомельський, Мінський ВРЗ, ряд пасажирських вагонних депо залізниць України. Серед наукових розробок, присвячених організації КВР, необхідно відмітити роботи Савчук О. М., Сенько В. І., Пастухова І. Ф., Райкова Г. В., Лаврова А. П., Романової Т. А., Кельріха М. Б., Донченка А. В. та інших.

Таблиця 1.2 – Парк пасажирських вагонів залізниць України

Роботи з парком пасажирських вагонів Укрзалізниці на 2005 - 2015 роки									
№ з/п	Найменування	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Результат 2005 - 2010 рр.	Прогноз на 2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Інвентарний парк Укрзалізниці станом на 01.01	7872	7655	7619	7554	7518	7444	-428	7131
2	Вичерпається термін експлуатації, визначений виробником, впродовж року	295	294	322	328	375	400	2014	659
3	Продовжено термін експлуатації за результатами КРП, всього	879	1112	1358	1620	1885	2189	-	3595
4	План КРП	190	233	246	262	265	304	1500	141
5	Підлягають виключенню із інвентарного парку віком 41 рік і більше	50	13	17	49	86	99	300	442
6	Підлягають виключенню із інвентарного парку за технічним станом та результатами технічного діагностування	114	45	64	60	64	60	407	50
7	Підлягають повторному технічному діагностуванню	298	295	518	298	289	215	1913	-
8	Підлягають виключенню за результатами повторного технічного діагностування (26%)	79	78	134	77	74	57	499	-
9	Технологічний запас	877	866	850	846	839	832	-	763
10	Відволікання вагонів на господарчі потреби (вагони, які не задіяні в перевізному процесі)	118	118	118	118	118	118	-	118
11	Робочий парк станом на 31.12 з врахуванням виключення вагонів із інвентаря, продовження терміну служби, відволікання на господарчі потреби, технологічного запасу	6634	6535	6436	6404	6327	6277	-	5758

Динаміка середнього віку парку пасажирських вагонів може бути описана наступними регресивними залежностями [67]:

для СМВВ –

$$y = a + b \cdot x \quad ; \quad (1.1)$$

для СМВК -

$$y = a + b \cdot x^3 \quad ;$$

(1.2)

де \bar{z} - роки; \bar{z} – середній вік пасажирського вагона, років; R^2 – показник, що характеризує близькість емпіричних та розрахункових величин,

(1.3)

– емпіричні дані;

– дані, що розраховані по моделі;

 n – число емпіричних даних.

Така динаміка має високу ступінь кореляції з технічним станом пасажирських вагонів.

За результатами аналізу стану пасажирського вагонного парку України можна зробити наступні висновки:

1 Для забезпечення потреб перевезення пасажирів з врахуванням їх поетапного збільшення на найближчі 10–15 років необхідно провести теоретичне обґрунтування, технологічне та організаційне забезпечення якісного ремонту та експлуатації пасажирських вагонів, які відпрацювали свій термін, але з врахуванням їх технічного стану можливо продовження їх експлуатації.

2 Необхідно нарощувати закупівлю пасажирських вагонів нового покоління з підвищеними технічними характеристиками та покращення умов перевезення та обслуговування пасажирів.

3 Провести модернізацію вагоноремонтних підприємств з впровадженням новітніх систем організації та технології ремонту пасажирських вагонів.

1.2 Аналіз систем технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів

Формування й удосконалювання систем технічного обслуговування пасажирських вагонів у розвинутих капіталістичних країнах ведеться з врахуванням умов експлуатації (приналежність до різних фірм, як залізничним, так і не залізничним, режим експлуатації, їхня швидкість і т.д.), надійності пасажирських вагонів, інтенсивності поповнення парку пасажирських вагонів більш досконалішими конструкціями, спеціалізації пасажирських вагонів.

У США до 1975 року ремонт пасажирських вагонів проводився в залежності від технічного стану [41]. Однак, це приводило до постійного зниження безпеки руху поїздів. Тому федеральна залізнична адміністрація (ФЗА) взяла курс на впровадження планово-попереджувальної системи технічного обслуговування і ремонту.

З 1980 року [41] вступили нові стандарти ФЗА. В цих стандартах зроблено цілий ряд змін, що відносяться до нормативних даних по технічному стану окремих вузлів і деталей пасажирських вагонів. Вони передбачають продовження практики здійснення оглядів перед відправленням і накладення штрафів на залізниці, що не усувають дефекти пасажирських вагонів, запропоновані правилами. Було також визначено, що роликові підшипники можуть безвідмовно працювати без заміни змащення протягом усього терміну служби колісної пари.

У процесі експлуатації пасажирського вагона постійно відбувається нагромадження даних про його «поводження». Джерелом таких даних є індивідуальні картки. Вони містять наступні дані про пасажирський вагон: дату виробництва; величину первісних витрат на його придбання; пробіг; тип гальм і гальмових колодок; марку колісних пар; дані про конструкцію візків, зчіпних приладів і підшипників. Якщо при технічному обслуговуванні у пасажирського вагона зроблена зміна вузла чи елемента, то ця інформація заноситься в картку. У ній фіксуються також дані про катастрофу, у яку потрапив пасажирський вагон. Працівники, зайняті технічним обслуговуванням і ремонтом пасажирських вагонів, можуть записати свої пропозиції по удосконалюванню конструкції пасажирського вагона в спеціальну графу - «Удосконалення». [39, 41]

Велике поширення на залізницях США одержала система ремонту пасажирських вагонів за назвою «Уан спот систем», мета якої - сконцентрувати ремонтне устаткування в одному місці. Поточний відчепний ремонт пасажирських вагонів при цій системі виконується в одному місці станції на спеціально обладнаних коліях.

На залізницях США застосовується і система попереджувальних ремонтів. Фахівці вважають, що реалізація даної системи дозволяє значно скоротити витрати на неплановий ремонт і на більш високому рівні планувати роботу ремонтних підприємств.

За останні роки в США розроблені різні системи діагностики пасажирських вагонів. Найбільший інтерес представляє автоматизована система діагностики пасажирських вагонів. Система передбачає аналіз даних по використанню пасажирських вагонів у перевізному процесі з урахуванням операцій по технічному обслуговуванню, прогнозування визначених несправностей і видачу рекомендацій з ремонту.

Найбільші залізничні компанії США і Канади при удосконалюванні системи технічного обслуговування пасажирських вагонів основним напрямком обрали широке впровадження у виробничі процеси комп'ютерної техніки.

На технічне обслуговування і ремонт парку пасажирських вагонів Державних залізниць ФРН щорічно затрачається 472 млн. марок, тобто приблизно 10 % усіх витрат залізниць. Термін служби пасажирських вагонів встановлюється на підставі накопиченого досвіду експлуатації і складає від 20 до 40 років у залежності від типу [39]. Однак і після закінчення встановленого терміну пасажирські вагони не завжди списуються і вилучаються з експлуатації. З цією метою виконуються техніко-економічні розрахунки, основою яких є статистичні дані про характеристики зносу. Особлива увага звертається на технічний стан пасажирських вагонів у другій половині встановленого терміну служби. Якщо доводиться техніко-економічна доцільність експлуатації вагона за межами встановленого терміну служби, то для них виконується особлива категорія ремонту - 07. При цьому виконуються не тільки ремонтні роботи, але і модернізація пасажирського вагона, що дозволяє збільшити термін його служби.

Основою формування системи технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів на залізницях ФРН є промисловий стандарт DIN 31051 «Поточне утримання. Терміни і методи». Згідно цього документу поточне утримання пасажирських вагонів включає технічне обслуговування, технічний огляд і ремонт.

Поточне утримання передбачає виконання як планових, так і позапланових заходів. До першого відносяться технічний огляд, технічне обслуговування і ремонт, а до других - ремонт із метою оперативного усунення виникаючих несправностей. Планові заходи підрозділяються на заводські ремонти і періодичні роботи між ними.

Для координації стратегії розвитку заводів та депо була розроблена програма LWO. Основна мета реалізації LWO – оптимізація технічного обслуговування рухомого складу. Це має на увазі рішення двох складових: підвищення надійності та експлуатаційної готовності рухомого складу, а також значне зниження витрат на його технічне обслуговування.

Заслужує на увагу система яка застосовується на залізницях Німеччини — система забезпечення якості технічного обслуговування вагонів.

Ця система є обов'язковою для всіх заводів і депо, що займаються ремонтом вагонів.

На Британських залізницях застосовується планова система ремонту пасажирських вагонів. Вона передбачає виконання періодичного генерального, проміжного і поточного ремонтів. Періодичний генеральний і проміжний ремонт виконуються на вагоноремонтних заводах, що не спеціалізовані на ремонті якогось визначеного типу вагонів.

При виконанні генерального ремонту пасажирський вагон практично цілком відновлюється. Проміжний ремонт передбачає відновлення зношених і ушкоджених дерев'яних деталей, заміну колісних пар, букс, ресор і інших вузлів, а також незначний ремонт рами.

На британських залізницях існує й інший підхід до системи ремонту деяких типів пасажирських вагонів, заснований на обліку пробігу між ремонтами. Поточний ремонт виконується у пасажирських вагонних депо і спеціальних центрах обслуговування пасажирських вагонів.

Основу системи технічного утримання та ремонту пасажирських вагонів Національного суспільства Французьких залізниць складають наступні фактори: попереджувальний характер поточного утримання пасажирських вагонів; визначення ремонтних термінів і черговості окремих операцій по поточному утриманню і ремонту; спеціалізація ремонтного підприємства і його персоналу.

Для кожного типу пасажирського вагона визначається «крок поточного утримання», що містить у собі два види періодичних операцій: контроль і періодичні огляди; періодичні ремонтні. У свою чергу, останні підрозділяються на обмежений і капітальний ремонтні. Крім цього, передбачається також виконання оздоровчого ремонту за технічним станом пасажирських вагонів.

Національна організація французьких залізниць впровадила систему «ЕСТЕР», яка на базі використання ЕОМ, дозволяє враховувати пробіги пасажирських вагонів при призначенні їм ремонтних профілактичних заходів. [39]

На залізницях Японії ремонт пасажирських вагонів здійснюється по планово-переджувальній системі. Відмінною рисою даної системи є те, що міжремонтні періоди тут менше, ніж на залізницях інших країн.

Зусилля фахівців Японських залізниць спрямовані на збільшення міжремонтних пробігів за рахунок удосконалювання конструкції пасажирських вагонів, системи ремонту і періодичних оглядів. Розроблена в Японії система контролю за рухомим складом призначена для визначення технічного стану протягом усього терміну його служби. Ця система містить у собі п'ять підсистем: обліку і звітності; розподілу робочої сили всього підприємства з метою компенсації добового відхилення в обсязі робіт; матеріально-технічного постачання; оптимізації використання устаткування; перевірки рухомого складу; складання графіків ремонту і планування.

В даний час на залізницях СНД діє вже десята система технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів.

Існуюча система технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів на залізницях СНД трохи відрізняється від американської і західноєвропейської [8].

Згідно з наказом № 32Ц від 22 вересня 1980 року з 1 січня 1981 року була введена диференційована система ремонту й обслуговування пасажирських вагонів. Вона у своїй основі є планово-переджувальною і передбачає технічне обслуговування, деповський та заводські ремонтні.

Терміни проведення капітального, деповського ремонтів і технічного обслуговування ТО-3 пасажирських вагонів представлені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.3 – Строки проведення капітального, деповського ремонтів та технічного обслуговування ТО-3 пасажирських вагонів

Види та періодичність технічного обслуговування та ремонту		

Типи вагонів	Технічне обслуговування ТО-3		Деповський ремонт		Капітальний ремонт		
	Пробіг, км	Календарний строк, не більше	Пробіг, км	Календарний строк, не більше	КР-1, роки в	КР-2 роки в	КРП, не раніше, років
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Суцільнометалеві пасажирські вагони загальної мережі експлуатації							
1.1 Купейні, некупейні, міжобласні		6 місяців	300000	2 років	5	20	28
1.2 Габариту РІЦ, м'які та СВ		6 місяців	300000	2 років	5	20	28
1.3 Вагони-ресторани	-	6 місяців	-	1 року	4	16	25
1.4 Вагони швидкісних поїздів	-	3 місяців	-	6 міс.	4	16	-
1.5 Вагони багажні, поштові, поштово-багажні, вагони для спецконтингенту	-	6 місяців	-	1 року	5	20	-

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
1.6 Вагони дизель-електростанції	-	6 місяців	-	1 року	5	20	28
1.7 Вагони поїздів міжнародного сполучення на візках колії 1435 мм і 1520 мм, окрім вагонів, що курсують залізницями СНД	-	6 місяців	-	1 року	5		
2 Суцільнометалеві вагони спеціального призначення							
2.1 Вагони службові Укрзалізниці	-	1 року	-	3 років	10		
2.2 Вагони для перевезення вищих посадових осіб держави	-	1 року	-	2 років	6		
3 Вагони спеціальні-технічні							
3.1 Гальмо-випробувальні, лікарсько-санітарні, вагони-клуби, динамо-метричні, рейко-шліфувальні та ін.	-	1 року	-	2 років	10	20	
3.2 Вагони-дефектоскопи, вимірювачі колій	-	6 місяців	-	2 років	10	20	
3.3 Турні вагони (для персоналу, який обслуговує колійну техніку залізниць)	-	1 року	-	3 років	10	-	
3.4 Вагони поїздів, що відновлюють рух, пожежних поїздів, колійнообстежувальні та мостообстежувальні, лабораторії служб колії залізниць	-	1 року	-	4 років	15	-	-
3.5 Вагони, що розвозять товари, вагони-лавки	-	1 року	-	2 років	10	-	-

4 Спеціальні вагони	-	1 року	-	3 роки	12	24	
5 Вагони не парку УЗ (організацій та промислових підприємств)							
5.1 Вагони Центробанку	-	1 року	-	2 роки	10	20	
5.2 Вагони інших міністерств та відомств	-	1 року	-	3 роки	10	20	
6 Вагони вузької колії							
6.1 Що збудовані до 1980 року включно	-	6 місяців	-	1 року	6	20	
6.2 Що збудовані у 1981 році і пізніше	-	6 місяців	-	2 роки	8	20	

Важливим у цій системі є урахування виконання пасажирським вагоном роботи. Для реалізації системи ремонту за технічним станом в депо на кожен пасажирський вагон потрібно оформлювати паспорт ремонту. Доказано [41], що вимірник пробігу має високу кореляцію зі зносними та втомленими пошкодженнями вузлів та деталей, а також пасажирського вагона в цілому.

Призначений ресурс повинен встановлюватися при виготовленні складальних одиниць, деталей та пасажирських вагонів у цілому на підставі теоретичних та експериментальних досліджень та вказуватися у нормативно-технічній документації. Ресурс повинен визначатися по терміну служби пасажирського вагона до списання та на період до його ремонту.

При реалізації такої концепції кількість ремонтів у порівнянні з планово-попереджувальною системою зменшиться на 7%, обсяг ремонтних робіт буде скорочено на 10-15%. Це дуже важливо з урахуванням існуючих економічних умов.

За результатами огляду та аналізу систем технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів можна зробити наступні висновки:

1 Планово-попереджувальна система ремонту пасажирських вагонів і надалі є пріоритетною.

2 Велика увага і інвестиції повинні виділятися на розробку діагностичних систем контролю технічного стану пасажирських вагонів з аналізом даних за весь термін служби.

3 Однією з пріоритетних задач є розробка і впровадження систем, що забезпечують експлуатаційну готовність і надійність пасажирських вагонів.

4 Широко повинна застосовуватися обчислювальна техніка в організації і керуванні технічним утриманням пасажирських вагонів.

5 Поряд з наявними ремонтами усе більше застосування повинні знаходити спеціалізовані і контрактні вагоноремонтні підприємства.

1.3 Вплив експлуатаційних факторів на надійність роботи пасажирських вагонів

Надійність пасажирських вагонів визначається інтенсивністю та умовами в яких відбувається їхня експлуатація. Так, пасажирський вагон, що прослужив 20 і більш років, знаходиться часом у кращому технічному стані, чим такий же тип пасажирського вагона, виготовлений всього 5-10 років тому.

Безпека руху поїздів та комфортні умови пасажирів, найбільше визначають першу властивість надійності, тобто безвідмовність. Основним показником безвідмовності пасажирського вагона є імовірність безвідмовної роботи (або безвідмовного прямування вагонів у поїздах за час t), значення якої у подальшому будемо позначати символом $p(t)$ для окремого пасажирського вагона та $P(t)$ для всього поїзда.

Ремонтпридатність пасажирського вагона $V(t)$ пов'язана з часом відновлення його працездатності при технічному обслуговуванні на ПТО в пунктах формування та обороту й оцінюється чисельним значенням імовірності відновлення працездатності за час t , що нормується і який відведений на технічне обслуговування пасажирських вагонів в поїздах.

Кожний окремо взятий пасажирський вагон має досить високе значення показника $p(t)$. Однак при включенні їх у состави імовірність руху поїзда, який складається з m пасажирських вагонів, різко падає і дорівнює добутку імовірності безвідмовного руху кожного пасажирського вагона, тобто

Чим ефективніше технологія технічного обслуговування (V), тим менше відмов (n) виникає у процесі перевізної роботи. Цей взаємозв'язок відповідає відомій залежності [21]:

.3

(1.4)

де $n(V)$ - число відмов пасажирських вагонів у процесі руху поїздів по дільниці за розглянутий час T з урахуванням відновлення їхньої працездатності на ПТО;

n_o – загальне число відмов, обумовлене ненадійністю пасажирських вагонів;

$V(t)$ – імовірність відновлення працездатності пасажирських вагонів (після виникнення відмови) за припустимий (нормований) час t ;

по $V(t)$ – число відмов, що були виявлені й усунуті на ПТО за зазначений час t при підготовці составів у рейс.

Відношення

(1.5)

показує, у скільки разів скоротяться відмови пасажирських вагонів у результаті відновлення їхньої працездатності у системі технічного обслуговування та ремонту.

За формулою

(1.6)

де λ - параметр потоку відмов по замкнутому маршруту;
 L - довжина гарантованої дільниці,
 можна визначити імовірність безвідмовної роботи пасажирських вагонів різних типів при безупинному їх русі по гарантійних дільницях.

На експлуатаційну надійність пасажирських вагонів значно впливає довговічність.

Оптимальний термін служби пасажирського вагона у цілому та окремих його вузлів залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів, що проявляються у процесі виготовлення та експлуатації пасажирських вагонів. З великого числа факторів, що змінюються в часі та враховуються при аналізі та розрахунку оптимального терміну служби, основними є наступні:

- вартість пасажирського вагона, що відповідає визначеному рівню техніки;
- витрати на ремонт та їх збільшення протягом терміну служби;
- експлуатаційні витрати на технічне обслуговування та ремонт;
- можливість модернізації, пов'язані з цим витрати та отримана ефективність.

Для розв'язання задачі в загальному вигляді обмежимося першими трьома факторами, тобто визначимо оптимальну довговічність без урахування морального зносу та можливості модернізації.

Сумарні витрати залізниць, що пов'язані з придбанням, експлуатацією та ремонтом пасажирських вагонів або його частин, можуть бути виражені формулою

$$B(T) = B_{\text{вир.}} + B_e \cdot T + \Sigma f(T), \quad (1.7)$$

де $B_{\text{вир.}}$ - первинна вартість пасажирського вагона, що зменшена на повну вартість реалізованих залишків після вилучення його з експлуатації (списання);

B_e - щорічні витрати, які пов'язані з утриманням пасажирського вагона (експлуатаційні матеріали, заробітна плата та ін.);

T - термін експлуатації в роках;

$f(T)$ - щорічні витрати на ремонт та запасні частини, що змінюються в часі.

Для $f(T)$ можуть бути використані дві залежності: статична - $f(T) = a \cdot T \gamma$ та лінійна $f(T) = a \cdot T + \gamma$ або $f(T) = a \cdot T$.

Вибір тієї або іншої математичної залежності визначається даними, що є у наявності про витрати на ремонт.

Найбільш зручною й достатньо універсальною можна вважати статичну функцію вигляду

$$f(T) = a \cdot T \gamma, \quad (1.8)$$

де a - постійний коефіцієнт, що визначає початкову норму прогресуючих витрат;

γ - показник, що характеризує ступінь інтенсивності зростання прогресуючих витрат на термін служби T .

Статична функція (1.3) характеризує те, що по мірі старіння пасажирського вагона, що експлуатується, утримання його стає все більш не вигідним, тому існує межа раціонального терміну його використання.

Підставивши вираз (1.3) у формулу (1.2), отримаємо початкову для дослідження формулу

$$B(T) = B_{\text{вир.}} + B_e \cdot T + a \cdot T \gamma. \quad (1.9)$$

Віднесемо витрати до одиниці часу, за яку обробляється пасажирський вагон, отримаємо функцію питомих витрат

$$F(T) = B_{\text{вир.}} / T + B_e + a \cdot T \gamma - 1. \quad (1.10)$$

Для визначення оптимального терміну служби продиференціюємо рівняння (1.5) за часом T та прирівняємо отриманий вираз до нуля, тобто

(1.11)

Помноживши обидві частини на T_2 , отримаємо

$$(\gamma - 1) \cdot a \cdot T_{\text{вир.}},$$

звідси

(1.12)

Формула (1.7) показує, що без урахування морального зносу та модернізації оптимальний термін служби вузла пасажирського вагона визначається співвідношенням початкових витрат на придбання вузла, постійного коефіцієнта a , що виражає витрати залізниці на підтримання працездатності вузла на одиницю виробітку, й показника γ , що характеризує інтенсивність прогресуючого зростання цих витрат по мірі зносу вузла. Моральний знос скорочує знайдену вище величину, а модернізація збільшує її.

Значення a та γ є параметрами кривої функції $y = aT\gamma$ й визначається аналітичним або графічним методом.

Важливою умовою, що визначає раціональність планово-попереджувальної системи, є кратність і повторюваність технічного обслуговування та ремонту протягом всього терміну служби пасажирського вагона. Ця умова у загальному вигляді визначається залежністю

(1.13)

де N – кількість деталей, що замінюють за ремонтний цикл;

$T_{\text{ц}}$ – час (пробіг) пасажирського вагона між ремонтами (ремонтний цикл);

t_i – середній термін служби деталей даної групи до заміни;

n_i – кількість деталей із середнім терміном служби.

Очевидно, побудова раціонального графіка ремонтного циклу можлива, якщо величини

.3

(1.14)

будуть кратними між собою і дорівнювати цілому числу.

Величина P_i називається коефіцієнтом змінності й показує, у скільки разів термін служби деталей даної групи менше терміну служби до наступного ремонту. Ця величина визначає характер заходів технічного обслуговування та ремонту, а також структуру ремонтного циклу.

Пасажирські вагони складаються з великої кількості деталей та вузлів, терміни служби яких значно відрізняються один від одного.

Це призводить до того, що при виконанні чергового ремонту часто замінюють ще придатні деталі, у повній мірі не вичерпавши їх ресурси працездатності.

Кількість відмов за період експлуатації пасажирських вагонів не є постійною величиною й характеризується інтенсивністю відмов λ_t . Найбільша інтенсивність відмов спостерігається в період припрацювання та в період роботи сполучень з неприпустимими за технічними умовами зазорами. В період стійкої роботи вузлів пасажирського вагона інтенсивність відмов постійна.

Інтенсивність відмов пасажирського вагона λ може бути подана як сума інтенсивності відмов у результаті зносу деталей λ_z й інтенсивності аварійних

пошкоджень λ_a

$$\lambda = \lambda_a + \lambda_3. \quad (1.15)$$

У загальному потоці відмов кількість відмов за зносами, які усуваються при ремонті, характеризується коефіцієнтом η_3

$$(1.16)$$

При технічному обслуговуванні або ремонті можливо попередити тільки частину відмов через знос, що може характеризуватися коефіцієнтом ефективності планово-попереджувальної системи

$$(1.17)$$

де η_3 – інтенсивність не усунених відмов через знос.

Таким чином, загальна кількість залишкового потоку відмов при виконанні всіх заходів планово-попереджувальної системи буде складати

$$(1.18)$$

Виразимо значення λ_3 та η_3 через λ , η_3 та η_2 і отримаємо

$$(1.19)$$

При аналізі системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів враховуються витрати часу та трудових і матеріальних ресурсів.

Ця задача вирішується у два етапи. Спочатку розраховуються структури та параметри системи технічного обслуговування та ремонту в цілому з точки зору витрат часу на ремонтні роботи. Далі розрахунками обґрунтовуються витрати трудових та матеріальних ресурсів на плановий ремонт.

Теоретично, можливі два варіанти в організації ремонту пасажирських вагонів:

А – пасивний – чекати появи відмови, а потім цю відмову відновлювати, тобто ремонт по технічному стану;

Б – активний – не очікуючи виходу з ладу пасажирського вагона, зупиняти на деякий час його функціонування і проводити частковий або повний ремонт.

Кожен з них має свої переваги й недоліки. Багато у чому залежить від стану розвитку технічних засобів діагностики та пошкоджень пасажирських вагонів.

З точки зору вагонників найбільш бажаний варіант Б, а з інтересів галузі й держави варіант А.

При організації ремонту в рамках варіанта А враховують лише два стани пасажирського вагона: працездатний та непрацездатний. Однак існують відмови деяких

елементів, які важко або неможливо виявити та які не проявляються в експлуатації. В результаті вони загрожують безпеці руху поїздів.

При здійсненні варіанта Б необхідно вирішити два питання: коли слід відчепляти пасажирські вагони в ремонт та які роботи по його відновленню виконувати.

При варіанті А момент початку ремонту визначається моментом відмови, а він випадковий, щодо варіанта Б – то його можна призначити. Таким чином є можливість керувати процесом підтримання ресурсу пасажирського вагонного парку.

На практиці ані варіант А, ні варіант Б у чистому вигляді не зустрічаються. Система ремонту тієї чи іншої деталі пасажирського вагона багато в чому визначається контрольнопридатністю її в експлуатації. Наприклад, гальмові колодки, фрикційні клини візка, ремонтують у рамках варіанта А. Ремонт п'ятника, поглинального апарата автозчепу організуються в рамках варіанта Б. В рамках цього варіанта намагаються ремонтувати, й так звані базові вузли – з великим ресурсом, масивні елементи конструкції. Саме по цих вузлах устанавлюється періодичність планових ремонтів.

При цьому базові вузли (кузов, рама, візки і т.п.) можна розбити на дві групи:

1)ті, які попадають під знеособлений ремонт. Це перш за все вузли з відносно невисокими показниками маси, вартості та ресурсу;

2)ті, що визначають основу пасажирського вагона, тобто не підпадають під знеособлений ремонт.

По відношенню до першої групи планується періодичність деповського ремонту (ДР), а по відношенню до другої – періодичність капітального ремонту (КР).

Таким чином в організації технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів важливо правильно вирішити наступні задачі:

1 Підтримання працездатності пасажирських вагонів у заданих межах у процесі їх руху по гарантійних ділянках на всьому шляху прямування

2 Вибрати раціональну періодичність ремонту пасажирських вагонів з урахуванням терміну їх служби;

3 Організувати роботи з технічного обслуговування та ремонту на підставі нової концепції, що базується на впровадженні технічної діагностики пасажирських вагонів;

4 Розробити передові технологічні процеси технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ
ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТРОКУ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО
РЕСУРСУ

2.1 Методика розрахунків зусиль, які діють на елементи конструкції пасажирського вагона

Дослідження технічного стану пасажирських вагонів [1], показують, що вагони з одним й тим же терміном служби можуть суттєво розрізнятися своїм технічним станом, що викликає труднощі в організації їх технічного обслуговування та ремонту і свідчить про недостатню ефективність існуючої системи відновлення технічного ресурсу пасажирських вагонів.

Встановлено [2, 3], що розміри корозійного пошкодження несучих елементів, які визначають технічний стан пасажирських вагонів, залежать від терміну їх служби. На величину корозійних пошкоджень впливає тип антикорозійного покриття, конструктивні особливості, способи експлуатації та інші фактори [6].

Найбільш характерно це проявляється для пасажирських вагонів після 20 років експлуатації. Тут площа корозійних пошкоджень варіюється від 2 до 61 м² і як наслідок змінюється несуча спроможність кузовів пасажирських вагонів.

В результаті корозійних пошкоджень змінюється товщина елементів конструкції пасажирського вагона, що значною мірою впливає на їх міцність та стійкість. При наявності відповідного методу або моделі розрахунків чи оцінка стану елементів конструкцій в поточний момент можливе прогнозування виду ремонту, його час та трудозатрати.

Як основу для розрахункових досліджень прийнятий метод кінцевих елементів (МКЕ) - потужний і універсальний метод розрахунку на ЕОМ конструкцій будь-якої складності незалежно від геометрії, граничних умов, матеріалу і зовнішніх впливів [7, 8, 9, 10].

Розрахунок конструкції по МКЕ починається з її розбивки на окремі прості кінцеві елементи, зв'язані в окремих точках - вузлах. Відповідно до можливих переміщень вузлів для кожного з них встановлюється число ступенів волі. Кожному ступеню волі вузла відповідає певне переміщення.

Передбачається, що в цих вузлових точках відбувається взаємодія між кінцевими елементами. Результатом взаємодії є переміщення вузлів U і відповідні їм вузлові зусилля R . Зазначені переміщення вузлів приймаються в якості основних невідомих МКЕ.

Усередині кожного кінцевого елемента задаються закони розподілу напруг або переміщень. Ці закони виражаються функціями, від невідомих вузлових переміщень.

Звідси випливає, що, знаючи переміщення вузлів кінцевого елемента можна однозначно визначити напруги і переміщення.

Таким чином, розрахунок будь-якої конструкції по МКЕ зводиться до визначення переміщень усіх вузлів розрахункової моделі.

Для визначення вузлових переміщень U складаються рівняння рівноваги вузлів системи [25, 43, 93]

$$[K]\{U\}=\{P\}, \quad (2.1)$$

де $[K]$ - матриця твердості системи,

$$[K]= [K i];$$

$[K i]$ - матриця твердості i – го кінцевого елемента;

$\{U\}$ - вектор вузлових переміщень;

$\{P\}$ - вектор зовнішнього заданого впливу.

Матриця твердості будь-якого кінцевого елемента $[K_i]$ визначається по відомій формулі

$$[K_i] = [B_i]^T [D_i] [B_i] dv, \quad (2.2)$$

де $[B_i]$ - матриця похідних базисних функцій обраного апроксимуючого ряду для шуканої функції переміщень;

$[D_i]$ - матриця пружних жорсткісних характеристик матеріалу;

V_i - обсяг кінцевого елемента.

Формування матриць $[K]$ і $\{P\}$ проводиться програмним шляхом після введення в ЕОМ інформації про геометрію конструкції, характері і величинах навантаження, властивостях матеріалу, типах і характеристиках кінцевих елементів.

Обчисливши по формулі (2.1) вузлові переміщення $\{U\}$ можна оцінити напружено-деформований стан кожного кінцевого елемента.

Напруги в будь-якій точці кінцевого елемента визначаються по формулі [43]

$$[\sigma_i] = [D_i] [B_i] \{U_i\}. \quad (2.3)$$

Вибір типу і форми кінцевих елементів природно залежить від характеру розглянутої задачі. При розрахунку на статичні навантаження пасажирський вагон доцільно представити пластинчато-стрижневою системою, тобто взяти кінцеві елементи у вигляді призматичних стрижнів і пластин, як трикутних так і чотирикутних (рисунок 2.1).

Призматичний стрижень. Для моделювання балок і підкріплювальних елементів обшивки пасажирського вагона обраний кінцевий елемент типу "стрижень із твердими консолями". Такий стрижневий кінцевий елемент, що працює на розтягування-стискання в осьовому напрямку, на скручування і згин у двох взаємно перпендикулярних площинах, зображений на рисунку 2.1. У кожному торцевому перерізі елемента вводиться три лінійних переміщення і три компоненти вектора повороту.

По кінцям стрижень має абсолютно жорсткі консолі висотою H , які приймаються рівними ексцентриситету приєднання стрижня до листів обшивки. Число ступенів волі, а відповідно і порядок його матриць жорсткості дорівнює 12.

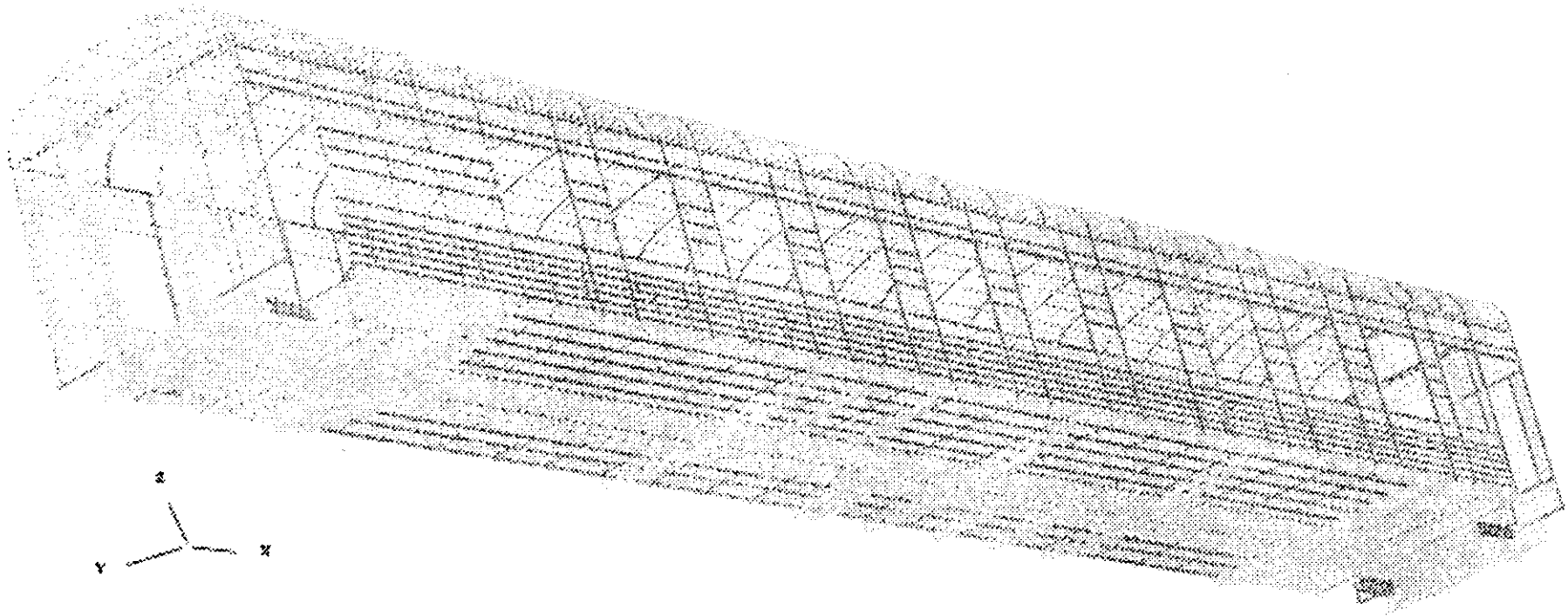


Рисунок 2.1 - Стержньові елементи розрахункової кінцево-елементної моделі кузову пасажирського не купейного вагону

На рисунку 2.2 представлений елемент стрижня, який працює на різні види деформації.

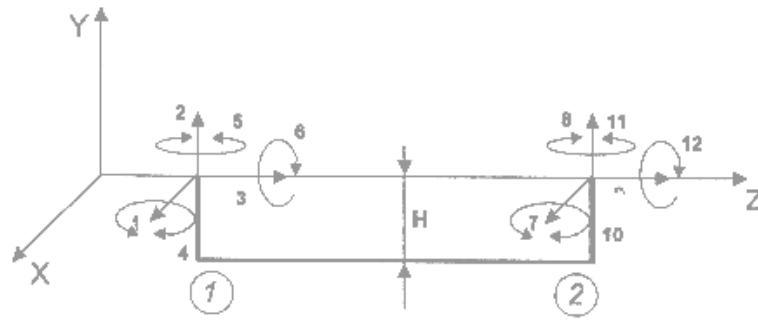
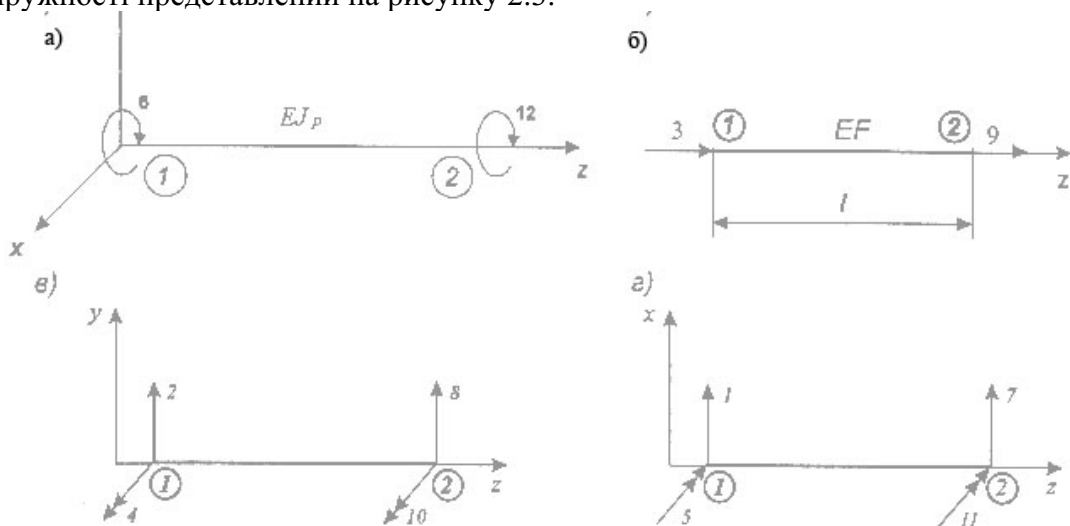


Рисунок 2.2 - Стрижневий кінцевий елемент з жорсткими консолями

Трикутний пластинчатий кінцевий елемент. Для обшивки торцевих і бокових стінок, а також настилу підлоги і обшивки даху пасажирського вагона можуть бути використані трикутні і прямокутні кінцеві елементи. Трикутний кінцевий елемент для плоскої задачі теорії пружності представлений на рисунку 2.3.



а – на кручення;

б – на розтягнення-стиснення;

в – на згин у площині yz;

г – на згин у площині xz

Рисунок 2.3 - Елемент стрижня, який працює на різні види деформації

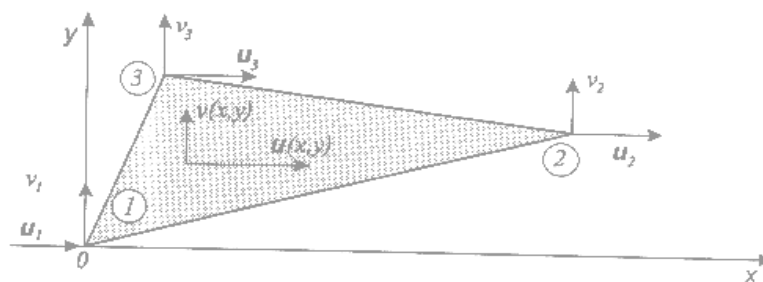


Рисунок 2.4 - Трикутний кінцевий елемент

Прямокутний пластинчастий кінцевий елемент. Для моделювання обшивки металоконструкції кузова пасажирського вагона доцільно використовувати прямокутний пластинчастий (оболочечний) кінцевий елемент.

На рисунку 2.4 зображений типовий прямокутний пластинчастий елемент, що знаходиться під дією мембранних і згинаючих сил.

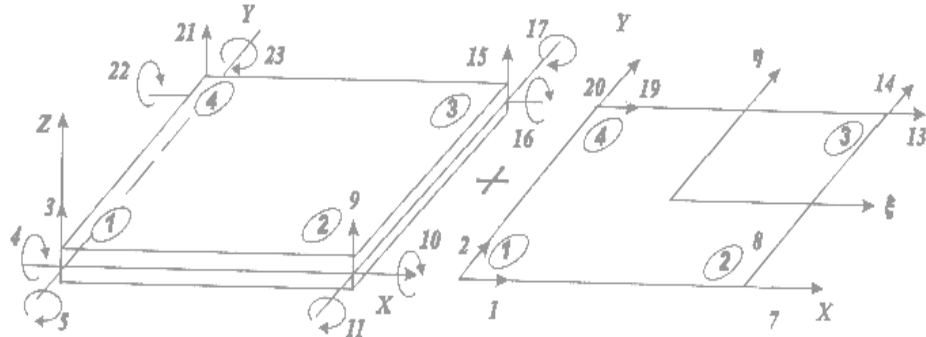


Рисунок 2.5 - Прямокутний пластинчастий елемент

Розрахункова кінцево-елементна модель кузова пасажирського некупейного вагона

Металоконструкція кузова пасажирського некупейного вагона [11] включає раму з настилом підлоги, бокові і торцеві стіни, а також дах (рисунок 2.6).

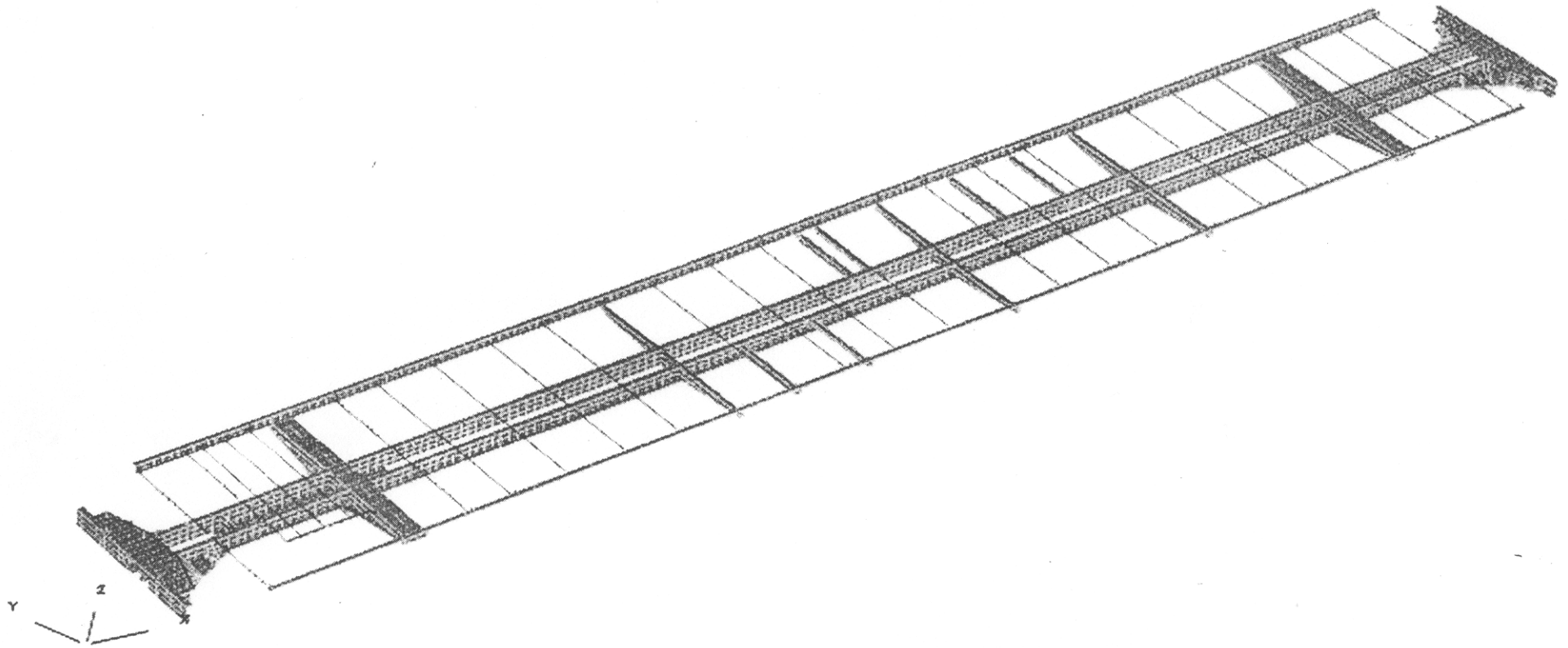


Рисунок 2.6 - Загальний вигляд рами та схема розташування балок набраних пластинами

Рама кузова має наскрізну хребтову балку, кінцеві, шкворневі і поперечні балки. Хребтова балка складається із 3-х частин: двох кінцевих – із швелерів № 30В-1, середньої полегшеної із швелерів №30а. Консольна частина рами має кінцеву балку, виконану зі швелера №30 і підсилену верхнім листом і кутником. Шворнева балка коробчастого перерізу змінної по довжині висоти. Вона складається з двох вертикальних стінок, перекритих верхніми і нижніми листами товщиною 10 мм. Поперечні балки рами штамповані кутового профілю, також змінної по довжині висоти, товщиною 6 мм (рисунок 2.7).

Настил підлоги виконаний із гладкого листа товщиною 3 мм у консольних частинах рами і гофрованого товщиною 2 мм у середній частині. Бічні обв'язки рами виконані з Z - подібного профілю висотою 100 мм. До них приварені Z - подібні балки підлоги, покладені на металевий настил.

Бокова стіна кузова виконана з гофрованих листів підкріплених із внутрішньої сторони вертикальними Z - подібними стійками і верхньою обв'язкою. Обшивка верхнього пояса виконана з листа товщиною 2 мм, а міжвіконних прорізів і нижнього пояса - з листів товщиною 2,5 мм. Дверні стійки мають спеціальний Ω - подібний профіль.

Торцева стіна виготовлена з гофрованих листів товщиною 1,5 мм, армованих кутовими стійками. По обох сторонах дверного проїому розташовані потужні стійки з двотавру № 27, призначені для сприйняття ударів і збереження від руйнування кінцевих частин кузова при аваріях.

Дах має зварний каркас, що складається з Z - подібних дуг, з'єднаних бічними обв'язками кутового профілю. Каркас обшитий у середній частині гофрованими листами товщиною 2 мм, а по схилах — гладкими листами такої ж товщини.

Таким чином, кузов пасажирського некупейного вагона має несучу конструкцію у вигляді замкнутої підкріпленої тонколистової оболонки із вирізами. Оболонка зроблена з набору повздовжніх і поперечних елементів жорсткості, зв'язаних з обшивкою. Тому розрахункова схема кузова приймалася у вигляді комбінованої (пластинчато-стрижневої) просторової системи.

При побудові моделі використовувалися три типи кінцевих елементів: пластинчасті 3-х і 4-х кутні і стержні.

Пластинчасті кінцеві елементи застосовувалися для моделювання обшивки, а також хребтової, шворневих, кінцевих балок, нижніх обв'язок, бокових стінок і протиударних стійок торцевих стін (рисунок 2.5 -2.7). Для всіх інших балок конструкції використовувалися стрижневі кінцеві елементи (рисунок 2.8) з абсолютно твердими консолями на кінцях, які відповідають величинам ексцентриситетів.

При моделюванні гофрованої обшивки її плоска частина представлялася як пластина, а гофри - стрижнями.

Розроблена модель призначена для оцінки залишкової міцності кузовів, що мають корозійні ушкодження. Тому вона побудована для кузова в цілому.

Розрахункова модель з достатньою точністю апроксимує пасажирський некупейний вагон і дозволяє вести розрахунок для будь-якого виду та сполучення експлуатаційних навантажень. Параметри розрахункової моделі наступні: кількість вузлів - 22112, кількість кінцевих елементів -33485. Вона дозволяє робити розрахунки для будь-якого виду і сполучення експлуатаційних навантажень, і з урахуванням будь-яких схем зносів.

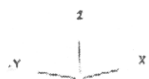
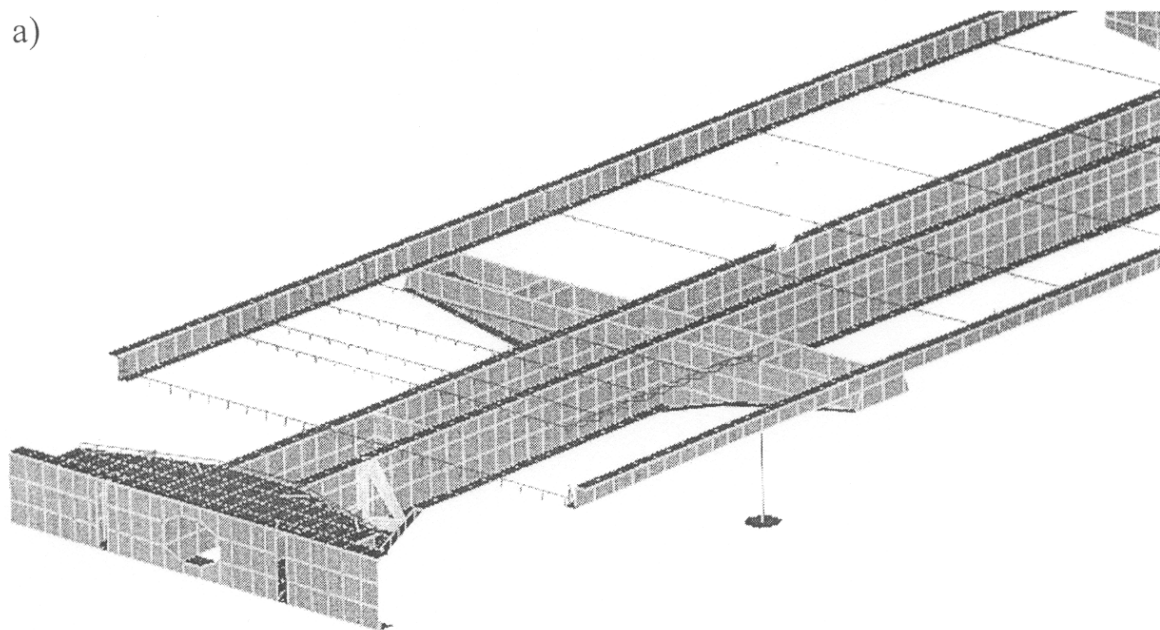
При розрахунку розглядалася схема завантаження, що відповідає I-му розрахунковому режимові [12]. Вертикальне статичне навантаження від власної маси кузова, маси внутрішнього устаткування і маси пасажирів з багажем прикладені до хребтової балки і бічних обв'язок рами. Подовжня стискаюча сила T_I -2,5 МН прикладалася до задніх упорів автозчепного пристрою.

Розрахункова кінцево-елементна модель кузова пасажирського купейного вагона моделі 47D.

Кузов пасажирського купейного вагона, моделі 47D має хребтову балку тільки в консольних частинах, на ділянці між шкворневими балками вона відсутня.

Кінцева частина рами кузова призначена для сприйняття повздовжніх сил і передачі їх на бокові стінки, має розвинуту конструкцію, що складається з кінцевих,

a)



б)

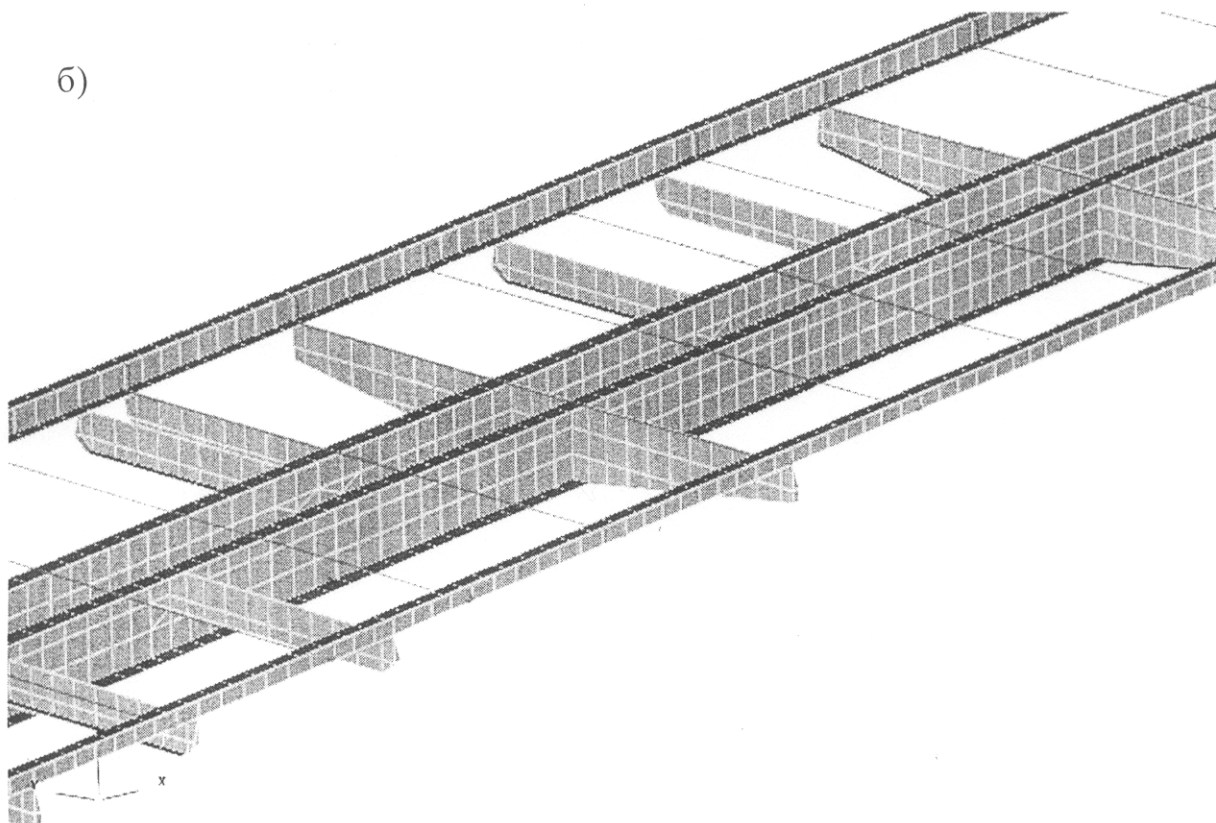


Рисунок 2.7- Фрагменты рами: а - консольна частина;
б – середня частина.

лобових, і шкворневих балок, розкосів і відрізків хребтової балки. Усі ці елементи об'єднані в єдиний вузол верхнім і нижнім листами товщиною 10 мм, що мають вирізи. Нижні подовжні обв'язки з'єднують дві кінцеві частини рами.

Проміжні поперечні балки рами передбачені двох видів: штамповані коритоподібного профілю перетином 140x60x4 мм і прокатані зі швелерів № 14. До поперечних балок на ділянці між шкворневими балками приварений гофрований металевий, настил підлоги товщиною 2,0 мм. На ділянках від шкворневих до кінцевих балок настил підлоги гладкий товщиною 3,0 мм.

До нижніх обв'язок приварені стійкі кутового гнутого профілю, з'єднані вгорі обв'язкою коритоподібного нерівномічного гнутого профілю. Обшивка бокових стін з подовжніми гофрама має товщину над вікнами і між ними - 2 мм, нижче вікон 2,5 мм. З внутрішньої сторони листи кузова підкріплені подовжніми елементами.

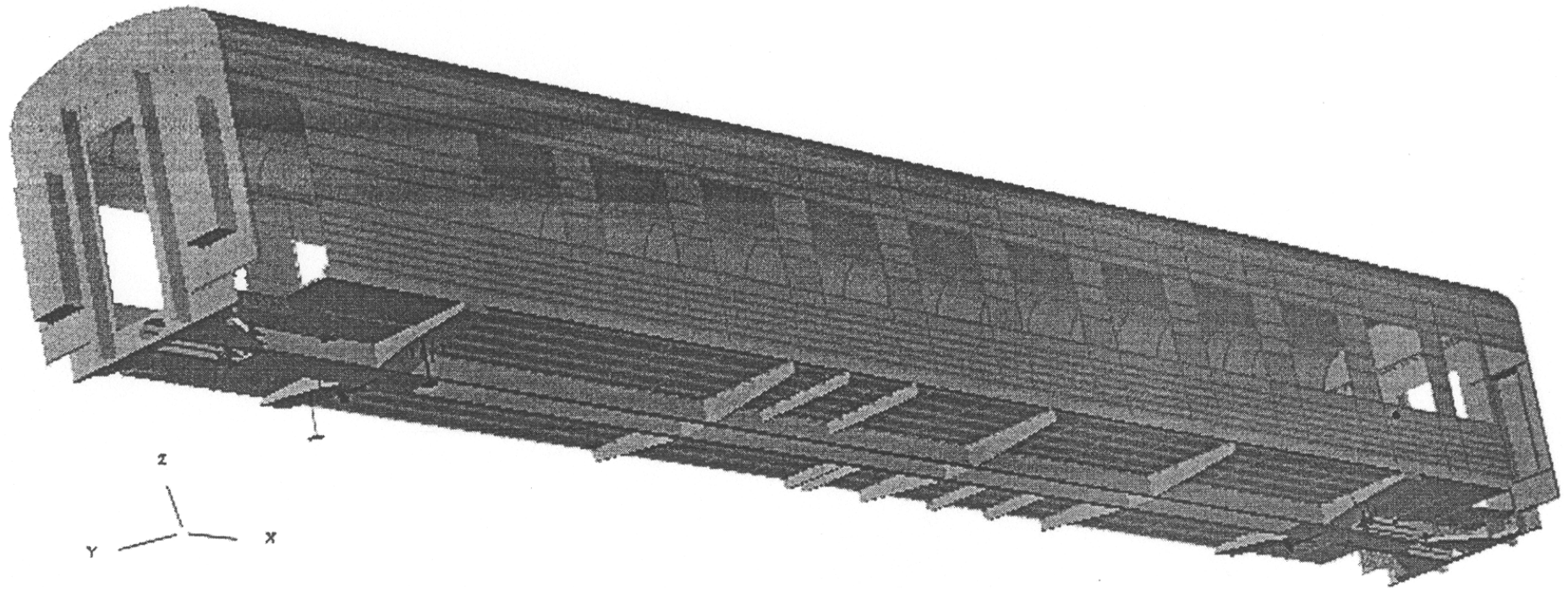


Рисунок 2.8 - Пластинчасті елементи розрахункової кінцево-елементної моделі кузова пасажирського не купейного вагону

Обв'язка даху виконана з кута, дуги - з кутових елементів, крайні листи обшивки даху (на схилах) мають товщину 2,5 мм, листи середньої частини товщину - 1,5 мм. У середині листи даху підкріплені подовжніми балками.

Торцеві стіни мають потужні протиударні стійки виконані з двотавру № 24.

Розроблена розрахункова модель кузова прийнята просторовою, комбінованою (рисунк 2.9). Всі елементи консольних частин (рисунк 2.10) (кінцеві балки, лобові балки, шкворневі балки і розкоси рами) і обшивка кузова моделювалися 3-х і 4-х кутними пластинчастими кінцевими елементами. Інші балки рами, стійки і подовжні підкріплювальні елементи бічних і торцевих стін, дуги і подовжні підкріплювальні елементи даху - стрижневими кінцевими елементами (рисунк 2.11).

Розрахункова модель містить 1827 вузлів, 3690 кінцевих елементів (у тому числі стрижневих - 1941, пластинчастих - 1749).

Так само як і в моделі кузова пасажирського некупейного вагона тут як розрахункові сили приймалися сили, що відповідають 1-ому розрахунковому режимові завантаження.

Автоматизація розрахунку геометричних характеристик перерізів елементів кузовів.

Вихідні дані для розрахунку по МКЕ містять у собі вихідну інформацію про геометричні характеристики. Розрахунок геометричних характеристик автоматизований і проводиться за наступним алгоритмом [13]:

1 розбивають складний переріз на ряд простих або стандартних елементів, положення центрів ваги яких відомо, а моменти інерції визначаються по готових формулам .

2 проводять довільні осі X_0 , Y_0 відповідно по нижній і лівій кромкам перерізу.

3 визначають координати центра ваги U_c , X_c , осьові моменти інерції I_x , I_y
Координати центра ваги складного перерізу

;

(2.4)

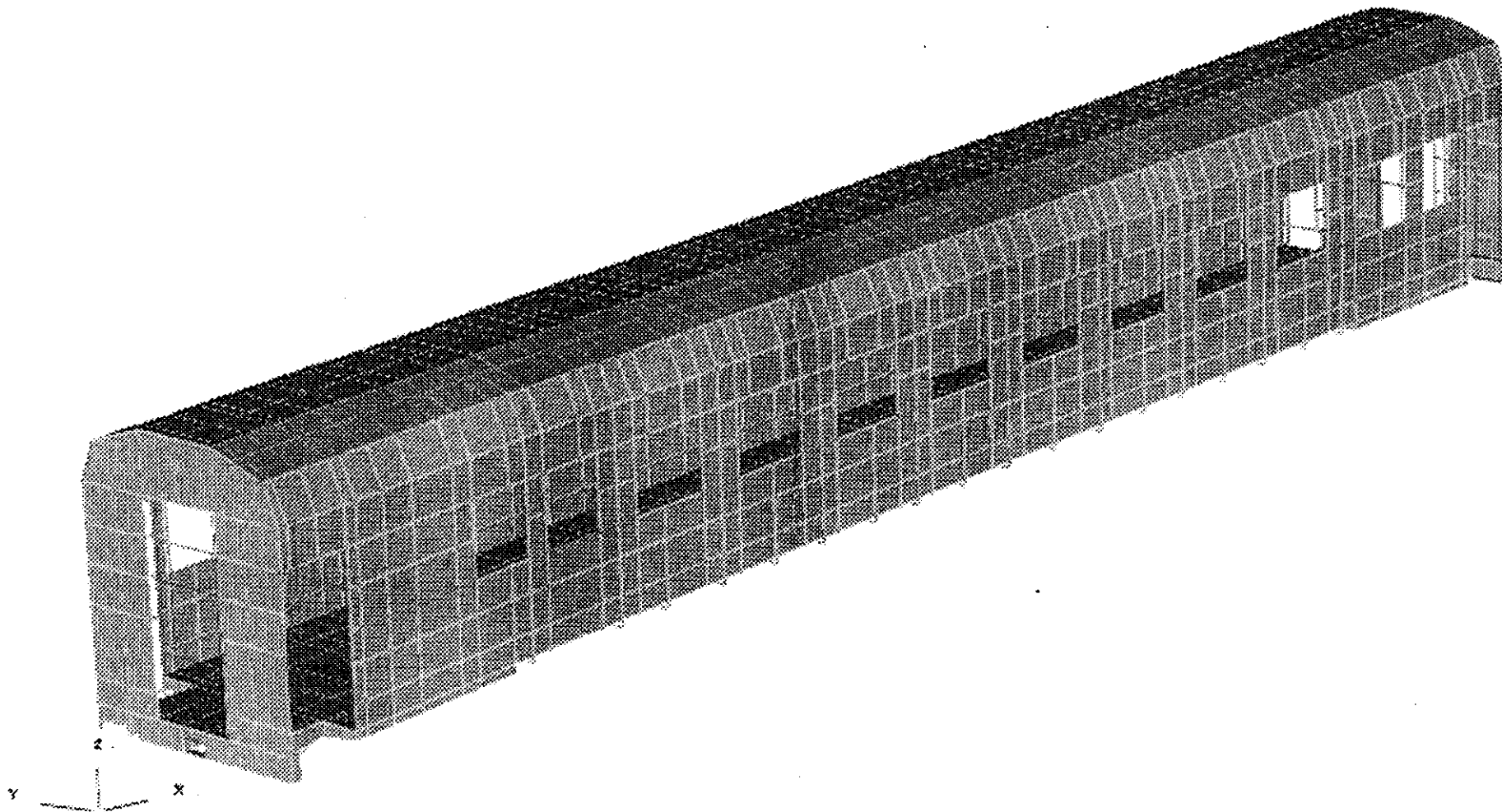


Рисунок 2.9 - Розрахункова кінцево-елементна модель кузову пасажирського купейного вагона

(2.5)

де F_i - площа поперечного переріза i -го елемента;
 y_i, x_i - відстань від осі X_0 і Y_0 , до власної центральної осі x_i і y_i i -го елемента;

I_{x_i}, I_{y_i} - момент інерції i -го елемента щодо власної центральної осі x_i або y_i .

Осьовий момент інерції складного перерізу

(2.6)

Момент опору перерізу при крученні:

- замкнених коробчастих перерізів

-

;

(2.7)

- відкритих профілів

,

(2.8)

де h - висота перерізу;

- висота перерізу між серединами горизонтальних полиць;

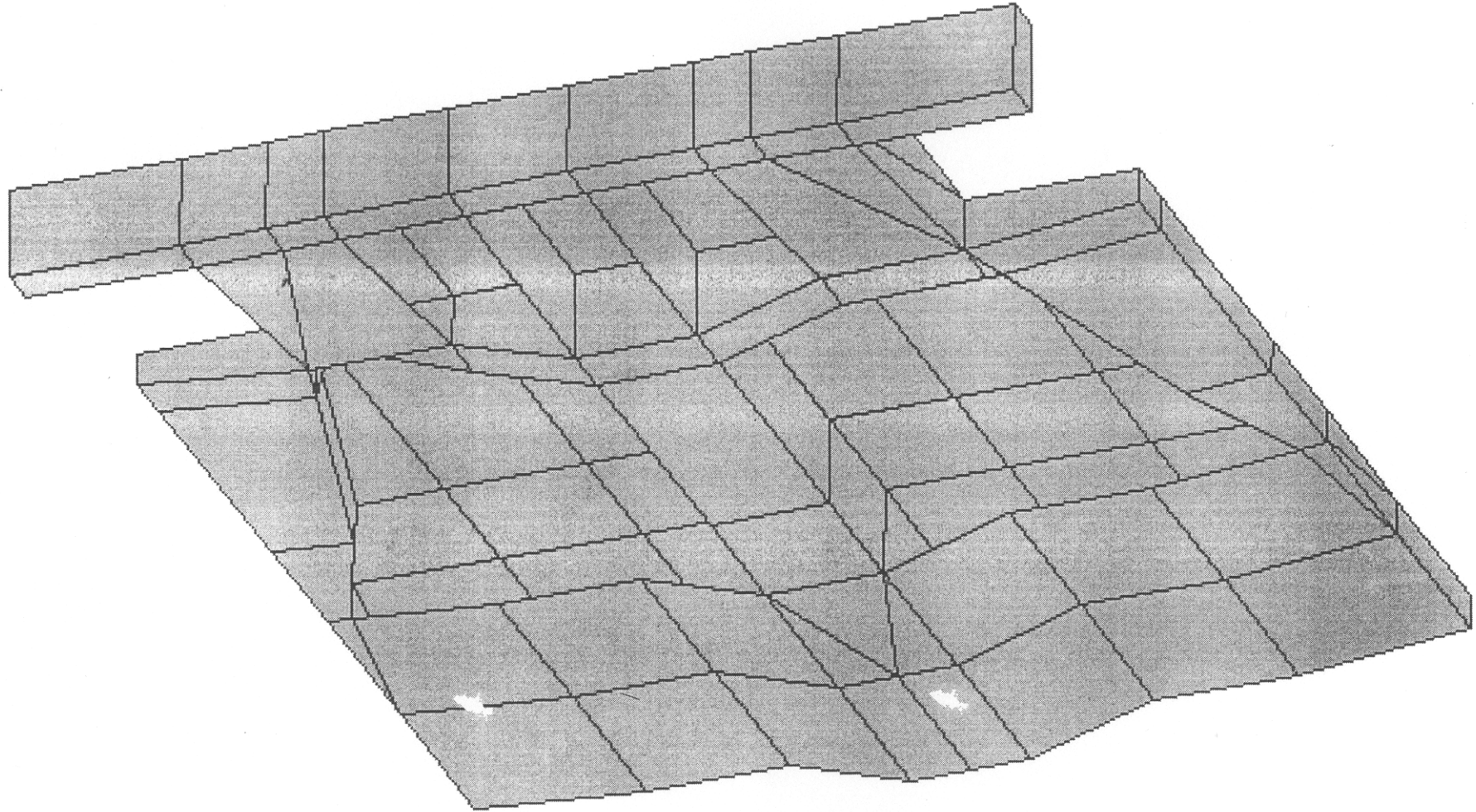


Рисунок 2.10 - Консольна частина рами пасажирського купейного вагону

b - ширина перерізу;

- ширина перерізу між серединами вертикальних стінок;

, - відповідно товщини вертикальних стінок і горизонтальних полиць перерізу;

- момент опору i -го прямокутного поперечного елемента;

- довга сторона i -го прямокутного поперечного перерізу;

- коротка сторона i -го прямокутного поперечного перерізу;

- коефіцієнт, чисельні значення якого приймаються в залежності від співвідношення l/b .

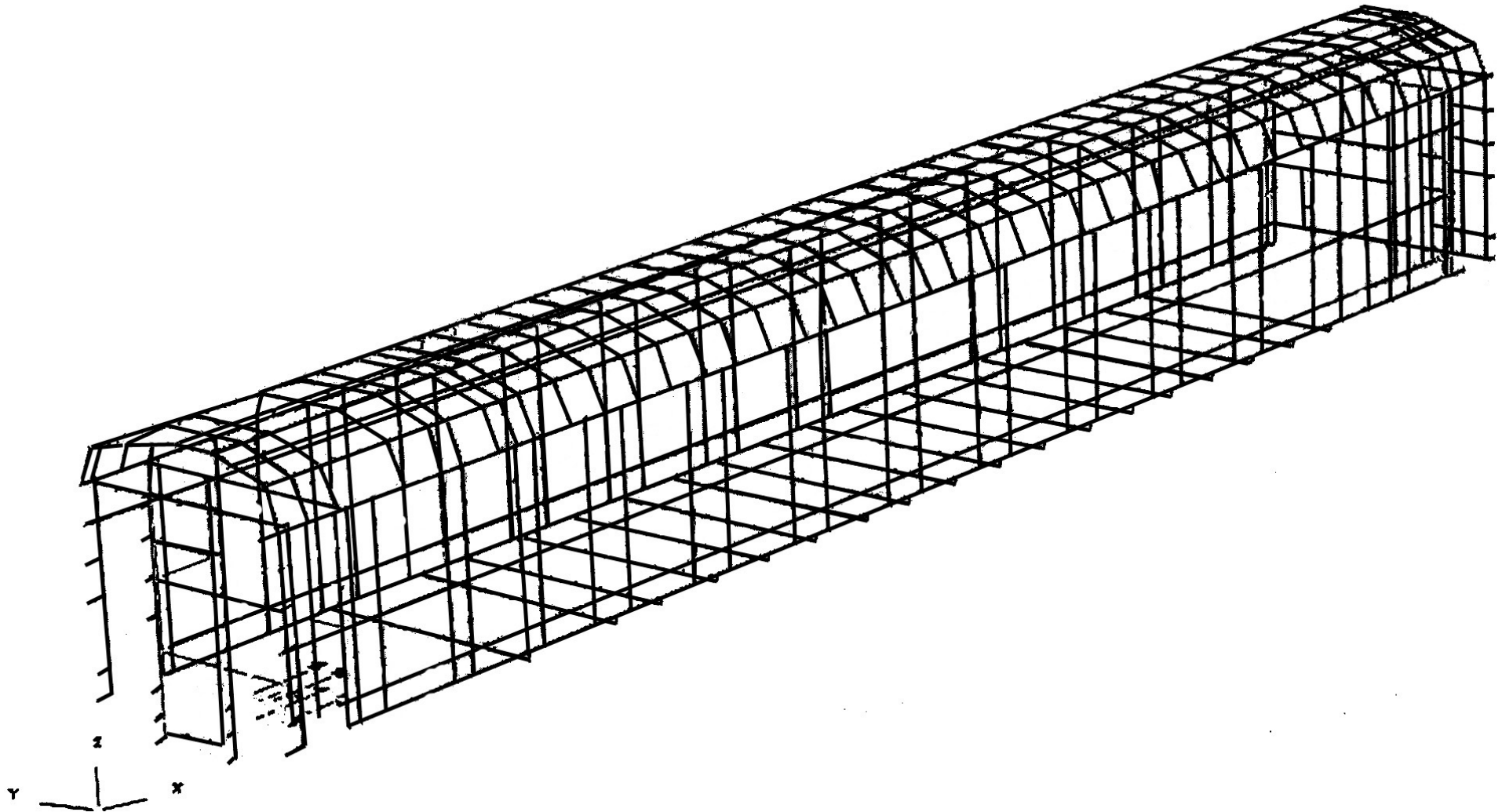


Рисунок 2.11 - Стержньові елементи розрахунково-елементної моделі кузова пасажирського купейного вагону

На основі даної методики була розроблена програма розрахунку геометричних характеристик, із використанням алгоритмічної мови Бейсік. Блок-схема алгоритму розрахунку приведена на рисунку 2.12. [88]

Результати розрахунку без додаткової обробки можуть використовуватися у якості вихідної інформації для міцнісного розрахунку.

Розрахункові моделі для оцінки стійкості елементів кузова

Обшивка бокової стінки і настилу підлоги виконана із гофрованих профілів (рисунок 2.13) підкріплених із середини повздовжніми і поперечними елементами жорсткості.

При розрахунку на стійкість гофри розглядаються як стрижні із шарнірними опорами по кінцях, що мають довжину рівну відстані між елементами поперечного набору кузова. Для гофрів бокової стіни ця відстань дорівнює відстані між стійками, для гофрів підлоги – між поперечними балками.

Для однопролітних стрижнів критичні напруги визначаються по формулі Ейлера [14]

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E I}{F l^2} \beta \quad (2.9)$$

де E – модуль пружності першого роду;

λ – гнучкість стрижня,

;

β – коефіцієнт приведення довжини стрижня, що визначається в залежності від умов його закріплення і прикладення навантаження;

l – розрахункова довжина стрижня;

I – мінімальний момент інерції перерізу стрижня;

F – площа поперечного перерізу стрижня.

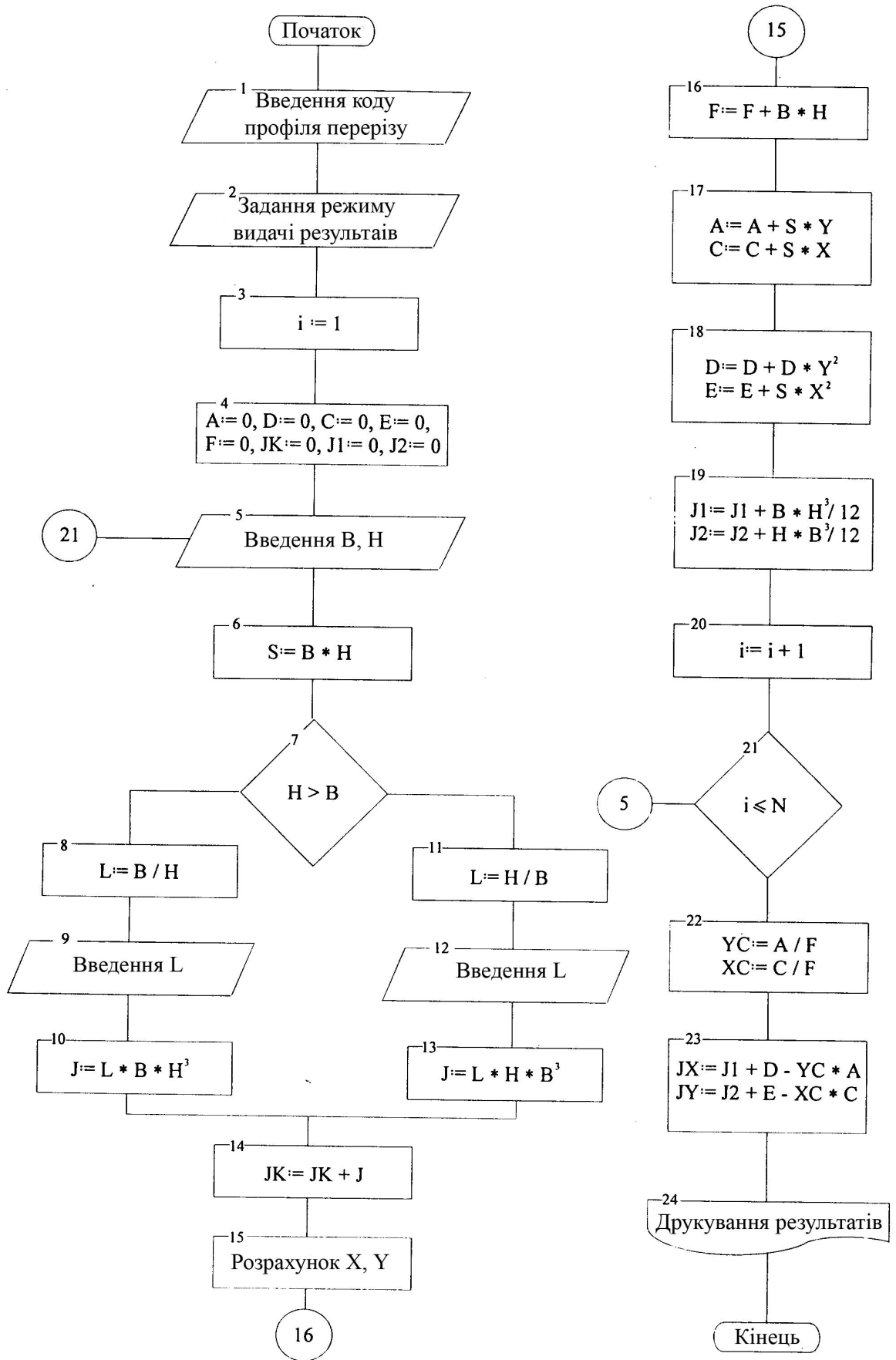


Рисунок 2.12 - Блок-схема алгоритму розрахунку геометричних характеристик

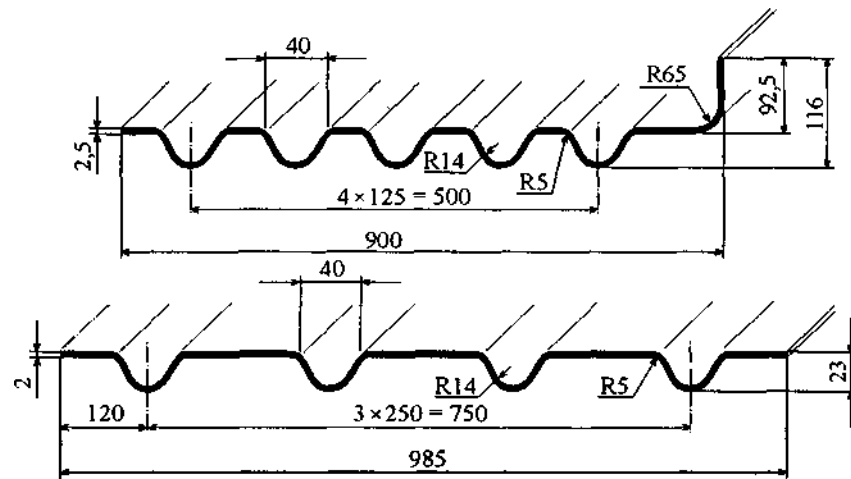


Рисунок 2.13 - Листи гофрованої обшивки бокової стіни і настилу підлоги

Формулою (2.9) можна користуватися за умови, що гнучкість стрижня задовольняє нерівності

$$\dots \tag{2.10}$$

де \dots - найменша допустима гнучкість стрижня, при якій можливе застосування формули Ейлера [15].

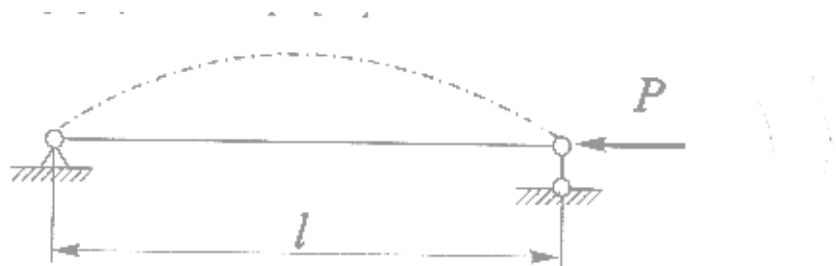


Рисунок 2.14 - Розрахункова схема однопрольотного стрижня

За межею пропорційності при \dots критичні напруги визначаються за формулою

$$\dots \tag{2.11}$$

де σ_{cr} , σ_{pr} - відповідно межа текучості і межа пропорційності матеріалу стрижня при стисненні.

Як показала практика розрахунків, що виконувалися Тверським ВСЗ, застосування однопролітної розрахункової схеми для гофрів нижнього поясу бокової стіни і підлоги дає занижені значення критичних напруг при збільшенні відстані між елементами поперечного набору кузова. Однак, результати випробувань на стиснення і співударяння кузовів пасажирських вагонів показали, що втрати стійкості гофрів нижнього поясу бокової стіни і підлоги не спостерігається.

У цьому випадку необхідно робити уточнення розрахункової схеми шляхом збільшення кількості розглядаємих прольотів.

Гофр розглядається при цьому як трьохпролітний стрижень на жорстких опорах із шарнірним закріпленням кінців (рисунок 2.15).

Критичні напруги визначаються за формулою

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{F} \quad (2.12)$$

де P_{cr} - критична сила,

;

α - коефіцієнт, значення якого приймається по довіднику [15], заздалегідь обчисливши допоміжні параметри.

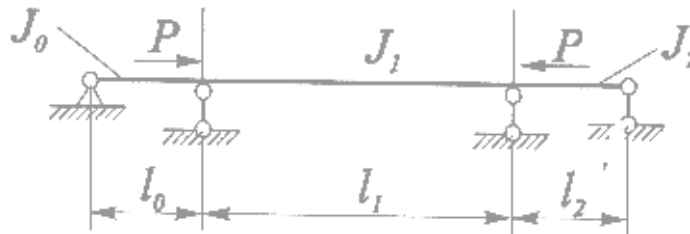


Рисунок 2.15 - Розрахункова схема трьохпрольотного стрижня

Після отримання критичних напруг окр порівнюють їх із розрахунковими σ_{розр} шляхом обчислення запасу стійкості n

$$n = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{розр}} \quad (2.13)$$

Оцінку стійкості виконують по умові

$$n \geq n_{доп} \quad (2.14)$$

де $n_{доп}$ - допускаємий коефіцієнт запасу стійкості.

Випробування, проведені Тверським філіалом ВНИИ вагонобудування по визначенню критичних напруг гофрів нижнього поясу, із урахуванням лінійної і кутової жорсткості опор, показали, що по мірі наближення гофра до нижньої обв'язки його критичні напруги зростають. Різниця критичних напруг між гофром, що знаходиться під віконним проємом і примикаючим до нижньої обв'язки бокової стіни, може сягати 15%.

Як відмічається у роботі [16], найбільш достовірні результати по запасам стійкості повздовжніх підкріплюючих елементів пасажирського вагону може дати розрахункова схема, яка розглядає усі прольоти на довжині кузова і дійсний закон розподілення нормальних зусиль у повздовжніх елементах, а також враховують лінійну і кутову жорсткість опор. При цьому необхідно розглядати не окремий повздовжній елемент, а всю їх сукупність. Така оцінка стійкості може бути дана на основі методу кінцевих елементів в рамках єдиної розрахункової моделі кузова (рисунки 2.16).

Енергетичний критерій стійкості базується на мінімумі повної потенційної енергії у стані рівноваги. Перша і друга варіації повної потенційної енергії у стані рівноваги мають вигляд [12]:

$$d^2\chi d(\delta) = d\{\delta\}^T d\{\psi\} \{\delta\}^T [KT] d\{\delta\}, \quad (2.15) \quad (2.16)$$

де χ - повна потенційна енергія;
 $\{\psi\}$ - матриця зовнішніх і внутрішніх сил;
 $[KT]$ - повна матриця тангенціальних твердостей;
 $\{\delta\}$ - параметри переміщень.

Таким чином, як випливає з (2.15) у стані рівноваги повна потенційна енергія χ стаціонарна.

Критерієм стійкості є позитивність величини другої варіації % повної потенційної енергії і навпаки, її заперечність є критерієм нестійкості (оскільки в першому випадку системі повинна бути передана енергія, а в другому - у конструкції надлишок енергії). Цей критерій широко використовується для оцінки стійкості у випадку великих деформацій. Для малих деформацій задача стійкості зводиться до більш простого формулювання, оскільки при малих переміщеннях повна матриця тангенціальних твердостей зводиться до матриці початкових напруг $[K_0]$, пропорційній величині напруг.

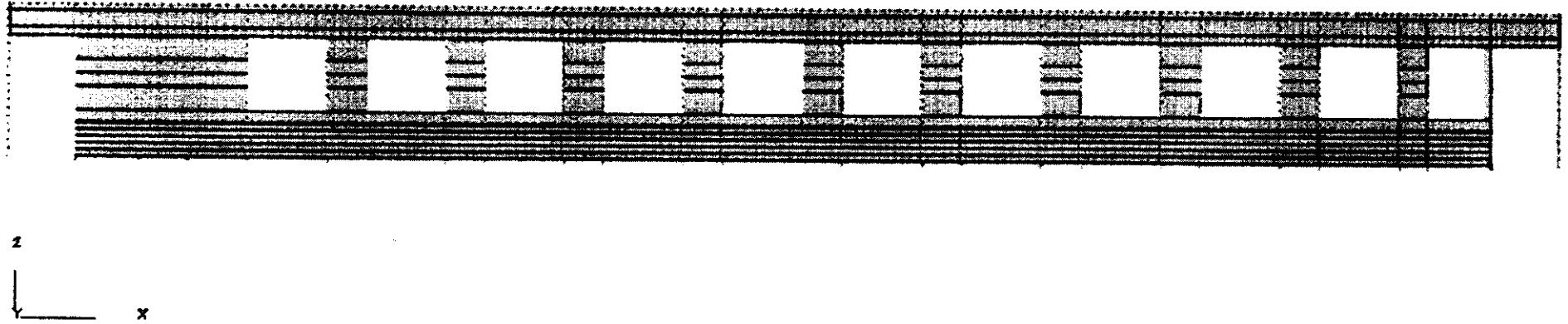


Рисунок 2.16 - Розрахункова кінцево-елементна модель стінки для оцінки стійкості

У цьому випадку

$$d\{\psi\} = ([K_0] + \omega[K_\sigma])d\{\delta\} \equiv 0, \quad (2.17)$$

де $[K_0]$ - матриця твердості при малих деформаціях.

Вирішуючи задачу на власні значення, можна знайти ω , що при використанні для обчислення матриці K_σ напруг від номінального навантаження, є запасами стійкості.

Принциповою проблемою є визначення власних значень для пучка матриць. На цьому ґрунтується рішення класичної задачі стійкості. Для великих матриць ця процедура вимагає дуже великих тимчасових витрат, і тому її бажано спростити. Зробити оцінку стійкості бокових стінок можна за наступним алгоритмом.

1 Проводиться міцносний розрахунок кузова в цілому методом кінцевих елементів за допомогою розробленої кінцево-елементної моделі.

2 З загальної конструкції виділяється кінцево-елементна модель бокової стіни і як навантаження для неї приймаються переміщення усіх вузлів на границях бокової стіни з рамою і дахом, отримані при розрахунку кузова в цілому (рисунок 2.16).

3 Для отриманої системи, використовуючи метод кінцевих елементів, вирішується задача стійкості. Для цього формується матриця твердості, визначаються серединні напруги в обшивці і внутрішні зусилля в стрижневих підкріплювальних елементах, формується геометрична матриця (матриця початкових напруг). Для пучка матриць вирішується задача на власні значення, що є запасами стійкості для кожної з форм можливої втрати стійкості.

Таким чином, найважливішим етапом реалізації концепції індивідуального підходу до ремонту пасажирських вагонів є оцінка залишкової несучої здатності кузовів, що мають корозійні ушкодження після різних термінів експлуатації.

Для розрахунку залишкової несучої здатності металоконструкції кузовів пасажирських вагонів прийнятий метод кінцевих елементів. Це найбільш ефективний і універсальний метод розрахунку на ЕОМ конструкцій будь-якої складності незалежно від геометрії, граничних умов, матеріалу і зовнішніх впливів.

Розроблені розрахункові просторові комбіновані кінцево-елементні моделі основних типів пасажирських вагонів.

Створені моделі призначені для оцінки залишкової несучої здатності кузовів пасажирських вагонів, що мають корозійні ушкодження, за умовами міцності і стійкості. Тому на відміну від звичайних розрахункових моделей вони побудовані для кузова в цілому.

Розрахункові моделі з достатньою точністю апроксимують кузов пасажирського вагона розглянутого типу і дозволяють вести розрахунки для будь-якого сполучення експлуатаційних навантажень.

Для практичної реалізації розроблених моделей виконаний автоматизований розрахунок геометричних характеристик перерізів елементів кузовів, що є вихідними даними для розрахунку по МКЕ.

2.2 Моделювання системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів з урахуванням відпрацьованого ресурсу

Технологічний процес технічного обслуговування та ремонту пасажирського вагона, що відпрацював свій ресурс (контрольований технологічний процес), можна структурно представити у виді, показаному на рисунку 2.17.

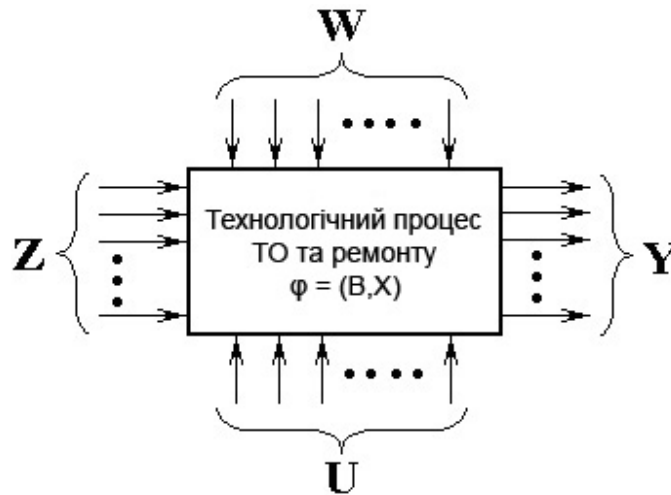


Рисунок 2.17 - Структурна схема контрольованого технологічного процесу

На даному рисунку показані наступні позначення:

Y - контрольований вектор вихідних перемінних (наприклад, контрольовані вихідні параметри, економічні показники і т.д.);

Z - вектор контрольованих збурювань (наприклад, тестові впливи при проведенні контролю, показники складу застосовуваних матеріалів, поточний стан технологічного устаткування і т.д.);

U - контрольований вектор керуючих впливів, за допомогою яких регулюється технологічний режим (наприклад, прийняті рішення і здійснені дії обслуговуючого персоналу);

W - вектор неконтрольованих збурювань, що впливають на режим технологічного процесу контролю (наприклад, неконтрольовані параметри технологічного устаткування і зовнішнього середовища і т.д.).

Як правило, цю структурну схему вдається звести до виду, показаному на рисунку 2.18.

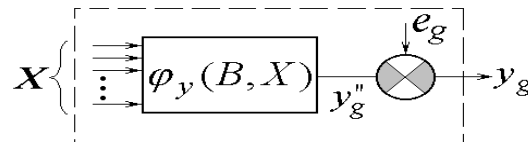


Рисунок 2.18 - Перетворена структурна схема контрольованого технологічного процесу

На даній структурній схемі показані:

y_g - виділений компонент вектора Y ;

e_g - відповідна y_g випадкова адитивна перешкода, що характеризує вплив на вихідний

компонент випадкових неконтрольованих збурювань W ;

X - вектор контрольованих вхідних перемінних, що об'єднує дію перемінних Z та U ;

- параметрична функція з вектором параметрів U , що описує здійснюване

об'єктом перетворення значень перемінних X в значення вихідних перемінних y_g .

Пунктиром на рисунку 2.18 обведена частина об'єкта, що не спостерігається.

З метою наочності надалі будемо розглядати тільки об'єкт зі скалярним виходом типу рисунка 2.18 і індекс при y_g будемо опускати, хоча всі результати безпосередньо можуть бути узагальнені на об'єкт із багатомірним виходом типу рисунка 2.17.

Математичним описом об'єкта будемо називати залежність виду [1]

(2.18)

де \hat{V} означає оцінку невідомого вектора дійсних значень параметрів V .

Структура \hat{V} вважається заданою апіорі й адекватна дійсній залежності

Оцінки параметрів \hat{V} визначаються на основі експериментальних даних у виді сукупності досвідів [1]

(2.19)

Кожен i -й досвід відбиває зафіксовані поточні значення вхідних перемінних x_1, \dots, x_k та відповідне значення вихідної перемінної y . Сусідні досвіди розділені рівними інтервалами часу Δt .

Усю сукупність досвідів, зафіксованих у процесі експерименту, можна узагальнити у виді матриць спостереження [1, 2]

(2.20)

Спосіб математичної обробки матриць спостережень (X, Y) для отримання оцінок залежить від вибору математичної моделі, що описує поведження досліджуваного об'єкта. Стосовно до структури, показаної на рисунку 2.18 зручною математичною моделлю є модель множинної регресії [3]

$$y_i = b_j x_{i1} + \dots + b_k x_{ik} + e_i, \quad (2.21)$$

де x_i - незалежні не випадкові перемінні (регресори), значення яких задані для кожного i ;

b_j - невідомі постійні параметри (регресійні коефіцієнти) ;

e_i - невідома випадкова помилка;

y_i - залежна випадкова перемінна (регресант).

У матричній формі для n досвідів модель (2.21) можна записати у виді $Y = XB + E$ з розмірністю матриць:

$$Y - (n \times 1), \quad X - (n \times k), \quad B - (k \times 1), \quad E - (n \times 1). \quad (2.22)$$

Модель (2.21) є лінійною по параметрах у тім змісті, що для кожного i залежна перемінна y_i являє собою лінійну комбінацію невідомих параметрів b_j .

Разом з тим модель (2.21) може бути нелінійною по вхідним перемінним об'єкта x_j , наприклад, окремі регресори в (2.21) можуть мати вигляд

і т.д.

На практиці математичний опис об'єкта на основі регресійної моделі найчастіше задається у виді полінома по вхідним перемінним (повного або неповного) не вище третього порядку і має вигляд [3]

(2.23)

Не випадковість перемінних x_j у моделі (2.21) розуміється в тім змісті, що при багаторазовому відтворенні (гіпотетичного або реальному) того самого (кожного) i -го досвіду [3]

ряд випадкових значень вихідної перемінної

є результат дії тільки випадкових значень регресійної помилки

Однак фактична зміна вхідних перемінних x_j на реальному об'єкті може бути як випадковим, так і не випадковим.

Статистичні властивості оцінок , регресійної моделі (2.21) цілком визначаються властивостями регресійної помилки e . У реальній ситуації, як правило, не мають у своєму розпорядженні апріорі ніякої інформації про властивості випадкової величини e . Тому для регресійної моделі (2.21) вводяться допущення на поводження помилки e , що забезпечують «гарні» властивості оцінкам [3]:

1 В кожному досвіді e_i має нормальний закон розподілу

(2.24)

2 В кожному досвіді математичне чекання e_i дорівнює нулю

(2.25)

3 У всіх досвідах дисперсія e_i постійна й однакова

(2.26)

4 Помилки e_i в будь-яких двох досвідах незалежні

(2.27)

У векторній формі допущення (2.24 - 2.27) можна представити у виді узагальненої нуля гіпотези [6]

(2.28)

де N_n - позначення n -мірного нормального закону розподілу;

- n -мірна одинична матриця.

Крім прийнятих допущень, що обумовлюють поводження регресійної помилки e , необхідно ввести наступні (додаткові до попереднім) припущення 5, 6 і 7 [3].

5 Матриця спостережень X має повний ранг

(2.29)

6 Структура, що постулює, адекватна істинній залежності.

7 Помилки реєстрації ϵ_j вхідних перемінних x_j нехтуванні малі в порівнянні з випадковою помилкою e .

У наступному будемо припускати, що допущення (5, 6 та 7) виконуються, і розглянемо особливості використання регресійної моделі (2.21) для побудови математичного опису об'єкта типу рисунку 2.18 з урахуванням можливого порушення допущень (2.24 - 2.27), що стосується поводження випадкової помилки e .

Якщо виконуються всі допущення (2.24 - 2.27), то для одержання оцінок $\hat{\beta}$ можна використовувати метод максимальної правдоподібності (ММП), що забезпечує оцінкам наступні оптимальні властивості: асимптотичну ефективність, незміщенність, обґрунтованість, спільний нормальний закон розподілу (2.20). Значення $\hat{\beta}$, що доставляють максимум функції правдоподібності, виведеної в припущенні (2.24 - 2.27), відповідають умові [1]

(2.30)

Отже, при виконанні (2.24 - 2.27) вираження для одержання ММП-оцінок збігається з умовою методу найменших квадратів (МНК).

З (2.30) випливає, що ММП-оцінки $\hat{\beta}$, як і МНК-оцінки, є лінійними відносно v .

Якщо допущення (2.24) не виконується, функцію правдоподібності одержати не можна і, отже, не можна знайти ММП-оцінки для β . Однак при виконанні (2.25 - 2.27) оцінки $\hat{\beta}$, отримані по методу найменших квадратів, будуть найкращими (у значенні мінімуму дисперсії) у класі лінійних оцінок, незміщеними, обґрунтованими й асимптотичне нормальними [3].

Значення оцінок $\hat{\beta}$, що доставляють мінімум значенню Q у (2.30), є рішенням системи нормальних рівнянь виду

(2.31)

У матричній формі система (2.31) і її рішення мають вигляд:

$$, \quad (2.32)$$

$$. \quad (2.33)$$

Якщо виконуються допущення (2.24 - 2.27), то отримані у виді (2.33), оцінки мають наступні властивості [3]

$$; \quad (2.34)$$

$$; \quad (2.35)$$

$$; \quad (2.36)$$

$$, \quad (2.37)$$

де c_{jj} , c_{jq} - елементи матриці $C=(X^T X)^{-1}$.

Або в матричній формі

$$. \quad (2.38)$$

Незмщеною оцінкою для невідомої дисперсії помилки σ^2 є величина [3]

$$, \quad (2.39)$$

де y_i - "передвіщене" значення в i -му досвіді, отримане шляхом підстановки i -го досвіду X_i в емпіричне рівняння регресії

$$. \quad (2.40)$$

Найкращою лінійною незмщеною оцінкою вектора помилок E є вектор залишків [1]

$$, \quad (2.41)$$

де

$$. \quad (2.42)$$

При дотриманні (4.7-4.10) вектор залишків має властивості [1]

$$. \quad (2.43)$$

Наступні результати справедливі тільки при виконанні сукупності умов (2.24 - 2.27).

Використовуючи статистичні розподіли, засновані на нормальному розподілі, можна одержати інтервалові оцінки для емпіричної моделі регресії [3].

Використовуючи t-розподіл, інтервалу оцінку для одного окремо узятото коефіцієнта b_j , можна представити у виді

$$, \quad (2.44)$$

де $t_{\alpha/2, n-k}$ - табличне значення t-розподілу для рівня значимості $(\alpha/2)$ і числа ступенів свободи $(n - k)$.

Співвідношення (2.44) справедливо з довірчою імовірністю $P=1-\alpha$.

Довірча область, у якій з імовірністю $P=1-\alpha$ укладені одночасно значення всіх регресійних коефіцієнтів b_j , описується рівнянням [1]

$$, \quad (2.45)$$

де $F_{\alpha, k, n-k}$ - табличне значення F-розподілу для рівня значимості α та числа ступенів свободи k і $(n-k)$.

Співвідношення (2.44) і (2.45) дозволяють за вибілковими оцінками b_j , що є результатом обробки однієї вибірки, одержати судження про невідомі значення коефіцієнтів Y :

- окремо для кожного (2.44);
 - сукупному розташуванні значень одночасно всіх коефіцієнтів (2.45);
 - умовному розташуванні деяких коефіцієнтів при фіксованому значенні інших (2.25).
- Використовуючи t-розподіл, інтервальну оцінку для математичного чекання

в кожному i -му досвіді матриці спостережень, X можна представити у виді [3]

$$, \quad (2.46)$$

де \hat{y}_i - «передвіщене» значення в i -му досвіді, отримане шляхом підстановки даних i -го досвіду X_i в емпіричне рівняння регресії (2.40).

Співвідношення (2.46) дає можливість з імовірністю $P=1-\alpha$ судити про справжню величину вихідного показника y_0 у кожному досвіді експерименту.

Емпіричне рівняння регресії (2.40) можна використовувати для прогнозування значень вихідного показника y_0 для будь-якої комбінації значень вхідних перемінних

X_0 спостережень, що утримуються в матриці X . Справжнє значення прогнозу y_0 з імовірністю $P=1-\alpha$ буде укладено в інтервалі [3]

$$, \quad (2.47)$$

де η - значення, отримане шляхом підстановки вектора X_{n+1} в емпіричне рівняння регресії (2.40).

Якщо структуру технологічного процесу вдається звести до структурної схеми рисунка 2.18 з m -мірним виходом Y ($m \times 1$) то динамічне поводження об'єкта можна описати через перемінні стани у виді системи матричних рівнянні [1]

$$\dot{X} = AX + B\eta, \quad (2.48)$$

$$Y = CX + D\eta, \quad (2.49)$$

- де
- вектор ($\eta \times 1$) поточних значень перемінних стану об'єкта;
 - вектор поточних станів вхідних перемінних об'єкта;
 - вектор поточних значень не вимірюваної частини вихідних перемінних;

- вектор похідних перемінних стану за часом;

A, G, H, Q - матриці з постійними компонентами.

Математичний опис динамічного об'єкта у виді моделі регресії має наступні особливості [1]:

- у регресійне рівняння у виді регресорів входять не тільки вхідні перемінні x_1, \dots, x_k , але і їхні запізнілі значення до V -го включно, а також запізнілі значення вихідної перемінної до V -го включно;

- навіть якщо по g -му виходу для помилки e_g виконується умова (2.43), регресійна помилка δg унаслідок динамічних ефектів буде автокорельована по типу марковського процесу V -го порядку.

- присутність членів передісторії виходу, $\delta g_{i-1}, \dots, \delta g_{i-V}$, що є випадкові величини, означає, що умова не випадковості регресорів порушується, крім того, одночасно порушується умова незалежності векторів $\Delta[i]$ і $Y[i]$, що тепер виконується лише у асимптотиці.

Методика одержання моделі технологічного процесу ТО та ремонту з контролем параметрів

На підставі параметричної матриці контролю (XY) формується система нормальних рівнянь (2.31), рішенням якого є звичайні МНК-оцінки математичного опису у виді [1]

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y, \quad (2.50)$$

Дану систему можна вирішувати будь-яким чисельним методом, що використовує звертання матриці коефіцієнтів, оскільки для обчислення $(X'X)^{-1}$ необхідно мати елементи зворотної матриці s_{jj} (2.35). На підставі отриманих значень s_{jj} , обчислюється залишкова дисперсія σ^2 відповідно до (2.39) [1].

Для одержання математичного опису у виді рівняння регресії з вільним членом [3]

$$, \quad (2.51)$$

у матрицю X необхідно додати вектор-стовпець $\mathbf{1}$. Тоді рішення системи з $(k+1)$ -го рівняння дає математичний опис у виді

$$\text{де} \quad (2.52)$$

$$, \quad (2.53)$$

$$. \quad (2.54)$$

Якщо масштаби виміру перемінних значні, то коефіцієнти системи нормальних рівнянь типу $\sum_{j=1}^k x_j^2 = 1$ мають велику розрядність, унаслідок чого можливі значні погрішності округлення. Уникнути цього можна попереднім приведенням перемінних до єдиного масштабу виміру, тобто стандартизацією виду [3]

$$, \quad (2.55)$$

$$, \quad (2.56)$$

$$, \quad (2.57)$$

$$, \quad (2.58)$$

при умовах

Вибіркові парні коефіцієнти кореляції відповідно між перемінними x_j - x_q та x_j - y визначаються з виражень [3]

$$; \quad (2.59)$$

$$. \quad (2.60)$$

Після цих перетворень система нормальних рівнянь для стандартизованої форми перемінних буде мати вигляд [3]

(2.61)

При цьому $\hat{\beta}_j$. При формуванні системи нормальних рівнянь у даному
виді значення $\hat{\beta}_j$ доцільно постійно аналізувати, тому що вони несуть досить корисну
інформацію з взаємного корелювання перемінних.

Оцінки стандартизованих регресійних коефіцієнтів $\hat{\beta}_j^*$ визначаються співвідношенням
[3]

$$\hat{\beta}_j^* = \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{1 - R_j^2}}, \quad (2.62)$$

де R_j^2 - елемент матриці, зворотній матриці кореляційних коефіцієнтів R у (4.44).
Математичний опис у стандартизованих перемінних не має вільного члена [1]

$$\hat{\beta}_j^* = \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{1 - R_j^2}}, \quad (2.63)$$

і зручно для оцінки порівняльного впливу окремих перемінних x_1, \dots, x_k на вихідну
перемінну y , тому що всі перемінні масштабовані.

Оцінка дисперсії для $\hat{\beta}_j^*$ має вигляд [1]

$$D(\hat{\beta}_j^*) = \frac{D(\hat{\beta}_j)}{1 - R_j^2}, \quad (2.64)$$

де

$$D(\hat{\beta}_j) = \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}. \quad (2.65)$$

Відповідно до (2.64) та (2.65) повинні бути скоректовані співвідношення (2.44 - 2.45).

Зворотне перерахування коефіцієнтів $\hat{\beta}_j^*$ до натурального масштабу виміру
перемінних здійснюється по формулах [3]

$$\hat{\beta}_j = \hat{\beta}_j^* \sqrt{1 - R_j^2}, \quad (2.66)$$

$$D(\hat{\beta}_j) = D(\hat{\beta}_j^*) (1 - R_j^2). \quad (2.67)$$

Між залишковою дисперсією σ^2 і вибірковою дисперсією S^2 існує залежність [3]

(2.68)

де R - вибірковий коефіцієнт множинної кореляції, що характеризує тісноту зв'язку між перемінною y та регресорами x_1, \dots, x_k ...

При бракуванні тієї або іншої складової (2.24 – 2.27) узагальненої нуль гіпотези (2.28) необхідно оцінити значущість виявленого порушення в змісті доцільності корекції математичного опису у виді МНК-моделі (2.50). Корекція математичного опису технологічного процесу з контролем у виді МНК-моделі виконується на підставі аналізу параметрів та їхніх граничних значень. Для рішення питання про доцільність корекції (2.50) обчислюється й аналізується величина [1]

(2.69)

де Sp – слід матриці;

- вектор МНК-оцінок;

- вектор скоректованих МНК-оцінок;

- ковариаційна матриця МНК-оцінок ;

- матриця середньоквадратичних відхилень скоректованих

оцінок .

При порушенні хоча б в одній зі складових (2.24 - 2.27) справедливо

(2.70)

та отже, значення $K > 1$. За змістом величина K характеризує середнє зменшення відносної ефективності оцінок у порівнянні з оцінками . Так, наприклад, при $K=1,2$ у середньому відносна ефективність оцінок на 20% менше ефективності оцінок .

Для рішення питання про доцільність корекції необхідно априорі додатково задатися граничними значеннями контрольованих параметрів, виконати розрахунок і визначити K_0 . Після цього обчислити значення K для конкретної МНК-моделі типу (2.50) і зіставити значення K та K_0 [1].

При проведенні зіставлення можливо два варіанти:

- при $K \leq K_0$ зменшення ефективності МНК-оцінок за рахунок виявлених порушень у складових (2.24 - 2.27) не перевершує припустимого рівня і, отже, корекція МНК-моделі недоцільна;

- при $K > K_0$ втрати ефективності для перевершують припустимі і необхідне проведення корекції МНК-моделі (2.50).

Відповідно до даної методики можливо проведення розрахунків технологічних процесів технічного обслуговування або ремонту з діагностуванням (контролем) вузлів пасажирських вагонів, що відпрацювали свій ресурс:

- рам і надресорних балок пасажирських візків;
- рам і кузовів пасажирських вагонів.

В умовах нормального протікання технологічного процесу реєструвалися основні значення контрольованих параметрів, що враховувалися як фактори, що впливають на технічний стан пасажирського вагона або вузла. До них були додані фактори, що враховують час на проведення окремих контрольних операцій, стаж роботи обслуговуючого персоналу і розряд роботи, а також дані наробітки пасажирського вагона або його контрольованого вузла від останнього технічного обслуговування або ремонту.

Висновки: 1. Запропонована модель визначення характеристик елементів пасажирського вагона в залежності від строку відпрацьованого ресурсу, у якій за основу для розрахункових досліджень прийнятий метод кінцевих елементів;

2. Розрахункова модель з 22112-ю кінцевих вузлів та 33485-ю кінцевих елементів з достатньою точністю апроксимує пасажирський вагон і дозволяє вести розрахунок для будь якого виду та сполучення експлуатаційних навантажень;

3. Розроблена модель системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів з врахуванням відпрацьованого ресурсу у вигляді емпіричного рівняння множинної регресії придатної для статичних та динамічних систем пасажирських вагонів, з дискретним або безперервним режимом роботи, одномірною або багатомірною вихідною характеристикою;

4. Модель може бути використана для прогнозування технічного стану пасажирських вагонів в процесі експлуатації.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА

3.1 Методика визначення технічного стану металоконструкцій кузовів пасажирських вагонів

Обстеження технічного стану пасажирських вагонів є складовою частиною роботи з визначення їх залишкового ресурсу і розробки технічних рішень щодо продовження терміну експлуатації пасажирських купейних і плацкартних вагонів, які відпрацювали свій нормативний термін служби (28 років).

Обстеженню підлягали пасажирські купейні вагони фірми “VEB Wagonbau Ammendorf Gmb” типу 47К і 47Д, а також пасажирські плацкартні вагони виробництва Тверського вагонобудівного заводу, побудовані 28 і більш років тому.

Для забезпечення необхідного доступу до зазначених елементів пасажирського вагона перед проведенням обстеження здійснювалася підйомка кузова, викочування візків із наступним їхнім частковим розбиранням, очищенням від бруду і мийкою. Під час обстеження технічного стану пасажирських вагонів тріщини, злами, обриви, ум'ятини, зноси, деформації, корозійні пошкодження, зміни геометрії елементів кузова і рами пасажирського вагона, надресорного бруса і рами візка визначалися шляхом візуального огляду з наступними вимірами товщин у встановлених згаданю програмою зонах. Вимір товщин проводився ультразвуковим методом із використанням товщиномірів типів УТ-93П і “Булат-1S”. Наявність несправностей або слідів ремонту, фактичні товщини основних несучих елементів кожного пасажирського вагона реєструвалися в картах технічного стану. Перетини для виміру товщин вибиралися, виходячи з припущення, що товщини в такому перетині є мінімальними для даного елемента пасажирського вагона, як правило, у результаті корозійного пошкодження. Номінальні значення товщин елементів визначені по робочих кресленнях заводів-виготовлювачів.

Методика контрольних випробувань розроблялась у відповідності з “Нормами для розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів”, ОСТ “24.050.37-90 “Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества”. Типовой методики “Ресурсные испытания в режиме многократных соударений”, ВНИИВ-ДИИТ, 1990 . «Типовой методики испытаний на усталость узлов и деталей грузовых и пассажирских вагонов», ВНИИЖТ, 1994. Згадані документи використовуються також і при визначенні строку служби пасажирських вагонів нової побудови.

На основі аналізу результатів обстежень технічного стану партії пасажирських вагонів та проведення контрольних випробувань їх розроблено технічне рішення щодо можливості подальшої експлуатації обстежених пасажирських вагонів та рекомендацій, якому із видів ремонту підлягають ці пасажирські вагони, та в якому об'ємі. При цьому, також використовуються положення керівництв по деповському, капітальному ремонту, ТУ і керівництв на проведення КВР, інструкцій по експлуатації пасажирських вагонів та ін. документи.

Розроблена методика діагностування передбачає візуальний і фізичний контроль металоконструкції кузовів.

Візуальний контроль. Візуальний контроль передбачає виявлення:

- неприпустимих прогинів хребтової і бічної балок рами кузова в вертикальній площині 200 мм і більше, в горизонтальній площині 100 мм і більше;
- пропелерності кузова і рами 200 мм і більше;
- тріщин по зварці та основному металу елементів пасажирського вагона;
- площі ураження обшивки стін, підлоги та даху кузова наскрізною корозією 50% і більше від загальної його поверхні.

Засобами вимірювання є:

- капронова нитка діаметром 2мм;
- рулетка вимірювальна металева за ГОСТ 75020-80;
- лінійка вимірювальна металева за ГОСТ 427-75;
- штангенциркуль за ГОСТ 166-80.

Виконання замірів робиться триразове з фіксацією в реєструючий документ середнього значення вимірюваної величини (довжини тріщин, площі ураження обшивки наскрізною корозією і т.д.).

Фізичний контроль. Призначенням фізичного контролю є визначення за допомогою ультразвукового товщиноміра ступеня корозійних ушкоджень елементів рами і кузова пасажирського вагона шляхом установлення залишкової товщини стінок і полиць профілів і листів обшивки.

Граничні значення корозійного зносу елементів рами і кузова пасажирського вагона - 30% від номінальної їхньої товщини, установленної конструктивною документацією заводу - виготовлювача. Вимір залишкової товщини елементів кузова виконується після повного його розкриття і зачищення місць під контрольні точки, як із зовнішньої так і з внутрішньої його сторони (на поперечних балках настилу підлоги, стійках і обв'язках бокових стін і дугах даху).

Обґрунтування зон, перерізів і контрольних точок обстеження [1]. Оскільки втрата несучої здатності кузова пов'язана в основному з корозійним зносом і зміною первісних (номінальних) геометричних характеристик перерізів елементів і обшивки кузова, то однією з основних задач методики вибіркового обстеження є обґрунтування зон і перерізів обстеження.

Місця розташування зон і перерізів обстеження визначалися двома факторами:

- 1) існуючою інформацією про ступінь ушкодження металу корозією, тобто інформацією, яка дозволяє виявити зони і ділянки ідентичних корозійних ушкоджень;
- 2) якістю одержання даних для обґрунтування можливості поширення вибіркової інформації на весь кузов і прийняття правильного рішення про спосіб відновлення ушкодженої ділянки.

Відповідно до перерахованих вище факторів кузов по довжині розбитий на три зони (рисунок 3.1):

- перша зона (I) - від торцевої стіни кузова з боку провідників до 1-го відділення (купе) пасажирів на довжині 4713 мм;
- друга зона (II) - у межах 5-го відділення (купе) по середині кузова на довжині 1885 мм;
- третя зона (III) - від торцевої стіни негальмового кінця пасажирського вагона і до 8-го відділення (купе) на довжині 4361 мм.

Таким чином, зони I і III обрані для контролю внаслідок їх більш високої пошкоджуваності в порівнянні з іншими ділянками кузова, а II зона - як мінімальна вибірка, по якій можна судити про технічний стан усієї частини кузова, що залишився.

Аналогічно виконувалася розбивка на перерізи (рисунок 3.1). Так бічні і торцеві стіни розбиті на п'ять перерізів по висоті. П'ятий переріз знаходиться в бічній ув'язці рами в зоні найбільших корозійних ушкоджень. Четвертий переріз проходить ближче до віконних прорізів, де корозійні ушкодження зменшуються. Третій переріз проходить по середині міжвіконного пояса. Перший і другий - знизу і зверху надвіконного пояса.

Настил підлоги розбитий на три перерізи. Перший і третій перерізи знаходяться в бічних балках у зоні найбільших корозійних ушкоджень. Другий - проходить по середині.

Дах розбитий на три перерізи. Перший і третій проходить по схилах, а другий по середині.

Рама пасажирського вагона містить 5 перерізів. Два повздовжніх, які проходять по серединах поперечних балок і 3 поперечних, що проходять через хребтову балку в зоні установки автозчепи, перед шкворневою балкою і по середині.

Контрольні точки (рисунок 3.1) по кожній із зон по перерізам елементів кузова (рама, настилу підлоги стін і даху) нанесені так, що дозволяють зафіксувати загальний фізичний стан кузова і по обмеженій вибірці замірів розповсюдити інформацію на всю генеральну сукупність, тобто на весь кузов. Місця розташування контрольних точок були обрані виходячи з досвіду оцінки корозійних пошкоджень кузовів, накопичених за попередні роки в Україні, Республіці Білорусь і Російської Федерації. Вони найбільш повно дозволяють відобразити технічний стан кузовів через 20 років експлуатації пасажирських вагонів. [1, 48]

Розробка діагностичних карт. Результати замірів залишкової товщини елементів кузова в контрольних точках, а також інформація про наскрізні корозійні ушкодження і стан елементів заноситься в діагностичні карти, що розроблені на усі великі складальні одиниці кузова. На рисунку Д.1 – Д.6 показані діагностичні карти рами, настилу підлоги, бічних і торцевих стін, а також даху.

Обробка результатів обстеження. Первинна інформація, занесена в діагностичні карти по кожному з обстежуваних пасажирських вагонів, переноситься в зведені відомості у виді банку даних в ЕОМ.

У таблиці 3.1 наведені номінальні і граничні товщини елементів кузова і рами, що є вихідною інформацією для визначення вихідних геометричних характеристик розрахункових перерізів.

У таблиці 3.2 наведені площі ураження обшивки підлоги, бокових стін, торцевих стін і даху пасажирського вагона наскрізною корозією. Крім того, у ній вказується число поперечних балок підлоги і число віконних стійок бокових стін, корозія в яких досягла граничного значення. Дана інформація про уражені ділянки ув'язана зі схемою розбивки кузова на кінцеві елементи розрахункової схеми для виконання міцнісних розрахунків.

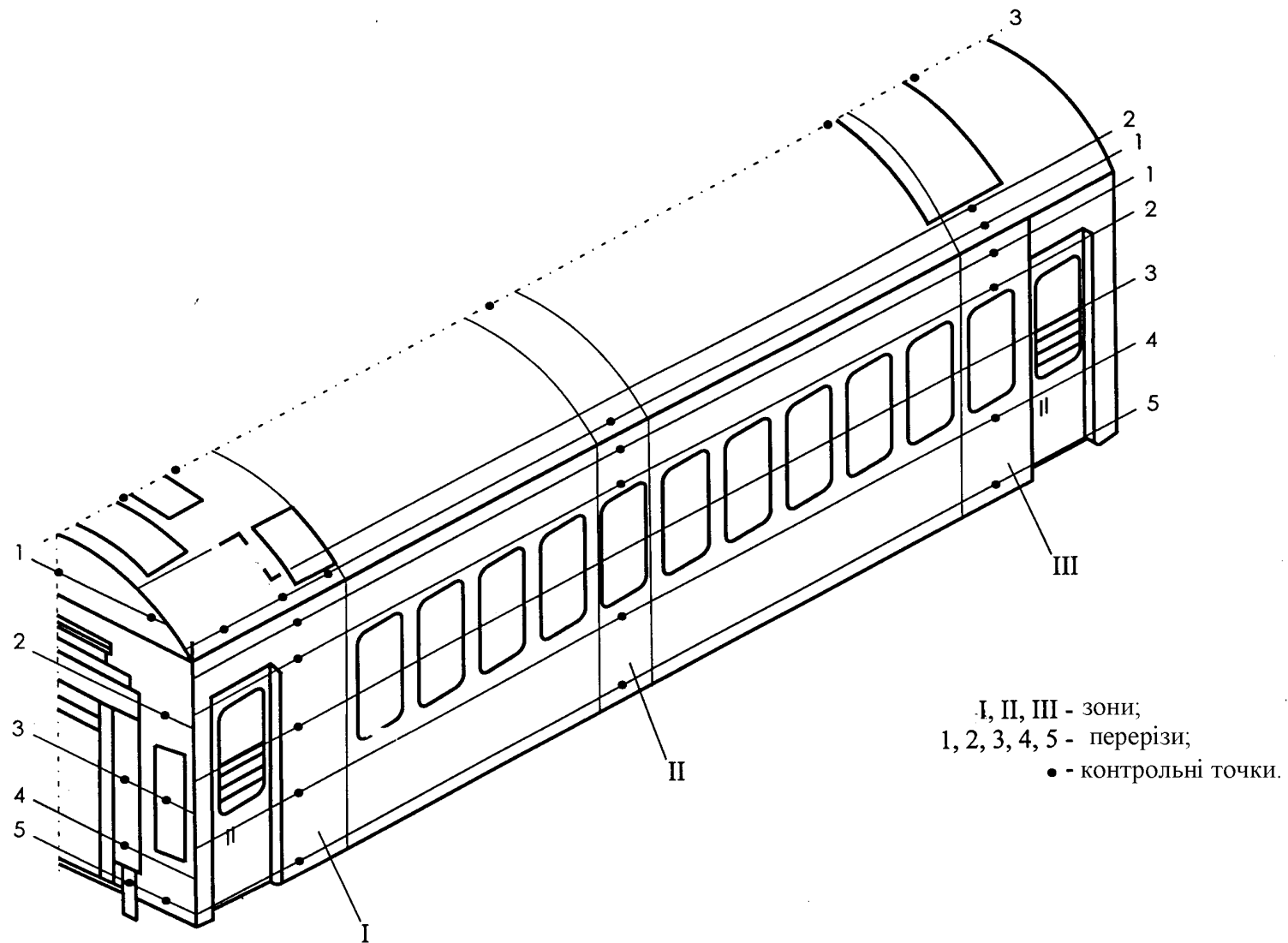


Рисунок 3.1 - Схема розташування зон, перерізів та контрольних точок обстеження на кузові пасажирського вагону

Таблиця 3.1 – Граничні остаточні товщини елементів кузова пасажирського вагона, недопустимі в експлуатації, і їх номінальні значення

Найменування елемента	Товщини елементів кузовів вагонів по заводам виготовлювачам, мм					
	ТВСЗ		Німеччини		Польщі	
	Гран.	Ном.	Гран.	Ном.	Гран.	Ном.
1	2	3	4	5	6	7
Рама з настилом підлоги						
Хребтова балка в консольній частині:						
- вертикальні стінки	7.0	9,5	7.0	10	7.0	9.5
- горизонтальні полиці	9.5	13.5	7.0	10	9.5	13.5
Хребтова балка в середній частині:						
- вертикальні стінки	4.5	6.5	-	-	4.5	6.5
- горизонтальні полиці	7.7	11	-	-	7.7	11
Шкворнева балка:						
- вертикальні стінки	5.6	8.0	10	14	5.6	8.0
- горизонтальні листи	7.0	10	10	14	7.0	10
Кінцева балка:						
- вертикальна стінка	4.5	6.5	7.0	10	4.5	6.5
- горизонтальні полиці	7.7	11	7.0	10	7.7	11
Основна несуча поперечна балка						
- вертикальна стінка	4.0	6.0	3.5	4.9*	4.0	6.0
- горизонтальна полиця	4.0	6.0	5.7	8,1*	4.0	6.0
Поперечна балка, що підтримує підлогу:						
- вертикальна стінка	2.0	3.0	2.8	4**	2.0	3.0
- горизонтальна полиця	2.2	3.0	3.0	4**	2.2	3.0
Бічна балка:						
- вертикальна стінка	4.5	6.5	10	14	4.5	6.5
- горизонтальна балка	4.5	6.5	10	14	4.5	6.5
Настил підлоги:						
- у консольній частині (гладкі листи)	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
- у середній частині (гофровані листи)	1.4	2.0	1.4	2.0	1.75	2.5***
Каркас кузова й обшивка						
Бокова стіна						
Стійка дверна бокової стіни :						
- стінка	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
- полиці	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
Стійка віконна бокової стіни :						
- стінка	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
- полиці	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Верхня обв'язка бокової стіни :						

- горизонтальна стінка	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
- вертикальні полиці	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
Декоративний гофр	1.75	2.5	1.75	2.5	1.75	2.5
Стрингер надвіконний	-	-	2.0	3.0	-	-
Балка підвіконна	-	-	2.0	3.0	-	-
Обшивка бокової стіни :						
- нижнього (підвіконного) пояса	1.75	2.5	1.75	2.5	1.75	2.5
- простінка	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0
- верхнього (надвіконного) пояса	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0
Стійка кутова торцевої стіни:						
- стінка	1.4	2.0	1.75	2.5	1.4	2.0
- полиці	1.4	2.0	1.75	2.5	1.4	2.0
Стійка господар. ящика торцевої стіни:						
- стінка	1.4	2.0	-	-	1.4	2.0
- полиці	1.4	2.0	-	-	1.4	2.0
Стійка протиударна:						
- стінка	4	5.8	3.9	5.6	4	5.8
- полиці	6	8.5	6.6	9.5	6	8.5
Поперечна наддверна балка:						
- горизонтальна стінка	4.5	6.5	2.0	3	4.5	6.5
- вертикальні полиці	7.7	11	2.0	3	7.7	11
Рама суфле перехідної площадки:						
- стінка	1.4	2.0	1.4	2.0	1.4	2.0
- полиці	1.4	2.0	1.4	2.0	1.4	2.0
Підкріплюючі елементи обшивки торцевої стіни:						
- стінка	1.4	2.0	2.0	3.0	1.4	2.0
- полиці	1.4	2.0	2.0	3.0	1.4	2.0
Обшивка торцевої стіни:						
- нижніх листів	1	1.5	1.4	2.0	1.4	2.0
- господарчих ящиків	1.4	2.0	-	-	1.4	2.0
- середніх листів	1	1.5	1.4	2.0	1.4	2.0
- верхніх листів	1	1.5	1.4	2.0	1.4	2.0
Дах						
Дуга даху:						
- вертикальна стінка	2.0	3.0	1.5	2.0	2.0	3.0
- горизонтальна полиця (і)	2.0	3.0	1.5	2.0	2.0	3.0

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Обв'язка даху бічна:						
- стінка	2.0	3.0	2.8	4.0	2.0	3.0
- полиця	2.0	3.0	2.3	4.0	2.0	3.0
Каркас люків і кришок:						
- стінка	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
- полиця	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0

Стрингери	-	-	2.0	3.0	-	-
Обшивка	1.4	2.0	1.4	2.0	1.4	2.0

Примітки: 1 - * - прокатний швелер № 14;

2- ** - гнуті профілі;

3- *** -гладкі листи

Таблиця 3.2 - Зведена відомість корозійних пошкоджень кузовів пасажирських вагонів побудови ТВСЗ (із прикладом заповнення)

№ вагона	Термін служби, роки	Площа пошкодження наскрізною корозією елементів кузова , м								
		Підлог	Бокової стіни		Сумарна	Торцевої стіни		Сумарна	Даха	Усього кузова
			служ. сторона	котл. сторона		роб.	нероб.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27964	17	0	0.99	0.68	1.67	3.66	1.45	5.11	0	6.78
30133	35	36.4\70	10.32	12.92\25	23.24\25	3.66	1.80	5.46	0	65.10\95
....
25328	22	1.79	9.69	11.14	20.83	2.23	2.87	2.87	0	27.72
Примітка: У чисельнику показана площа ураження обшивки наскрізною корозією, а в знаменнику - число поперечних балок підлоги і стійок,	Матеріал	Допустимі напруження, МПа								

<p>корозія яких досягл а гранич ного стану.</p>		
<p>3 .2 Метод ика визнач ення сумарн их напруг від статич ного навант аження</p>		
<p>С умарні напруг и визнач ались вертик альним</p>		
<p>статич ним навант аження м шляхо м навант аження</p>		
<p>купейн ого пасажи рськог о вагона за № 032- 12503, типу 47 Д,</p>		

призначеного для перевезення пасажирів на залізничних коліях 1520 мм, до його максимальної пасажиромістимості.[101, 102] Пасажирський вагон завантажувався чавунними гальмівними колодками, загальною масою 4,576 т. Величина випробувального навантаження Рв визначалась з виразу:		
--	--	--

Рв=КФ*РР

<p>3.1) (д) е Кф-коefficient форсування навантаження (Кф) Рр - відповідне розрахункове навантаження. Розрахунки таблиць сумарних напружень за результатами випробувань виконувались з застосуванням ЕОМ. Оцінка міцності елементів конструкції пасажирського вагона,</p>		
---	--	--

за результ атами статич них випроб увань, провод илась шляхо м порівн яння сумарн их напруг від найбіл ьш невигід но возмо вого збігу одноча сно діючих нормат ивних навант ажень по I-му та III- му режим ах з допуст имими напруг ами Д опусти мі напруг и для елемен тів констр укції кузова пасажи рськог		
--	--	--

о вагона приведені в таблиці 3.3.		
Таблиця 3.3 - Допустимі напруги для матеріалів основних несучих елементів пасажирського вагона при статичних випробуваннях		
Назва елемента		

I режим	III режим	
Хребтова балка; шкворнева балка		190
Розкіс; нижня обв'язка; балка кінцева; поперечна балка		200
Стійка торцева; стійка кутова		165



Аналіз таблиці показав, що найбільші напруги, які виникають від дії цих навантажень в основних несучих конструкцій пасажирського вагона наступні:

- в хребтовій балці мінус 191,6 МПа; шкворневій балці 107,3 МПа; розкіс мінус 183,9 МПа; нижня обв'язка мінус 188,6 МПа; балка кінцева 125,5 МПа; поперечна балка 1 - 135,4 МПа; поперечна балка 2 - мінус 179,0 МПа; стійка торцева мінус 76,1 МПа; стійка кутова мінус 121,7 МПа. Аналіз результатів показав, що рівень напруг від дії статичних навантажень в основному нижче допустимого рівня напруг в елементах пасажирського вагона як для першого так і для третього режимів.

Випробування на співудар проводились з метою перевірки міцності несучих конструкцій та визначення величини залишкового ресурсу купейного пасажирського вагона за № 032-12503, типу 47 Д, призначеного для перевезення пасажирів на залізничних коліях 1520 мм, відповідно до нормативних документів та програми і методики технічного діагностування. Величина еквівалентного випробувального зусилля на співудар FEKB приведена до розрахункової бази випробувань, визначалась за формулою

$$FEKB \quad ; \quad (3.2)$$

де $EMBED Equation.3$ - загальна кількість циклів дій імпульсів поздовжніх ударних сил протягом розрахункового періоду експлуатації;

N_b - розрахункова база випробувань, приймається $N_b = 6000$ співударів;

t - показник степеня у рівнянні кривій втомленості,

F_i, p_i - величини динамічних поздовжніх сил у середині кожного інтервалу та їх частини.

Загальна кількість циклів дій поздовжніх сил на протязі всього розрахункового періоду його експлуатації визначалась з урахуванням загальносіткового коефіцієнту пробігу за формулою:

$$EMBED Equation.3 \quad , \quad (3.3)$$

де: - загальна кількість циклів діючих сил на протязі одного року експлуатації, приймається рівною 18200 циклів;

- розрахунковий період експлуатації пасажирського вагона;

- коефіцієнт, враховуючий дію порожнього пробігу. При встановленій циклічній довговічності приймається рівним 1 ;

- коефіцієнт, враховуючий несиметричність навантаження та рівномірність прикладання ударних сил до автозчіпок з обох кінців пасажирського вагона. При оцінці циклічній довговічності $k_{уд} = 0,6$.

Загальна кількість циклів навантаження пасажирського вагона за один рік складає:

$$=18200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6=10920 \text{ циклів.}$$

При FEKB базове число циклів з розрахунку на 1 рік складає:

циклів

Опрацювання результатів випробувань проводилися з використанням ПЕОМ АМД-К6 . [92] Пасажирський вагон завантажувався гальмівними колодками, загальною масою 4,576 т. Підпор складався з п'ятих навантажених напіввагонів загальною масою 450 т. В якості вагона-бойка служив напіввагон масою 59 т. Дослідний пасажирський вагон випробовувався у підпертому стані на території станції Дарниця в світлий період доби при температурі 15-20°C.

В процесі ресурсних випробувань пасажирський вагона № 032-12503 було зроблено 700 ударів силою від 0,8 до 1,5 МН. В таблиці 3.4 наведені дані розподілу ударних поздовжніх сил для перевірки циклічної довговічності несучих конструкцій пасажирського вагона.

Таблиця 3.4 - Розподіл ударних поздовжніх сил для перевірки циклічної довговічності несучих конструкцій пасажирського вагона

Інтервал сил F_i , МН;	0,4-0,8	0,8-1,0	1,0-1,5
Частість p_i , МПа;	0,2	0,714	0,086

Підставляючи отримані дані в рівняння для визначення базового числа циклів одержуємо:

$$N_{64} = (0,84 \cdot 0,2 + 1,04 \cdot 0,714 + 1,54 \cdot 0,086) = 842 \text{ цикла силою } 1,0 \text{ МН.}$$

При базових річних циклах 139, кількість ударів 842 відповідає 6,05 рокам роботи в умовах експлуатації пасажирського вагона. Термін продовження служби пасажирського вагона в експлуатації, згідно з вимогами програми та методики, визначається із умови збільшення в 1,2 рази кількості циклів співударяння під час випробувань порівняно з фактичною роботою в умовах експлуатації. Таким чином, максимально-нормативний термін служби пасажирського вагона (залишковий ресурс) в експлуатації по результатам випробувань складає $6,05 / 1,2 = 5$ років.

Аналіз даних показав, що найбільші сумарні напруги які виникають від дії ударних навантажень нижче допустимого рівня напруг і мають наступні величини:

- хребтова балка мінус 187,4 МПа; шкворнева балка 99,1 МПа, розкіс мінус 159,2 МПа; нижня об'язка мінус 165,5; стійка торцева 67,7.

Допустимі напруги для елементів конструкції кузова пасажирського вагона приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Допустимі напруги для матеріалів основних несучих елементів пасажирського вагона в режимі співударяння

Назва елемента	Матеріал	Допустимі напруги, МПа
		Режим співударяння
Хребтова балка; шкворнева балка	09Г2Д	310
Розкіс; нижня обв'язка; балка кінцева; поперечна балка;	09Г2Д	310
Стійка торцева; стійка кутова	ВстЗсп5	250

Виявлені в процесі технічного огляду несправності пасажирського вагона № 032-12503 подальшого розвитку при ресурсних випробуваннях не одержали. Під час кінцевого огляду, після закінчення випробувань не виявлено додаткових несправностей, які впливають на міцність конструкції кузова.

Таким чином, на підставі аналізу результатів випробувань купейного та плацкартного пасажирських вагонів можна зробити наступні висновки:

- основні елементи конструкції пасажирського вагона за своїми міцнісними якостями відповідають вимогам "Норм..." і РД 24.050.37-95;

- під час проведення ресурсних випробувань купейного та плацкартного пасажирських вагонів 1970 року виготовлення (із розрахунку його 5-ти річної максимально-нормативної експлуатації) несправності, виявлені під час огляду, подальшого розвитку не одержали;

- додаткових несправностей не виявлено.

Купейні та плацкартні пасажирські вагони (1970 року виготовлення), які знаходяться в експлуатації 30 років, мають залишковий ресурс не менше 5 років експлуатації.

3.3 Результати обстеження технічного стану металоконструкцій рам і кузовів пасажирських вагонів

Результати обстеження технічного стану металоконструкцій рам і кузовів купейних вагонів, проведені Українською державною академією залізничного транспорту сумісно з Українським науково-дослідним інститутом вагонобудування на Південній, Південно-Західній та інших залізницях, наведені в картах обстеження технічного стану, а також у таблицях результатів вимірювання товщин елементів. У результаті обстеження встановлено, що металоконструкції рам і кузовів мають пошкодження як механічного, так і корозійного характеру.

Основні види зазначених пошкоджень наведені у таблицях 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.6 - Механічні пошкодження металоконструкцій рам і кузовів купейних вагонів, що виявлені в процесі обстеження

Найменування пошкоджень	Кількість вагонів з пошкодженнями
Ум'ятини в нижній частині кутових стійок глибиною до 30 мм	2
Деформації поперечних балок до 50 мм	7
Деформація горизонтальної полки нижньої обв'язки (у зоні I купе) до 20 мм на довжині 800 мм	1

Таблиця 3.7 - Наскрізнi корозійні пошкодження металоконструкцій рам і кузовів, що виявлені в процесі обстеження купейних вагонів

Найменування пошкоджень	Кількість вагонів з пошкодженнями
Наскрізна корозія настилу підлоги тамбурів розмірами до (50 x 200) мм	3
Наскрізна корозія настилу підлоги туалетів розмірами до (200 x 250) мм	3
Наскрізна корозія настилу підлоги котлового відділення розмірами до (500 x 600) мм	3

Продовження таблиці 3.7

Найменування пошкоджень	Кількість вагонів з пошкодженнями
Наскрізна корозія настилу підлоги службового відділення розмірами до (10 x 60) мм	2
Наскрізна корозія настилу підлоги купе провідників розмірами до (250 x 300) мм	17
Наскрізна корозія настилу підлоги бокового коридору навпроти купе провідників розмірами до (150 x 500) мм	8
Наскрізна корозія настилу підлоги бокового коридору навпроти VIII і IX купе розмірами до (100 x 100) мм	5
Ремонтні накладки на поверхні настилу підлоги в зоні туалетів, котлового та службового відділень, малого коридору (наслідок наскрізної корозії)	10
Наскрізна корозія підвіконного поясу бокової стіни (у зоні туалету) розмірами до (25 x 160) мм	9
Наскрізна корозія нижньої частини обшивки бокової стіни розмірами до (30 x 200) мм	7
Ремонтні накладки в нижній частині обшивки	12
Наскрізна корозія нижньої частини кутових стійок розмірами до (50 x 100) мм	28
Ремонтні накладки в нижній частині кутових стійок (наслідок корозії)	2
Наскрізна корозія в нижній частині обшивки торцевої стіни розмірами до (20 x 60) мм	1
Наскрізна корозія обшивки даху в зоні люків і труби котла розмірами до (50 x 150) мм	6
Ремонтні накладки на обшивці даху в зоні люків, труби котла і над V купе (наслідок корозії)	6

Як випливає з таблиці 3.6, пошкодження механічного характеру, виявлені в результаті обстеження технічного стану пасажирських вагонів, незначні і не носять масового характеру. Елементи кріплення гальмівного обладнання не мали пошкоджень взагалі.

Пошкодження металоконструкцій рам і кузовів купейних вагонів, що зустрічаються найбільш часто (див. таблицю 3.7), є наскрізні корозійні пошкодження окремих елементів обшивки бокових стін, кутових стійок, металевого настилу підлоги. Найбільшу кількість таких пошкоджень виявлено в нижній частині кутових стійок (у 33 % обстежених пасажирських вагонів), у нижній частині обшивки бокових стін (22,6 %), на підвіконному поясі обшивки бокових стін в зоні туалетів (10,7 %). У цих зонах виявлена наскрізна корозія на окремих ділянках розмірами (50 x 100) мм, (30 x 200) мм, (25 x 160) мм. На пасажирському вагоні № 032-12321 наскрізна корозія виявлена по всьому периметру віконних прорізів обшивки бокових стін, а на пасажирському вагоні № 032-14335 наскрізна корозія поширилася на 2/3 довжини нижньої частини обшивки бокової стіни з боку купе в зоні її з'єднання з нижньою обв'язкою.

Значну кількість наскрізних корозійних пошкоджень виявлено на поверхні металевого настилу підлоги, особливо в купе для відпочинку провідників (20 %), у боковому коридорі навпроти купе провідників (9,5 %) на ділянках розмірами (250 x 300) мм, (150 x 500) мм. На окремих пасажирських вагонах виявлена наскрізна корозія настилу підлоги у тамбурі, у боковому коридорі навпроти VIII і IX купе, а також в зоні котлового та службового відділень. На десяти пасажирських вагонах (12 %) ділянки з наскрізними корозійними пошкодженнями настилу підлоги в зоні туалетів, службового і котельного відділень, малого коридору відремонтовані накладками.

На шести пасажирських вагонах (7 %) наскрізні корозійні пошкодження розмірами до (50 x 150) мм виявлені на листах обшивки даху в зоні труби котла і люків для установки водяних баків, на шести вагонах у цих зонах наскрізні корозійні пошкодження відремонтовані накладками (рисунок 3.2).

Крім наскрізних корозійних пошкоджень, що виявлялися в процесі обстеження пасажирських вагонів візуально, елементи металоконструкцій рам і кузовів мали корозійні пошкодження різного ступеню що виявлялися шляхом вимірювання товщин ультразвуковим методом (із використанням товщиномірів УТ-93 П і "Булат 1S") і заносилися у таблиці вимірювання товщин. Результати вимірювання товщин окремих елементів металоконструкцій рам і кузовів пасажирських вагонів наведені у таблиці 3.8.

Як випливає з таблиці 3.8, найбільшу кількість і найвищу ступінь корозійних пошкоджень мають настил підлоги, обшивка бокових стін і нижня обв'язка.

Так, на 50 пасажирських вагонах (60 % від загальної кількості обстежених) максимальні значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, поверхні настилу підлоги в зоні туалетів, тамбурів, котельного і службового відділень, купе провідників, бокового коридору навпроти купе провідників, VIII і IX купе перевищували 20 %. На 21 пасажирському вагоні (25 %) корозійні пошкодження в тих же зонах на окремих ділянках розмірами до (360 x 1200) мм перевищували 30 %, а на чотирьох пасажирських вагонах із цього числа - 40 %.

Корозійні пошкодження обшивки бокових стін виявлені в основному в зоні нижньої її частини: у зоні туалетів, котельного відділення, купе провідників, на підвіконному поясі. На 12-ти пасажирських вагонах (14 %) корозійні пошкодження у зазначених зонах на окремих ділянках розмірами (100 x 200) мм, (160 x 600) мм, (270 x 900) мм, (250 x 1000) мм перевищили 30 %, а на 51 пасажирському вагоні (60 %) знаходилися в межах від 20 до 30%.

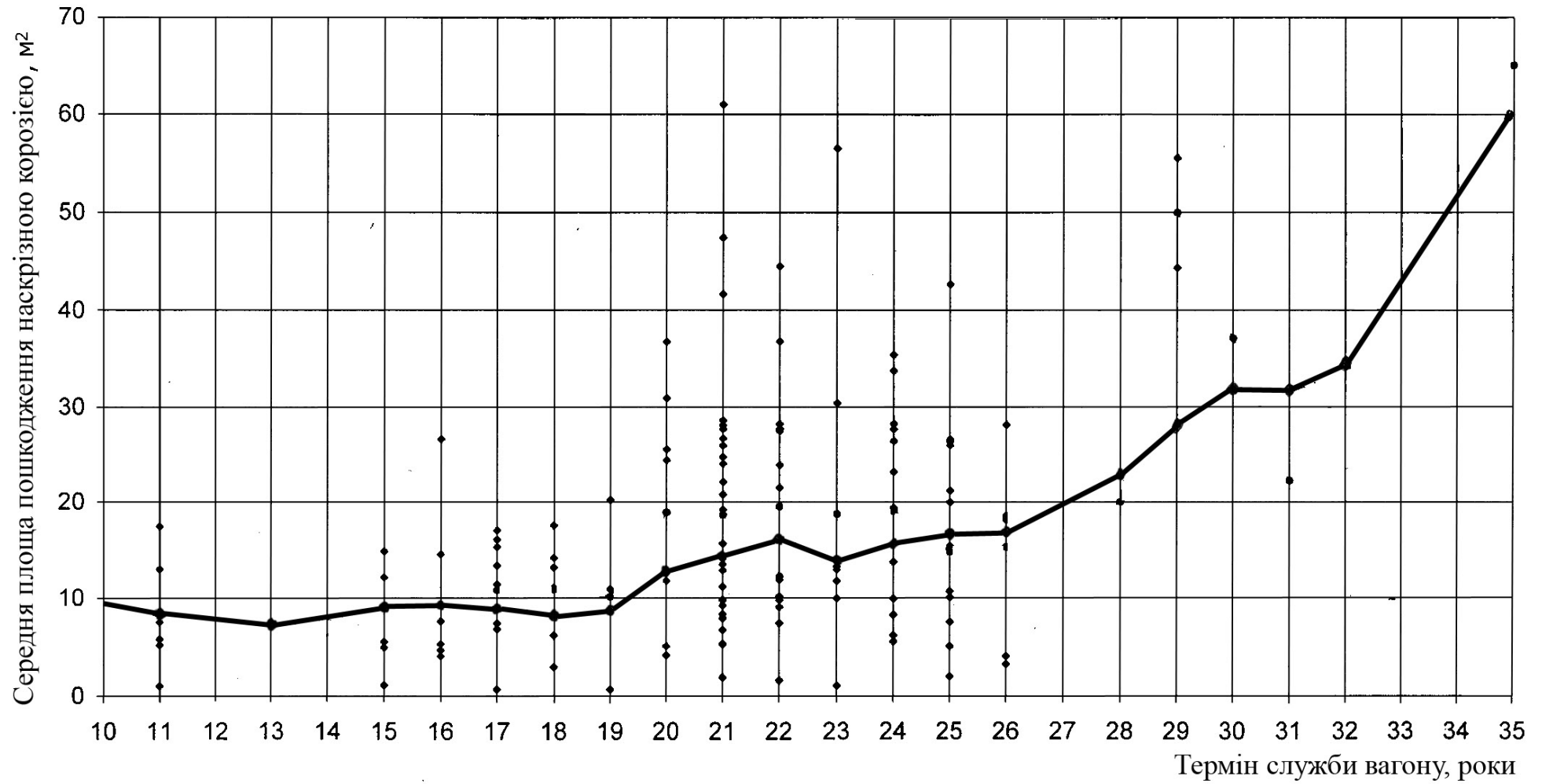


Рисунок 3.2 - Кореляційне поле площ корозійних пошкоджень наскрізь кузовів в залежності від строку служби вагона

Таблиця 3.8 - Результати вимірювання товщини окремих елементів металокопструкції рам і кузовів купейних вагонів

Елементи металокопструкції	Максимальні значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, %	Кількість вагонів з пошкодженнями
Балка хребтова (в зоні консольної частини рами)	від 10 до 14	5
	менше 10	79
Балки шкворневі	від 10 до 20	6
	менше 10	78
Балки лобові	від 21 до 29	7
	від 10 до 20	27
	менше 10	50
Балки кінцеві	від 10 до 15	19
	менше 10	65
Нижня обв'язка	більше 20	15
	від 10 до 20	40
Кутові стійки	до 30	4
	від 10 до 20	7
Настил підлоги	більше 30	21
	від 20 до 30	50
Обшивка бокових стін	більше 30	12
	від 20 до 30	51

Значні корозійні пошкодження нижньої обв'язки (більше 20% на окремих ділянках) виявлені в зоні туалетів на 15 пасажирських вагонах (18 %), у тому числі на трьох пасажирських вагонах - більше 30 % (рисунок 3.3).

Корозійні пошкодження інших елементів металокопструкції купейних вагонів не носили масового характеру. Так, максимальні значення корозійних пошкоджень хребтових балок (в зоні консольних частин рами) не перевищували 14 % на п'яти купейних вагонах і 10 % на 79 вагонах (94 %), шкворневих балок - 20 % на шести вагонах і 10 % на 78 вагонах. На семи пасажирських вагонах вертикальні листи лобових балок у зоні туалетів мали корозійні пошкодження по товщині до 29 %, а на чотирьох пасажирських вагонах виявлені корозійні пошкодження в нижній частині кутових стійок до 30 %.

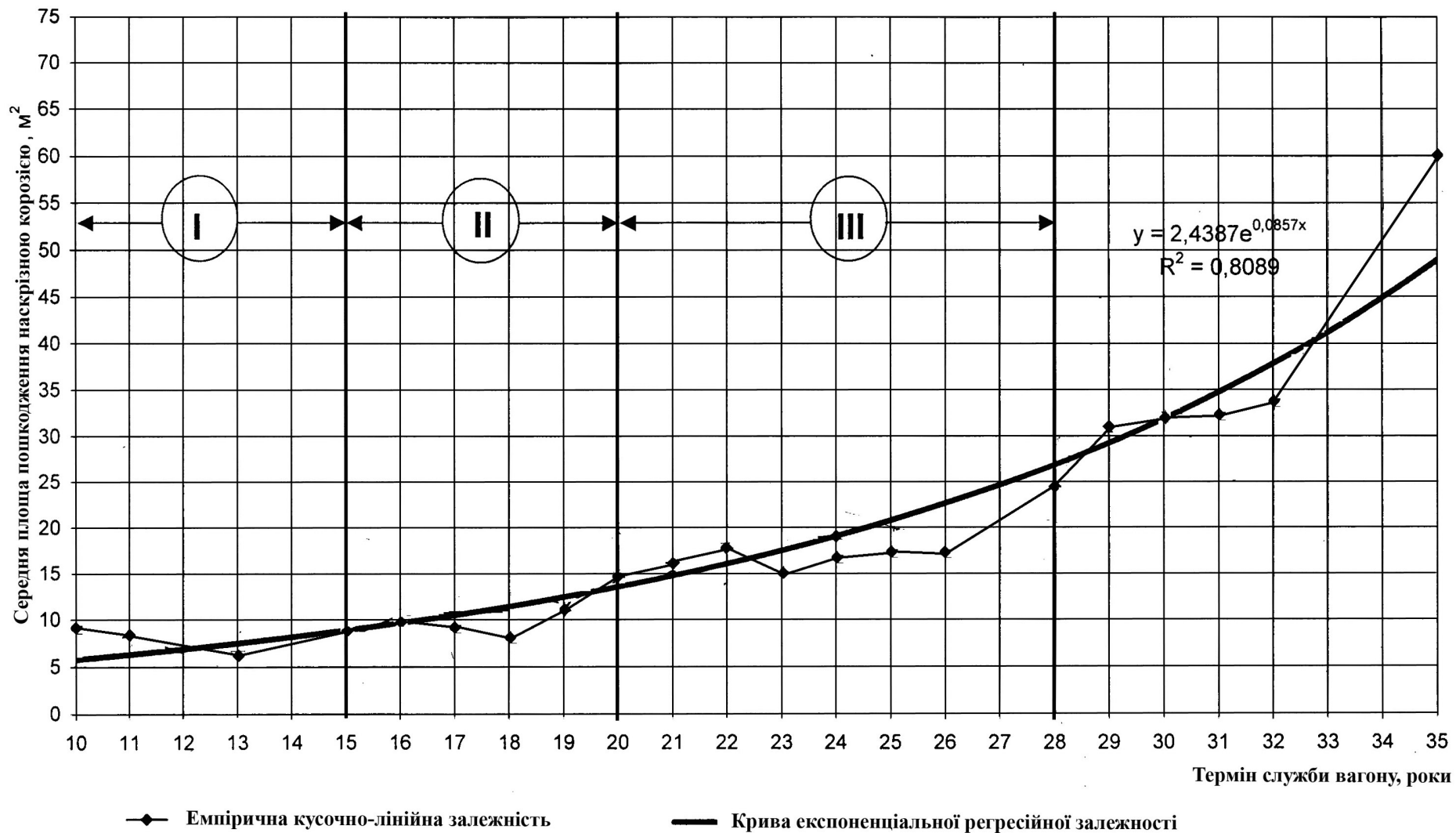
Одночасно, за результатами обстеження технічного стану пасажирських вагонів слід зазначити, що незважаючи на наявність пошкоджень механічного та корозійного характеру, у цілому металокопструкції рам і кузовів купейних вагонів, що виступили 28 років, знаходяться в задовільному стані і не мають пошкоджень, які б перешкождали продовженню терміну їх експлуатації. Виявлені в процесі обстеження пошкодження повинні бути усунуті в процесі проведення планових ремонтів. Результати обстеження технічного стану металокопструкцій рам і кузовів плацкартних вагонів наведені в картах обстеження технічного стану, а також у таблицях результатів вимірювання товщин елементів. У результаті обстеження встановлено, що металокопструкції рам і кузовів мають пошкодження як механічного, так і корозійного характеру.

Основні види зазначених пошкоджень наведені у таблицях 3.9 та 3.10.

Таблиця 3.9 - Механічні пошкодження металокопструкції рам і кузовів плацкартних вагонів

Найменування пошкоджень	Кількість вагонів з пошкодженнями
Ум'ятини на нижній обв'язці (в зоні спирання домкратів) глибиною до 150 мм	7
Деформація проміжної балки кріплення гальмівного циліндра до 30 мм	1

Як випливає з таблиці 3.9, пошкодження механічного характеру, які виявлені в результаті обстеження технічного стану пасажирських вагонів, незначні і не носять масового характеру.



I, II, III – періоди життєвого циклу вагону

Рисунок 3.3 - Залежність середньої площі пошкодження кузовів корозією наскрізь від строку служби вагону

Таблиця 3.10 - Наскрізнi корозійні пошкодження металокопструкцій рам i кузовів плацкартних вагонів

Найменування пошкодженнь	Кількість вагонів з пошкодженнями
Наскрізна корозія настилу підлоги тамбурів розмірами до (200 x 450) мм	6
Наскрізна корозія настилу підлоги туалетів розмірами до (1200 x 300) мм	5
Наскрізна корозія настилу підлоги котлового відділення розмірами до (100 x 100) мм	3
Наскрізна корозія настилу підлоги службового відділення розмірами до (800 x 600) мм Наскрізна корозія настилу підлоги купе провідників розмірами до (1200 x 2000) мм	46
Наскрізна корозія настилу підлоги бокового коридору навпроти купе провідників розмірами до (2100 x 1200) мм	8
Наскрізна корозія настилу підлоги VIII i IX купе розмірами до (2400 x 100) мм	7
Наскрізна корозія підвіконного поясу бокової стіни розмірами до (20 x 1000) мм	4
Наскрізна корозія нижньої частини обшивки бокової стіни розмірами до (20 x 1000) мм	12
Наскрізна корозія нижньої частини кутових стійок розмірами до (100 x 150) мм	2
Наскрізна корозія в нижній частині обшивки торцевої стіни розмірами до (30 x 100) мм	3
Наскрізна корозія обшивки даху в зоні люків i труби котла розмірами до (100 x 100) мм	10

Пошкодження металокопструкцій рам i кузовів плацкартних вагонів, що зустрічаються найбільш часто (див. таблицю 3.10), є наскрізнi корозійні пошкодження нижньої частини обшивки бокових стін, кутових стійок, обшивки даху, а також окремих елементів металевого настилу підлоги. Найбільшу кількість таких пошкоджень виявлено в нижній частині обшивки бокових стін (у 75 % обстежених плацкартних вагонів), на настилі підлоги тамбурів, купе провідників (38 %), бокового коридору навпроти купе провідників (50 %), VIII i IX купе (44 %), а також на обшивці даху в зоні дефлекторів i труби котла (63 %).

Значну кількість наскрізних корозійних пошкоджень виявлено на поверхні металевого настилу підлоги, особливо в зоні туалетів (31 %), службового відділення (25 %), котлового відділення (19 %), а також в нижній частині обшивки торцевих стін (19 %). На окремих плацкартних вагонах виявлена наскрізна корозія в нижній частині кутових стійок, та торцевих стінках (рисунок 3.4).

Крім наскрізних корозійних пошкоджень, що виявлялися в процесі обстеження вагонів візуально, елементи металокопструкцій рам i кузовів плацкартних вагонів мали корозійні пошкодження різного ступеню, що виявлялися шляхом вимірювання товщин ультразвуковим методом i заносилися у таблиці вимірювання товщин. Результати вимірювання товщин окремих елементів металокопструкцій рам i кузовів пасажирських вагонів наведені у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Результати вимірювання товщин окремих елементів металокопструкцій рам i кузовів плацкартних вагонів

Елементи металокопструкції	Максимальні значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, %	Кількість вагонів з пошкодженнями
Балка хребтова (в зоні консольної частини рами)	від 10 до 16	8
	менше 10	8
Балка хребтова (в середній частині рами)	більше 10	1
	менше 10	15
Балки шкворневі	від 10 до 16	2
	менше 10	14
Балки кінцеві	від 10 до 13	6
	менше 10	10
Нижня обв'язка	більше 30	2
	від 17 до 28	14
Кутові стійки	від 10 до 14	5
	менше 10	11
Настил підлоги	більше 50	4
	від 20 до 40	11
Обшивка бокових стін	більше 30	1
	від 20 до 30	3

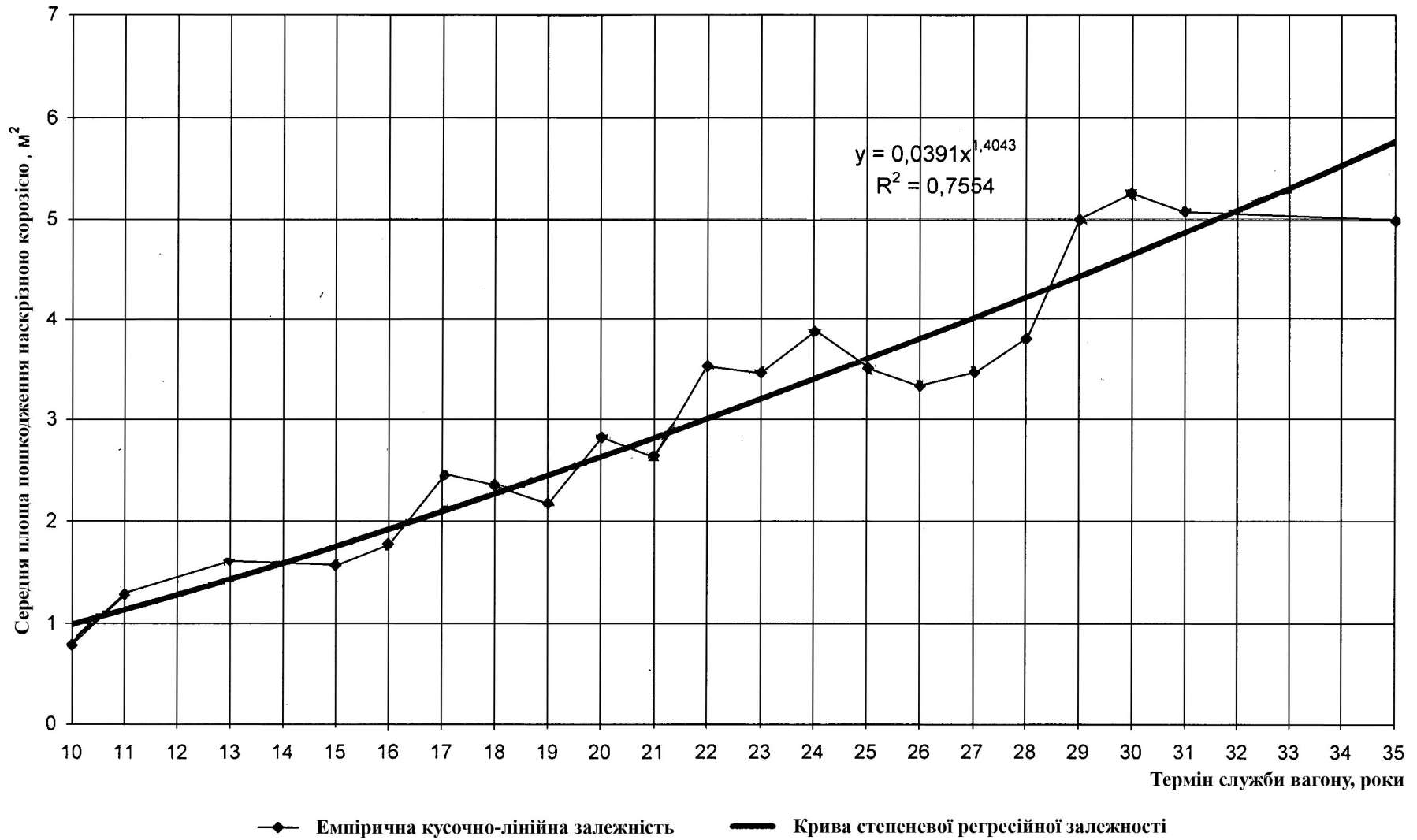


Рисунок 3.4 - Залежність середньої площі пошкоджень торцевих стінок кузовів корозією наскрізь від строку служби вагону

Як випливає з таблиці 3.11, найбільшу кількість і найвищу ступінь корозійних пошкоджень мають настил підлоги і нижня обв'язка.

Так, на 11 пасажирських вагонах (69 % від загальної кількості обстежених) максимальні значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, на окремих ділянках поверхні настилу підлоги в зоні туалетів, тамбурів, котельного відділення, бокового коридору навпроти купе провідників знаходилися в межах 20 – 30 %, а на чотирьох пасажирських вагонах перевищували 50 %.

На 14 пасажирських вагонах (87,5 %) корозійні пошкодження нижньої обв'язки в зоні туалетів і в середній частині пасажирських вагонів перевищували 17 %, а на двох вагонах – 30 %.

Корозійні пошкодження обшивки бокових стін (рисунок 3.5) виявлені в основному в зоні нижньої її частини: у зоні туалетів, котельного відділення, на підвіконному поясі (на трьох вагонах - до 30 %, на одному вагоні - більше 30 %).

Корозійні пошкодження інших елементів металоконструкції рам і кузовів плацкартних вагонів були незначні і не носили масового характеру. Так, максимальні значення корозійних пошкоджень хребтових балок в зоні консольних частин рами на восьми вагонах (50 %) не перевищували 16 %, в середній частині рами - 10 % на 15 вагонах (94 %), шкворневих балок - 16 % на двох вагонах і 10 % на 14-ти вагонах (88 %), кутових стійок - 10 % на 11-ти вагонах (69 %).

За результатами обстеження технічного стану плацкартних вагонів, що вислужили 28 років, слід зазначити, що незважаючи на наявність пошкоджень механічного та корозійного характеру, у цілому металоконструкції їх рам і кузовів знаходяться в задовільному стані і не мають пошкоджень, які б перешкоджали продовженню терміну їх експлуатації. Виявлені в процесі обстеження пошкодження повинні бути усунуті в процесі проведення планових ремонтів.

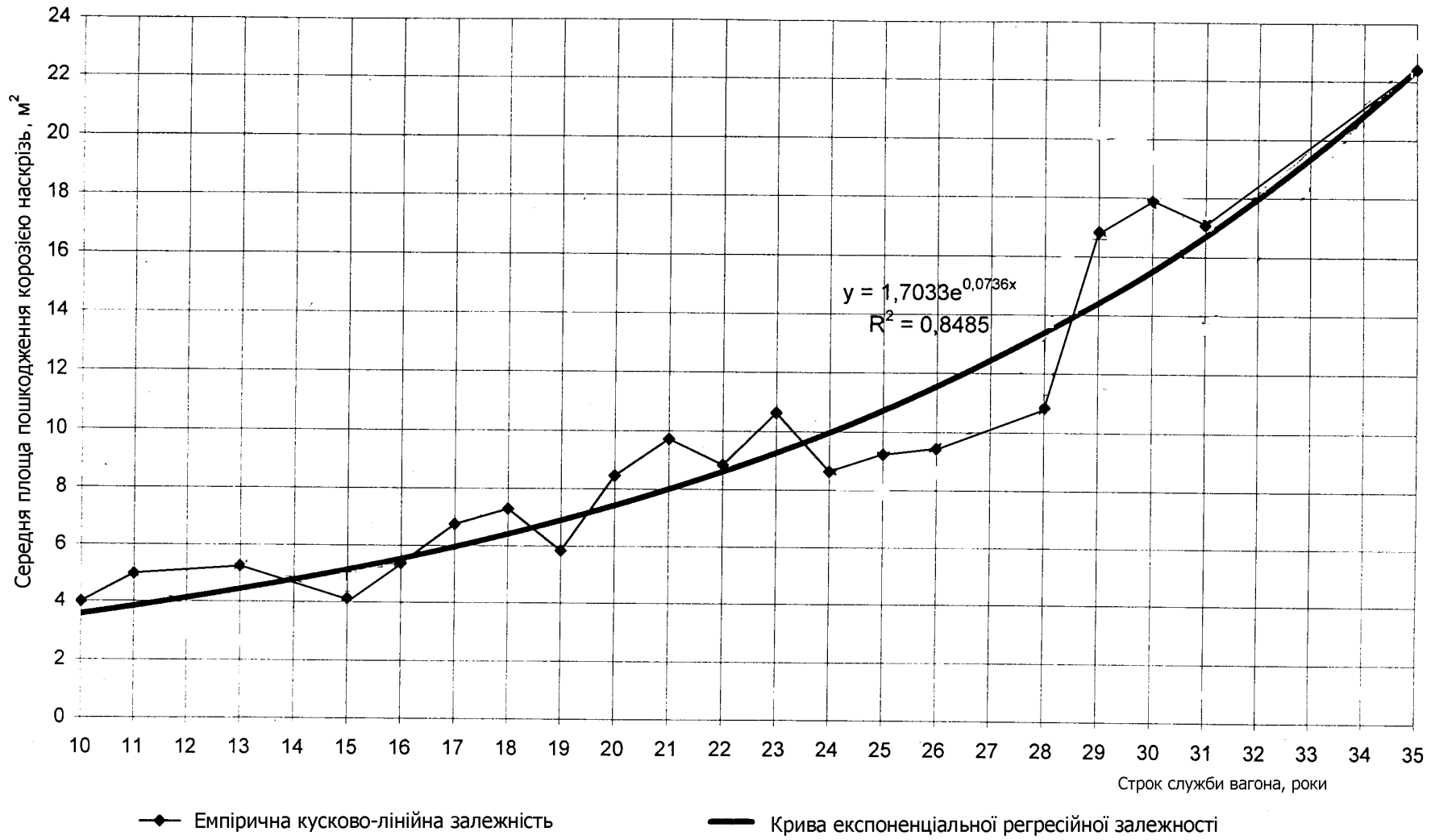


Рисунок 3.5 - Залежність середньої площі пошкоджень бокових стінок кузовів корозією наскрізь від строку служби вагону

Результати обстеження технічного стану рам та надресорних брусів візків наведені в картах обстеження технічного стану в таблицях результатів вимірювання основних несучих елементів

В результаті обстеження виявлено, що рами та надресорні бруси візків мають пошкодження як механічного, так і корозійного характеру.

Механічні пошкодження рам візків не носять масового характеру. Виявлено тріщину рами котлового візка вагона № 032-14418 в зоні приварки повздовжньої середньої балки до поперечної, яка знаходилась на вертикальному листі поперечної балки довжиною 60 мм під кутом 40 град, до горизонталі з боку повздовжньої балки з переходом на горизонтальну поперечну балку довжиною 30 мм. Візок забракували та замінили на інший.

Корозійні пошкодження елементів рам та надресорних брусів виявлялись способом вимірювання товщин ультразвуковим методом (з використанням товщиномірів УТ-93 П та "Булат 18") та заносились в таблиці вимірювання товщин. Результати вимірювань товщин елементів рам та надресорних брусів візків пасажирських вагонів наведені в таблиці 3.9.

Дані, наведені в таблиці 3.12, свідчать про те, що найбільший відсоток корозійних пошкоджень елементів - до 15 %, що складає 91,5 % від загальної кількості обстежених.

Таблиця 3.12 - Результати вимірювань товщини елементів рам та надресорних брусів пасажирських візків

Найменування елементів	Максимальні значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, %	Кількість елементів з пошкодженнями, шт.
Рама (візок котловий)	менше 5 %	21
	від 6 % до 10 %	52
	від 11 % до 15 %	21
	від 16 % до 20 %	4
	від 21 % до 30 %	1
	від 31 % до 50 %, але не більше 50 %	1
Продовження таблиці 3.12		
Найменування елементів	Максимальні значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, %	Кількість елементів з пошкодженнями, шт.
Рама (візок некотловий)	менше 5%	21
	від 6 % до 10 %	46
	від 11 % до 15 %	22
	від 16 % до 20 %	8
	від 21 % до 30 %	1
	від 31 % до 50 %, але не більше 50 %	2
Надресорний брус (візок котловий)	менше 5 %	100
Надресорний брус (візок некотловий)	менше 5 %	100

Максимальне значення корозійних пошкоджень по товщині, відносно номінальних розмірів, у 17 візків (8,5 % від загальної кількості обстежених) мають вертикальні стінки повздовжньої балки рами візка в зоні туалету. Так, у рами некотлового візка пасажирського вагона № 032-12537 та рами некотлового візка пасажирського вагона № 032 - 12677 максимальні значення корозійних пошкоджень досягають 43 % .

Результати обстеження технічного стану рам та надресорних брусів візків показують, що, в цілому, візки, які відслужили нормативний термін служби (28 років), мають задовільний стан та не мають пошкоджень, що перешкоджають продовженню терміну їх експлуатації. Виявлені під час обстеження пошкодження повинні бути усунуті в процесі проведення планових ремонтів.

Аналіз даних про корозійні ушкодження кузовів пасажирських вагонів показує, що ступінь поразки корозією кузовів ТВСЗ, а також Німеччини і Польщі різна. Кузова пасажирських вагонів будівлі ТВСЗ через 21 рік експлуатації мають середню площу ушкодження наскрізною корозією 16,35 м², а пасажирських вагонів Німеччини і Польщі через 30 років - тільки 13,61 м², тобто менше в 1,21 рази.

Особливо добре працює в кузовах Німеччини і Польщі настил підлоги, площа поразки якого в 3,1 рази менше, ніж у кузовах ТВСЗ (1,63 і 5,04 м²). Бокові стіни всіх типів пасажирських вагонів уражаються наскрізною корозією приблизно однаково (10,21 м² - Німеччини і Польщі і 8.37 м² - ТВСЗ).

На підставі аналізу технічного стану пасажирських вагонів встановлено, що елементи рами кузова в основному мають незначні корозійні ушкодження (3-5% від альбомної товщини елемента). Виключення складають шкворневі балки в зоні туалету, найбільші корозійні ушкодження яких досягають 73%.

Таким чином, розміри корозійного пошкодження несучих елементів, які визначають технічний стан пасажирських вагонів, залежать від терміну їх служби (рисунок 3.2 – 3.6).

Однак, це не єдиний фактор, що характеризує технічний стан пасажирських вагонів. На величину корозійних пошкоджень впливає також тип антикорозійного покриття, конструктивні особливості та інші фактори [2, 3].

Дослідження технічного стану пасажирських вагонів показують, що вагони з одним й тим же терміном служби суттєво розрізняються своїм технічним станом, що викликає труднощі в організації їх ремонту та свідчить про недостатню ефективність існуючої системи відновлення технічного ресурсу пасажирських вагонів.

Найбільш характерно це проявляється для пасажирських вагонів після 20 років експлуатації. Тут площа корозійних пошкоджень варіюється від 2 до 61 м². Були встановлені статистичні закони розподілу площі корозійних пошкоджень кузова у цілому (рисунок 3.7), бокових (рисунок 3.8) та торцевих стін (рисунок 3.9), а також підлоги (рисунок 3.10). Види та параметри отриманих законів розподілу площі корозійних пошкоджень наведені у таблицях 3.10 та 3.11.

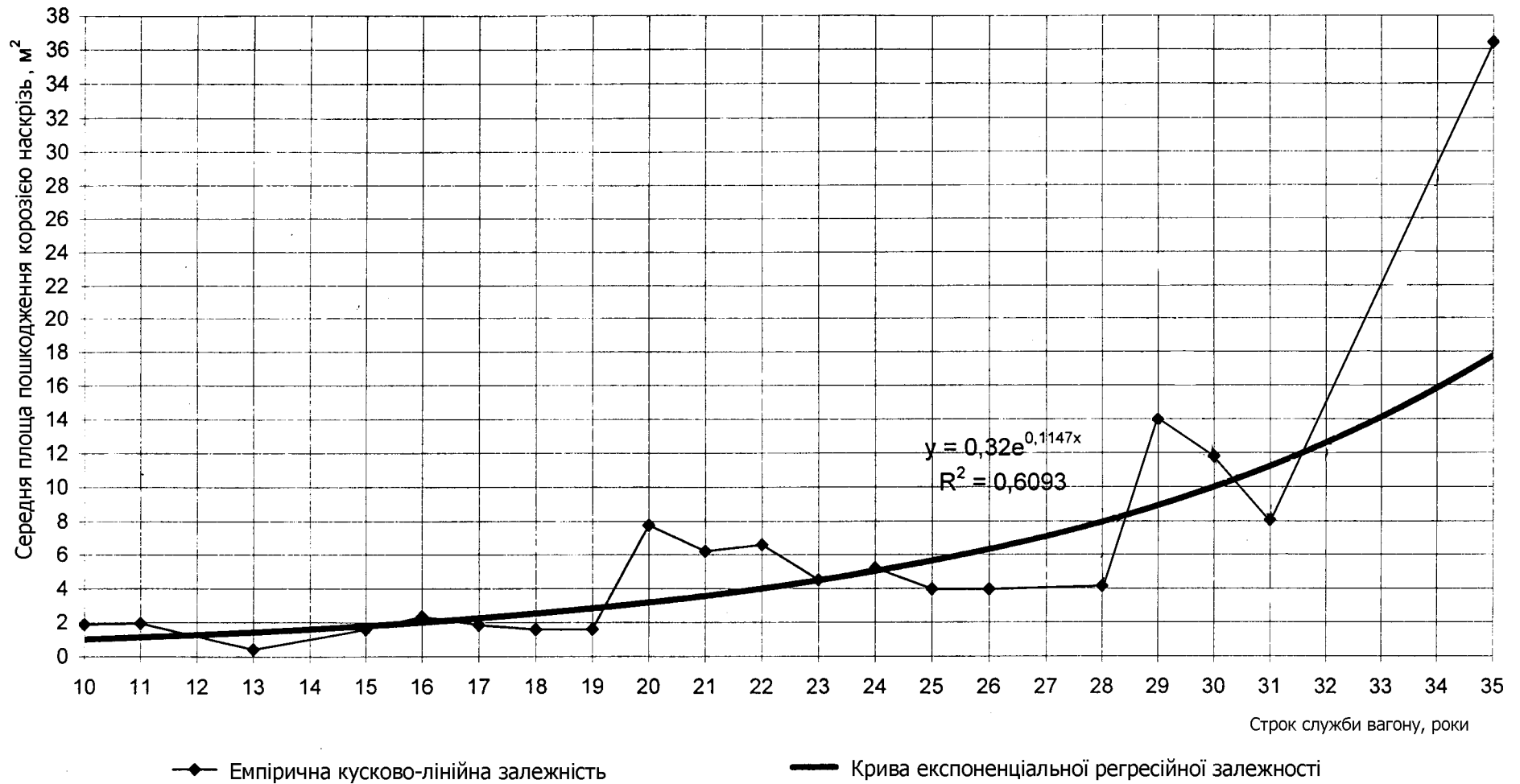
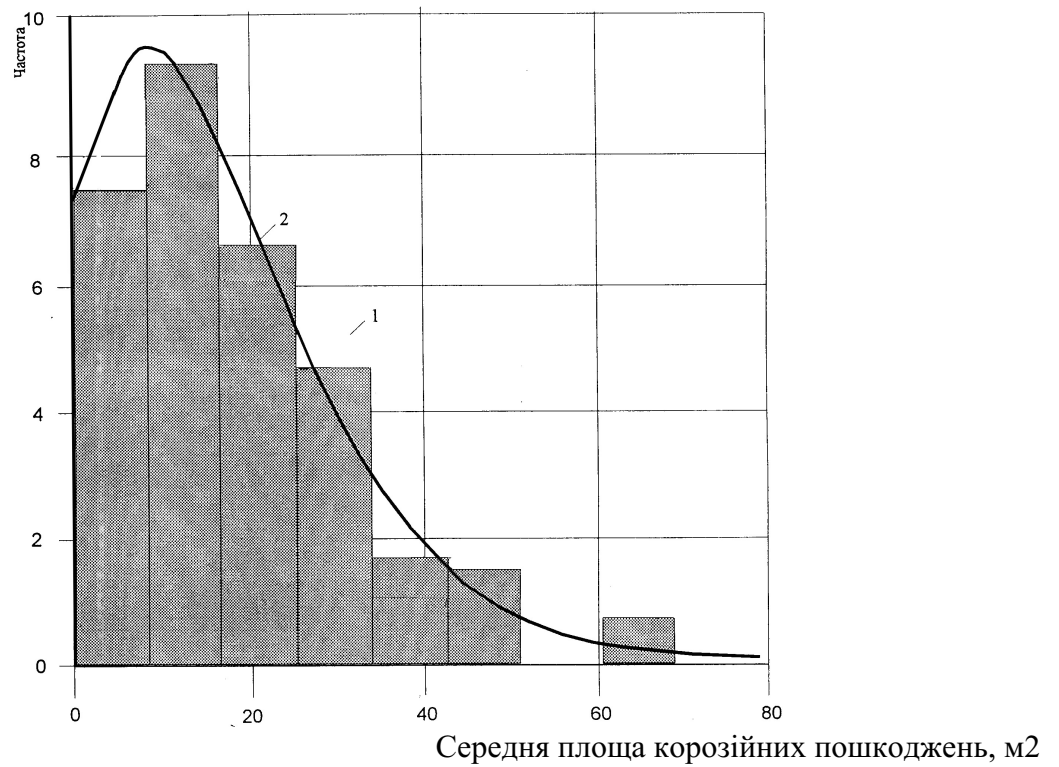
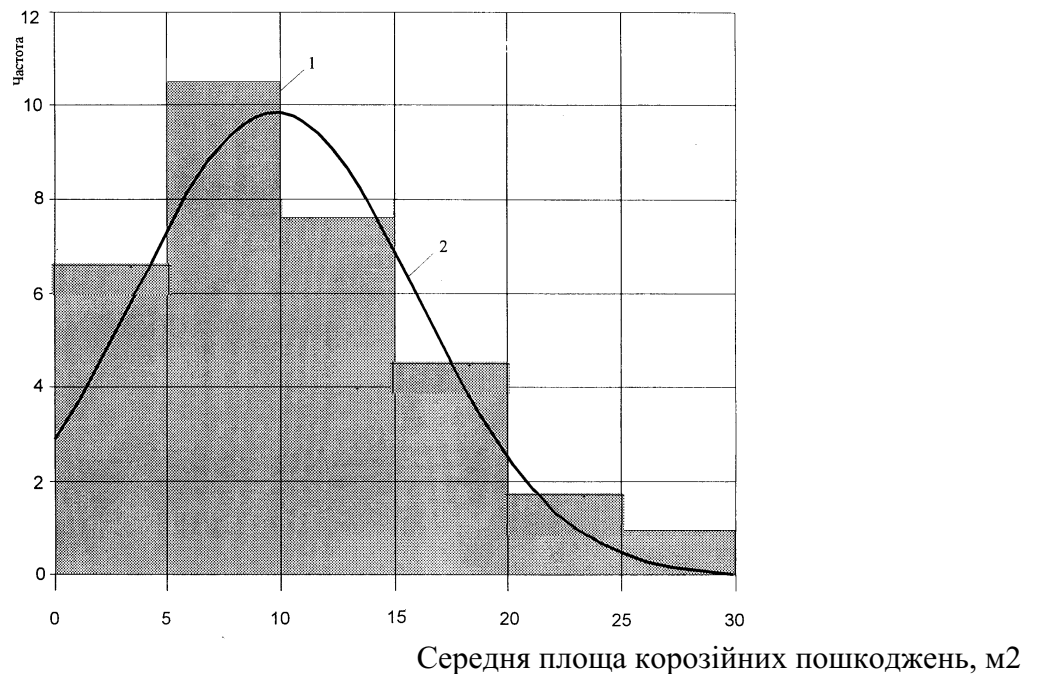


Рисунок 3.6 - Залежність середньої площі пошкоджень настилу полу кузовів корозією наскрізь від строку служби вагону



1 – гістограма; 2 – крива розподілу Вейбулла

Рисунок 3.7 - Розподіл середньої площі корозійних пошкоджень кузовів пасажирських вагонів



1 – гістограма; 2 – крива нормального розподілу

Рисунок 3.8 - Розподіл середньої площі корозійних пошкоджень бокових стінок кузовів

В таблицях використовуються наступні позначення: x – випадкова величина; \bar{x} – середнє значення розподілу; σ – середнє квадратичне відхилення; λ – параметр

експоненціального розподілу, що дорівнює ; α, β – параметри розподілу Вейбулла.

Таблиця 3.13 - Закони розподілу площі корозійних пошкоджень кузову та його основних елементів

Кузов та його елементи	Основні характеристики емпіричного розподілу		Вид закону
Кузов у цілому	18,628	13,670	Вейбулла
Настил підлоги	8,016	9,138	Експоненціальний
Стіни бокові	9,724	6,249	Нормальний
Стіни торцеві	2,696	2,067	Вейбулла

Перевірка відповідності емпіричних розподілів теоретичним проводилася за критеріями згоди Пірсона χ^2 (хі – квадрат) [7].

(3.4)

де – відповідно емпіричні та теоретичні частоти для i -го інтервалу,

(3.5)

n - число одиниць у сукупності спостережень;
 k_i - довжина i -го інтервалу;

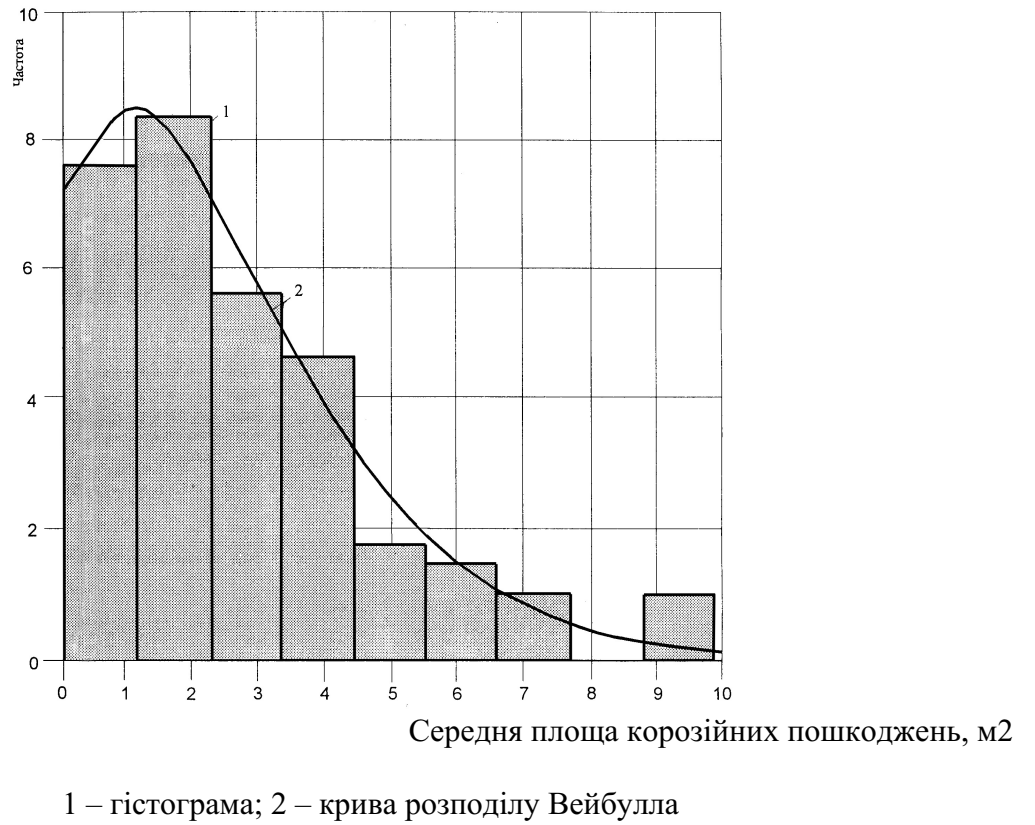


Рисунок 3.9 - Розподіл середньої площі корозійних пошкоджень торцевих стінок кузовів

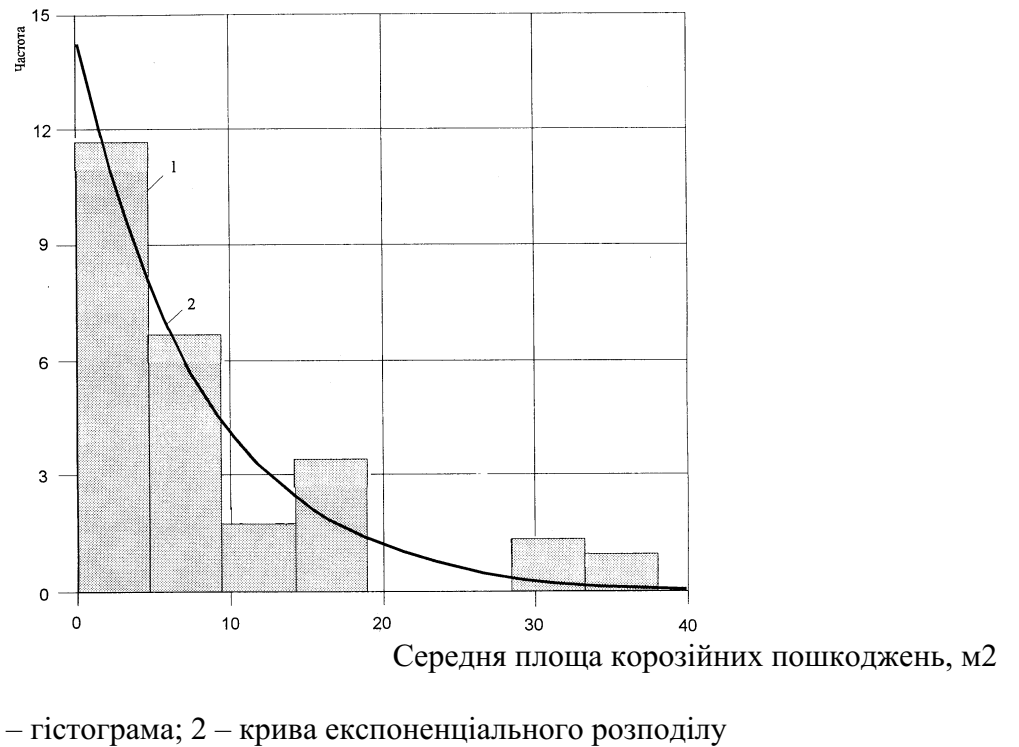


Рисунок 3.10 - Розподіл середньої площі корозійних пошкоджень настилу підлоги кузовів

x_i - середнє значення i -го інтервалу;
 d - число інтервалів.

Таблиця 3.14 Параметри отриманих законів розподілу площі корозійних пошкоджень кузову та його основних елементів

Кузов та його елементи	Функції щільності розподілу	<i>Параметри</i>	Критерії згоди χ^2	
			розрахункова величина	критичне значення
Кузов у цілому		$\alpha=1,445$ $\beta=20,6$	0,725	6,0
Настил підлоги		$\lambda=0,125$	0,783	6,0
Стіни бокові		$x=9,724$ $\sigma=6,249$	3,841	7,8
Стіни торцеві		$\alpha=1,347$ $\beta=2,943$	1,082	6,0

Гіпотеза про відповідність теоретичного розподілу емпіричному приймається при виконанні умови

(3.6)

де χ_{crit}^2 - критичне значення χ^2 , що визначається за таблицею, при заданому рівні значимості ($\alpha = 0,05$) та розрахованому числі ступенів свободи ν ,

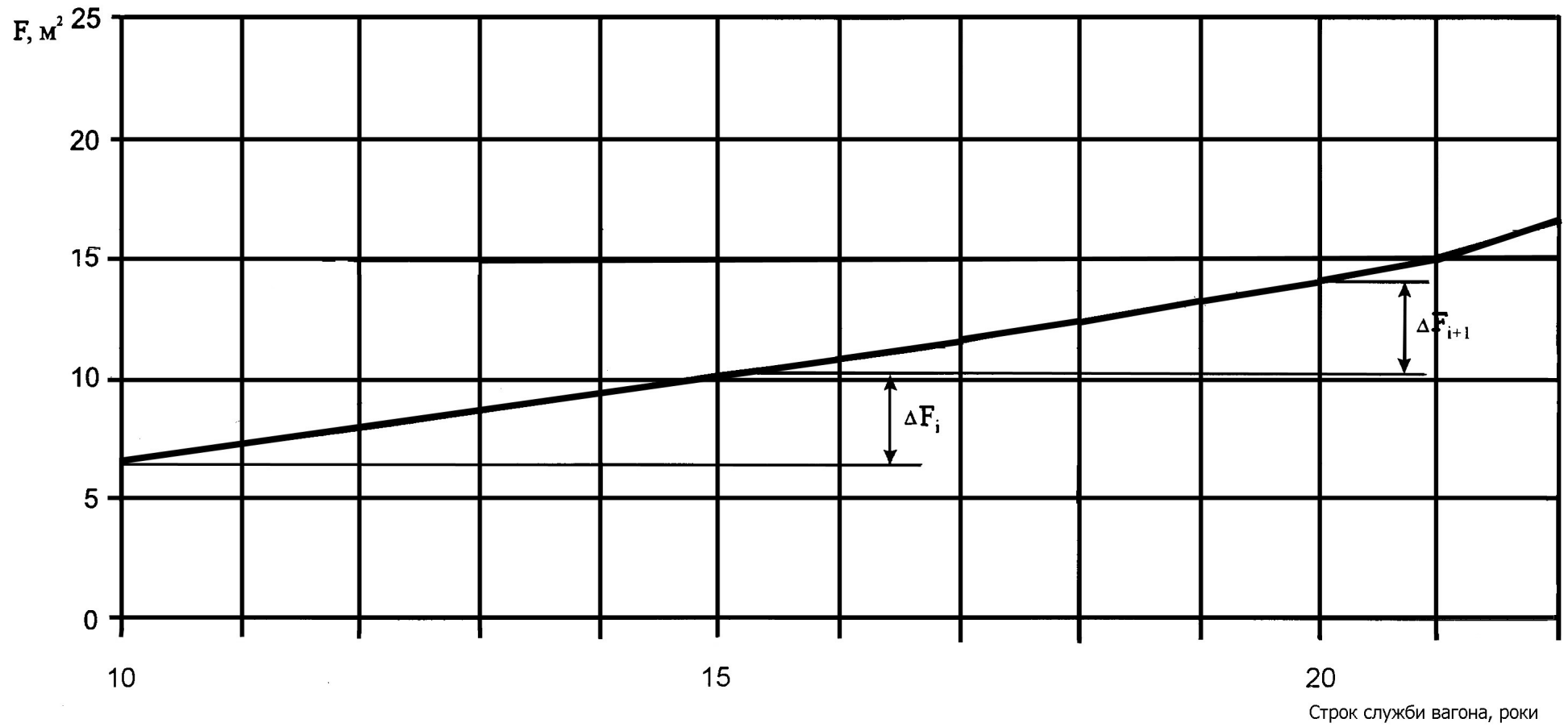


Рисунок 3.11 - Фрагмент графіку регресійної залежності середньої швидкості корозійних пошкоджень кузовів в залежності від строку служби пасажирського вагона

$$v = d - 1 - r; \quad (3.7)$$

r - число параметрів теоретичного закону.

Порівняння розрахункових та критичних значень χ^2 для обраних законів розподілу (див. таблицю 3.14) свідчить про підтвердження прийнятих гіпотез.

Аналіз отриманих результатів показує, що для терміна служби більше 20 років пасажирські вагони розподіляються за розмірами площі корозійних пошкоджень нерівномірно. Для кузова в цілому та його основних елементів є загальна закономірність яка полягає в тому, що переважна більшість обстежених пасажирських вагонів мають незначні площі пошкоджень, а доля пасажирських вагонів зі значними площами пошкоджень корозією значно менше.

Отримані закони розподілу дозволяють встановити імовірність попадання в ремонт пасажирських вагонів з встановленим терміном служби з заданим ступенем пошкодження або вказати для заданої імовірності ступінь пошкодження пасажирського вагона.

Про неефективність планування капітальних ремонтів за середньостатистичними показниками свідчать також графіки регресивної залежності середньої площі корозійних пошкоджень кузова від терміна служби пасажирського вагона (рисунок 3.11).

Аналіз графіка показує, що нарощування корозійних пошкоджень ΔF_i за міжремонтний цикл (рисунок 3.11) знаходиться приблизно на рівні 55%. В той же час коефіцієнти варіації для конкретних термінів служби їх перевищують.

Таким чином, проведенні дослідження дозволили встановити вплив терміну служби пасажирських вагонів на розмір корозійних пошкоджень кузовів та ще раз підтверджують необхідність та актуальність переходу до системи ремонту, що орієнтована на технічний стан кожного конкретного пасажирського вагона.

Висновки: 1. Методика визначає обстеження технічного стану в трьох зонах по довжині пасажирського вагона й у декількох перетинах по настилу підлоги, стінам і дахові. Таке виділення зон і перетинів зроблено на основі аналізу результатів численних обстежень технічного стану пасажирських вагонів за попередні роки в Республіці Беларусь, Російській Федерації і в Україні;

2. У пропонованій методиці виміри залишкової товщини елементів кузова робляться за допомогою ультразвукових товщиномірів у контрольних точках, розташованих у виділених перерізах і зонах. Контрольні точки нанесені по перерізам і зонам так, що дозволяють по обмеженій вибірці вимірів поширити інформацію на всю генеральну сукупність, тобто на весь кузов;

3. Основним видом ушкодження металоконструкції кузова є корозія. Корозійні ушкодження, зменшують площу перерізу елементів, зменшують їх міцність;

4 Аналіз статистичного матеріалу про технічний стан пасажирських вагонів по приведеній вище методиці показує, що ступінь ураження корозією кузовів ТВБЗ, а також Німеччини і Польщі різна, ТВБЗ через 21 рік експлуатації середня площа ушкодження корозією становить 16,35 м², а пасажирських вагонів Німеччини і Польщі через 30 років тільки – 13,61 м², тобто менше в 1,21 рази;

5. Ступінь ушкодження кузовів корозією росте із збільшення терміну експлуатації пасажирських вагонів, при цьому технічний стан пасажирських вагонів з однаковим строком служби істотно розрізняється.

РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

4.1 Прогнозування залишкової несучої здатності елементів кузовів пасажирських вагонів

Проблема оцінки залишкового ресурсу основних елементів кузова являється актуальною і необхідною для прийняття обґрунтованих рішень по вибору варіанта відновлення несучої здатності та призначення строків служби пасажирського вагона.

Методичний підхід до оцінки остаточного ресурсу основних елементів пасажирських вагонів викладений в роботі [80].

Під залишковим ресурсом розуміється сумарний наробіток виробу (вагона або його елемента) від моменту контролю до моменту переходу в граничний стан [32].

Прогнозування оцінки залишкового ресурсу для елементів пасажирського вагона повинно виконуватися на основі аналізу основних процесів, які протікають у відповідальних елементах кузова пасажирського вагона які приводять до відмов і граничному стані пасажирського вагона в цілому.

Для елементів пасажирського вагона, у яких граничний стан настає в основному із-за процесів корозійного зносу, пропонується прогнозувати ресурс на основі використання математичних моделей зношування.

В основу одного із методів прогнозу залишкового ресурсу [94] покладена проста апроксимація, яка заключається в представленні величини параметра, який контролюється таким що змінюється під впливом зношування, у вигляді суми незалежних приростів.

Похідною інформацією при використанні цього метода прогнозу залишкового ресурсу, тобто підбору апроксимуючої функції, можуть бути: зміни в часі визначального параметра, вимірювання технічного або діагностичного параметра в процесі експлуатації; граничне значення параметра, який зв'язаний з діагностичним параметром функціональною або статистичною залежністю; регресійні залежності між ресурсними і діагностичними параметрами.

При використанні метода прогноза залишкового ресурсу на основі апроксимуючої функції опис процесу змінювання параметра технічного стану

(4.1)

де $DSMT4$ - імовірне для групи однойменних елементів пасажирського вагона (із небезпечних перерізів) значення показника швидкості змінювання параметра, тобто швидкість витрачення ресурса;

- показник степені апроксимуючої функції, який характеризує конструктивні особливості складової частини;

- наробіток виробу на момент прогнозу.

При відомій швидкості витрачення ресурса по параметру який контролюється (тобто швидкості корозійного зношення) можливо використовують залежність [94] при i

, тобто залежність

(4.2)

Проте при цьому не враховується, що процес корозійного зношення починається не спочатку, а після руйнування антикорозійного покриття. Тому величину корозійного руйнування елемента кузова до строку служби пасажирського вагона доцільно визначити з урахуванням цього фактора, тобто по формулі [88]

$$, \quad (4.3)$$

де - поточний строк служби, років;

- період часу від моменту початку експлуатації пасажирського вагона до руйнування антикорозійного покриття, років.

Тоді для прогнозування залишкового ресурса елемента металоконструкції кузова пропонується використати формулу [86, 88]

$$, \quad (4.4)$$

де - залишковий ресурс елемента кузова, який розглядається, років;

- відповідно товщина елемента при строку служби пасажирського вагона і гранична, мм,

$$, \quad (4.5)$$

- номінальна товщина елемента, мм;

- середня швидкість корозія елемента, мм/рік.

Критерій або сукупність критеріїв граничного стану виробу звичайно встановлюється в нормативно-технічній та конструкторській документації. Так, граничні значення корозійного зношення елементів рами і кузова пасажирського вагона – 30% від їх номінальної товщини, яка встановлюється нормативними документами. В якості критерія граничного стану елементів кузова пропонується рахувати витрату їх несучої здібності – міцність та стійкість.

Розроблена методика прогнозування заснована на моделюванні на ПЕОМ технічного стану пасажирського вагона для різних строків його служби, подальшої оцінки залишкової несучої здібності, залишкового ресурса для основних елементів кузова та видачі рекомендації по варіанту відновлення кузова. Тому в даному випадку під прогнозуванням будемо розуміти моделювання технічного і напруженого станів кузова пасажирського вагона на ПЕОМ на протязі життєвого циклу та керування процесом відновлення його ресурса.

Запропонована методика прогнозування базується на моделі швидкостей корозійних пошкоджень для різноманітних ділянок кузова, яка дозволяє змоделювати технічний стан пасажирського вагона на будь який момент часу, та розрахункової кінцево-елементної моделі кузова, яка дає можливість за допомогою методу кінцевих елементів оцінити залишкову несучу здатність кузова. Модель прогнозування дозволяє досліджувати стан пасажирського вагона як в визначений момент часу, так і в продовж тривалого періоду часу.

Прогнозування технічного стану елементів конструкції пасажирського вагона у залежності ступеню корозійного пошкодження проводилось за допомогою кінцево-елементної моделі (див. розділ 2.2).

При виконанні розрахунків кузова пасажирського вагона використовувався пакет прикладних програм "ІСАМ" (інтегрована система аналізу міцності) з високим ступенем автоматизації розрахунків на міцність на стадії проектних вишукувань, який допускає будь яку комбінацію статистичних навантажень і який дозволяє проводити аналіз напруженого стану на пружній стадії як всієї конструкції кузова пасажирського вагона, так і його окремих ділянок, при різному ступені деталізації.

Для оцінки пружно-деформованого стану кузова пасажирського вагона використовують пакет програм, який реалізує метод кінцевих елементів, який на даний час є одним із самих розповсюджених методів рішення прикладних задач.

Розрахункова схема кузова пасажирського вагона моделі 61-779 представлена набором конструкцій, які об'єднані в загальну розрахункову схему (див. рисунок 2.5). Такий підхід дозволяє проводити незалежну підготовку і налагодження вихідних даних для кожної конструкції, а потім здійснювати складання системи і вирішення задачі.

При розрахунках металоконструкцій кузова були прийняті наступні допущення:

- матеріал конструкції працює в пружній стадії деформації і володіє постійними характеристиками – модулем пружності $E=2,1 \times 10^5$ МПа та коефіцієнтом Пуасона $\mu=0,3$;
- для розрахунків використовується четверта частина кузова, дії відкинутої частини кузова замінено відповідними закріпленнями;
- спирання пасажирського вагона на візок представлено в розрахунковій схемі введенням у вузлах, відповідних опорі, кінематичного закріплення по ступеням свободи Y, Z .

По 3-му розрахунковому режиму розглядається відносно часте можливе сполучення помірних по величині навантажень, характерне для нормальної роботи пасажирського вагона в поїзді, що рухається. Основні вимоги при розрахунках по цьому режимі – не допустити устанавленого зруйнування вузла або деталі.

Допустимі напруги по цьому режимі вибираються виходячи із меж виносливості матеріалу з врахуванням сумісної дії квазістатичних, вібраційних та ударних навантажень, впливу корозії і т.п.

Допустимі напруги: хребтова і шворневі балки рами пасажирського вагона, сталь – 09Г2 (09Г5С) – $[\sigma][\sigma][\sigma][\sigma]$

Основні розрахункові навантаження:

- вертикальні навантаження: сила важкості пасажирського вагона без пасажирів
- ;
- сили від ваги пасажирів (і 2-х провідників)
- ;
- сила від ваги бруто вагона з пасажирами
- ;
- сила від ваги кузова з пасажирами
- ;
- вертикальне навантаження на 1/4 кузова складає

(4.6)

де $G_{1/4}$ – вага металоконструкцій 1/4 частини кузова пасажирського вагона (по результатам програмного комплексу).

Площа пола 1/4 частини кузова пасажирського вагона, на яку розподіляється вертикальне навантаження, складає 16,94 м², розподільне вертикальне навантаження на 1/4 пола кузова

(4.7)

Вертикальне динамічне навантаження визначається помноженням сили тяжкості бруто на коефіцієнт вертикальної динаміки $K_{дв}$.

Коефіцієнт вертикальної динаміки $K_{дв}$ розглядається як випадкова функція з ймовірним розподіленням виду:

(4.8)

Коефіцієнт $K_{дв}$ визначається як квантиль цієї функції при розрахунковій односторонній ймовірності $P(K_{дв})$ по формулі:

(4.9)

де $\bar{K}_{дв}$ – середнє ймовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки,

(4.10)

де a – коефіцієнт, який дорівнює для елементів кузова 0,05;

b – коефіцієнт, який враховує вплив числа осей p у візку або в групі візків під одним кінцем пасажирського вагона,

(4.11)

V – розрахункова швидкість руху 160 км/год (45 м/с);

m – статичний прогин ресорного підвішування під вагою бруто пасажирського вагона;

(4.12)

β – параметр розподілу, уточнюється по експериментальним даним, для пасажирських вагонів ;
 $R(K_{дв})$ – довірна ймовірність, допускається – 0,97.

(4.13)

Вертикальне динамічне навантаження $Q_{дин}$ при швидкості 45 м/с (160 км/год):

(4.14)

Розподілене вертикальне навантаження на 1/4 частину кузова дорівнює

(4.15)

де $F_{бокова}$ – бокова сила.

Повздовжні сили представляють собою стискуючі і розтягуючі сили взаємодії між вагонами і між вагоном і локомотивом, які виникають при різних режимах руху поїзда.

Згідно з норм розрахунків та проектування нових та модернізованих вагонів залізниць МПС колії 1520 мм (несамохідних), ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983 р. складає

-1000 кН – повздовжня сила стиску,

+1000 кН – повздовжня сила розтягування.

Згідно з цими нормами бокове навантаження по 3-му розрахунковому режиму приймається рівною 12,5 % від сили важкості бруто кузова пасажирського вагона

(4.16)

Розрахунки повздовжніх, вертикальних та бокових навантажень зведені в таблицю 4.1

За результатами розрахунків (додаток А) по вищенаведеній методиці основних конструктивних елементів кузова пасажирського вагона (рами, рами в районі шворневої балки, бокової стінки, даху) побудовані (таблиця 4.2 та рисунок 4.1) залежності зміни

напружень в цих елементах від їх зношення в результаті корозії та інших причин.

Розрахунки велись при зношенні конструктивних елементів кузова пасажирського вагона на 0%, 10%, 20%, 30%.

Таблиця 4.1 - Розрахункові варіанти навантажень на пасажирський вагон

Найменування основних розрахункових навантажень	Розрахункові режими	
	3 режим	
	Варіант 1	Варіант 2
	розтягування	стиск
1.Повздовжні навантаження	+1000 кН	-1000 кН
2.Вертикальні навантаження - сила тяжіння - вертикальне динамічне навантаження	по п. 2.1.1 508,148 кН	по п. 2.1.1 508,148 кН
3.Бокові навантаження - відцентрова сила	83,033 63,676	83,033 кН 63,676 кН

Знаючи величину конструктивного розміру та корозійних зношень від часу експлуатації пасажирського вагона (див. розділ 3.2) можливо прогнозувати всі види обслуговування та ремонту пасажирських вагонів.

1	Найменування вузла	Матеріал	Значення товщини при зношенні, мм				Допусти мі напруже ння [σ], МПа
			0%	10%	20%	30%	
	1. Нижній лист бокової стінки	295-09Г2Д	2,5	2,25	2,0	1,75	200
	2. Міжвіконний простінок	09Г2С	2,5	2,25	2,0	1,75	200
	3. Верхній лист бокової стінки	295-09Г2Д	2,0	1,8	1,6	1,4	200
	4. Середній лист даху	295-09Г2Д	2,0	1,8	1,6	1,4	200
	5. Нахил даху	Ст 3	2,0	1,8	1,6	1,4	165
	6. Хребтова балка в консольній частині (шв. 30-В), буферна балка	295-09Г2	7,5	6,75	6,0	5,25	190
	-вертикальна стінка -верхня та нижня полицьки		13,5	12,15	10,8	9,45	
	7. Хребтова балка в середній частині (двутавр 30-В)	295-09Г2	6,5	5,85	5,2	4,55	190
	-вертикальна стінка -верхня та нижня полиці		10,2	9,18	8,16	7,14	
	8. Бокова обв'язка (шв. 20П)	295-09Г2	5,2	4,68	4,16	3,64	200
	-вертикальна стінка -верхня та нижня полицьки		9,0	8,1	7,2	6,3	
	9. Проміжна балка (гн. шв. 140x60x6)	295-09Г2	6,0	5,4	4,8	4,2	200
	10. Пол (гофрований лист)	295-09Г2Д	1,8	1,62	1,44	1,26	200
	11. Шкворнева балка	345-09Г2С	8,0	7,2	6,4	5,6	190
	- верхній лист		8,0	7,2	6,4	5,6	
	- вертикальний лист - нижній лист		8,0	7,2	6,4	5,6	
	12. Підлога в тамбурі	09Г2С	3,0	2,7	2,4	2,1	200
	13. Поперечна балка (за шкворневою)	645-09Г2С	6,0	5,4	4,8	4,2	200
	- верхній лист		6,0	5,4	4,8	4,2	
	- вертикальний лист - нижній лист		6,0	5,4	4,8	4,2	

———— стиснення; - - - - розтягування; ● – рама; □ – рама (район шкворневої балки);
▲ – бокова стінка; ◇ – дах вагона.

Рисунок 4.1 - Змінювання напруження від величини зносу в елементах кузова пасажирського вагона моделі 61-779

Розрахунок на міцність кузова пасажирського вагона виконується по 3-му розрахунковому режиму для кузова вагона при різному ступені зношення (0 - 30%) основних несучих елементів. Номінальні розміри поперечних перерізів фасонного прокату зменшилися рівномірно у відповідності з прийнятим ступенем зношення.

4.2 Інструментальні методи виявлення залишкової несучої здатності елементів конструкції пасажирських вагонів

Переважає більшість конструкцій у процесі експлуатації потерпає впливу навантажень, що циклічно змінюються. Тому приблизно 90% ушкоджень деталей та вузлів пов'язані з виникненням і розвитком утомлених тріщин. Тріщини утоми створюють передумови для швидкого (крихкого) руйнування, і в цьому одна з головних причин їхньої небезпеки. Ні при яких інших видах руйнування характеристики міцності не залежать від такого великого числа факторів, як при утомленому руйнуванні. Основними з них є: особливості матеріалу й технології виготовлення; конструкція деталей; режим навантаження; середовище, що контактує з деталлю, та ін.

При експлуатації також можлива поверхнева чи міжкристалічна корозія під дією агресивних середовищ, у тому числі газів. Специфічним видом руйнування є корозія під напругою: агресивна дія середовища підсилюється внутрішніми напруженнями в металі виробу.

Як відзначається в роботі [43], в числі утомлених тріщин, що виникають при експлуатації зварених конструкцій, особливо небезпечними є тріщини, сховані від спостереження в період їхнього виникнення і розвитку. Такі тріщини були виявлені при стендових випробуваннях зварених рам візків у несучих елементах з найбільш розповсюдженим коробчастим поперечним перерізом. Тріщини розташовувалися у зварених з'єднаннях: стикових швах, поясних (кутових) швах однобічного зварювання, швах однобічного зварювання внутрішніх діафрагм, по межі лобових швів, що приварюють посилюючу накладку на внутрішній поверхні поясного листа боковини.

Використання неруйнівних методів контролю (НК), дозволяє уточнити (визначити) залежності між параметрами які використовуються методів НК і залишковим ресурсом міцності.

У цьому випадку методи НК є тільки прогнозуючими, причому прогнози ґрунтуються на кореляційних залежностях параметрів методів (наприклад, швидкості поширення централізованих (УЗ) хвиль) з характеристиками міцності, у тому числі залишкової.

По-перше, залишкова міцність основного металу, обумовлена його утомою, що накопичилась в процесі експлуатації. Вона буде різною в залежності від умов і особливостей експлуатації, якості деповських і капітальних ремонтів.

По-друге, встановлені основні фактори, що знижують наявну реальну залишкову міцність металу елементів конструкцій. Це можуть бути: корозія, як зовнішня так і внутрішня, дефекти металу, дефекти зварних швів.

Таким чином, за результатами первинного сканування хвилями Лемба деякої ділянки металу, отримуємо координати підозрілих місць, що підлягають детальному аналізу за допомогою класичних методів УЗ дефектоскопії подовжніми і поперечними хвилями, а також УЗ товщинометрії.

За допомогою запропонованого двоетапного підходу можна вирішувати цілий ряд задач неруйнівного контролю з високим ступенем вірогідності і що не

менш важливо, високою продуктивністю.

У запропонованому підході обсяг робіт по контролю зменшується, особливо на другому етапі, оскільки контроль виконується тільки в підозрілих місцях. Товщинометрія також здійснюється тільки в підозрілих місцях, причому можуть використовуватися класичні підходи і методики.

Окремим напрямком, є розробка підходів і методів обліку впливу на залишкову міцність різних видів і типів дефектів. Сюди входять: оцінка впливу зменшення товщини металу на різних ділянках через зовнішню корозію, ослаблення міцності металу при поразці міжкристалічною корозією, тріщиностійкості основного металу, вплив дефектів зварених швів на їхню міцність.

Таким чином, може бути запропонований комплексний підхід до використання методів неруйнівного контролю у задачах продовження нормативного терміну служби пасажирських вагонів. Слід зазначити структурованість пропонованого підходу. Це дозволяє виділяти і вирішувати, при необхідності окремі задачі, наприклад, можна виділити задачу двоетапної товщинометрії і вирішувати її самостійно.

До основних фізико-механічних властивостей матеріалів, обумовлених акустичними методами, відносять: пружні (модуль нормальної пружності, модуль зрушення, коефіцієнт Пуассона), міцності (міцність при розтяганні, стиску, вигину, крутінні, зрізу та ін.), технологічні (щільність, пластичність, вологість, зміст окремих компонентів, гранулометричний).

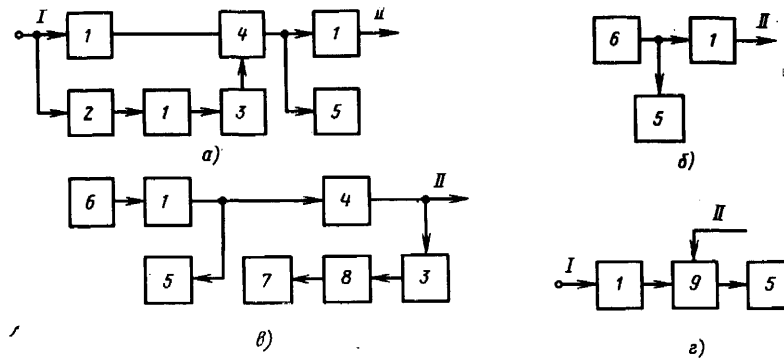
Міцність і пружні властивості у більшості конструкційних матеріалів пов'язані кореляційними або функціональними залежностями зі швидкостями поширення різних типів ультразвукових (УЗ) хвиль: подовжніх, поперечних (зсунені), поверхневих хвиль Релея та ін.

Найбільш інформативний акустичний параметр для оцінки міцності матеріалу — це швидкість поширення хвиль. Вона аналітично зв'язана з пружними постійними, що описують початкову ділянку кривої напруження — деформація. Для неруйнівного контролю міцності ряду матеріалів досить виміру швидкості. На рисунку 4.2 приведені спрощені блок-схеми, що реалізують основні методи акустичних вимірів.

Ступінь враження металу міжкристалічною корозією можна контролювати, порівнюючи амплітуди сигналів, що пройшли той самий шлях через зразок до і після поразки корозією. Коефіцієнт корозії приймають рівним відношенню амплітуд цих сигналів і визначають на частоті, для якої в даному матеріалі він залежить від ступеня поразки корозією. У залежності від конкретних умов крім подовжніх хвиль можна використовувати зсунені чи поверхневі хвилі.

Для виміру товщини виробу застосовують звичайно луно-імпульсний метод. При цьому товщину стінки виробу визначають по тривалості проходження ультразвукового імпульсу або за часом між повторно відбитими імпульсами. Імпульс пружних коливань, який поширюється в металі з визначеною швидкістю, багаторазово відбивається від протилежних поверхонь і при зворотному ході віддає п'єзоелементу частину енергії. Через поглинання і розсіювання ультразвукових коливань кожен наступний імпульс несе меншу енергію. На екрані відеоконтрольного пристрою виникає послідовний ряд імпульсів, рівновіддалених один від одного, які зменшуються по амплітуді. Інтервал часу між двома послідовними імпульсами прямо пропорційний

вимірювальній товщині.



а — синхрокільця; б — накладення; в — подвійного зондувального імпульсу; г — лічильно-імпульсним; / — формувач імпульсів; 2 — детектор; 3 — лічильник імпульсів; 4 — схема І; 5 — цифровий вимірник тимчасових інтервалів або періодів; 6 — генератор синусоїдальних коливань; 7 — зовнішній генератор синхроімпульсів; 8 — тригер; 9 — формувач тимчасового інтервалу; / — напрямку від підсилювача дефектоскопа; // — напрямку від синхронізації дефектоскопа

Рисунок 4.2 - Структурні схеми спеціалізованих пристроїв ультразвукових дефектоскопів для вимірів часу поширення УЗК різними методами

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики приладів і установок для контролю структури матеріалів

Тип	Діапазон частот, МГц	Діапазон виміру Відносини амплітуд, дБ	Сортамент виробів і розміри, мм	Матеріал
УС-12 ІМ	0,25-25,0	0,5—20 з погрішністю $\pm(0.025N+10,1)$ у автоматичному режимі; 1—71 через один децибелл	Плоскі товщиною 0—300; труби діаметром більше 6	Метали, сплави, пластмаси
УС-13 І	1,25—10,0	у ручному режимі 1—20 з погрішністю $\pm(0,04-V + 0,2)$ в автоматичному режимі;	Плоскі товщиною 10—300	Те ж
ДСК-1	0,65-10,0	1—70 у ручному режимі	Плоскі товщиною св. 3, труби діаметром більше 30	Сталі аустенітного класу

При вимірі товщини стінки з добре обробленими і рівнобіжними поверхнями погрішність луно-імпульсних товщиномірів складає 0,01 мм, а при вимірі товщини стінки з неопрацьованими, корельованими і непаралельними поверхнями — 0.1— 0,2 мм.

Вимір стінки шляхом визначення частоти повторення багаторазових відображень луно-сигналів засновано на фіксації збігу цієї частоти з частотою амплітудно-частотного резонатора. При цьому на виході аналізатора з'являються імпульси, по положенню яких визначають товщину. Погрішність вимірів цим методом може бути зменшена до $\pm 2\%$ при діапазоні вимірів 0,5—10 мм.

При вимірі товщини резонансним методом при відсутності акустичного контакту між перетворювачем і виробом на екрані відеоконтрольного пристрою видно які імпульси вимірюються, а при наявності контакту на екрані з'являються резонансні імпульси. Погрішність вимірів цим методом коливається від 0,1 до 3 % товщини стінки при діапазоні вимірів 0,1— 300 мм.

Луно-імпульсні товщиноміри поділяють на прилади для контролю виробів з чисто і грубо обробленими рівнобіжними поверхнями.

Мінімальна товщина стінки плоских виробів з чисто обробленими поверхнями, виміряна приладами, складає 0,2—0,3 мм при абсолютній погрішності вимірів не більш 10 мкм. Мінімальна товщина стінки виробів із грубо обробленими поверхнями, виміряна приладами, складає 1,2—1,5 мм при абсолютній погрішності вимірів 0,1—0,2 мм. Погрішності вимірів за допомогою луно-імпульсних товщиномірів викликані різними причинами, основними з яких є неоднорідності хімічного складу металу і зміна розміру зерна, непаралельність та ін.

До останнього часу найбільше широко використовувався товщиномір УТ-93П, та й у даний час він досить розповсюджений. На зміну прийшло нове покоління товщиномірів побудованих з використанням мікропроцесорної техніки, вітчизняного й імпорного виробництва. Серед приладів країн СНД можна відзначити наступні: Булат-1ПРО, Булат-1М, УТ-111,ТУЗ-1. Вони відрізняються прийнятними характеристиками і більш низькою ціною по

порівнянні з товщиномірами країн далекого зарубіжжя. Наприклад, товщиномірами компанії Stress Tel, США, таких як Т- Майк П, Т- Майк ЄС, Т- Майк ІВ.

Перспективним методом для контролю зварених рамних конструкцій є магнітопорошковий метод неруйнівного контролю. Позитивним у даного методу є те, що він дозволяє визначати як поверхневі (розкриті тріщини), так і підповерхневі дефекти (пори, жужільні включення, непровари).

Застосування запропонованої типової технології дозволить збільшити ресурс зварених конструкцій пасажирських вагонів без зниження їхньої надійності і безпеки експлуатації. Крім цього, можливий великий економічний ефект за рахунок зниження числа забракованих конструкцій по наявності в них дефектів утомленого характеру.

Важливим етапом в технології технічного діагностування елементів конструкції пасажирських вагонів, що відпрацювали свій ресурс є вибір методів неруйнівного контролю стосовно їх використання.

Попередньо необхідно визначити елементи та їх зони, діагностування яких доцільно проводити методами НК. Це обумовлено тим, що існуючі методи неруйнівного контролю, як правило, є трудомісткими, так як потребують ретельної підготовки поверхонь та зварних швів, зняття бруду та шару корозії, яка може досягати значних обсягів. Крім цього, значну трудомісткість складає процес контролю та обробки даних вимірювань. Визначення таких зон можливо тільки після накопичення достатньої кількості даних по обстеженню технічного стану металоконструкції пасажирського вагона та аналізу втомлених пошкоджень їх елементів в напрямку виявлення місць їх появи та виду і розмірів внутрішніх дефектів, які є причиною появи цих пошкоджень.

Після виявлення таких зон необхідно вибрати відповідний метод неруйнівного контролю та розробити технологію по виявленню пошкоджень та дефектів стосовно до конкретної конструкції вузла чи елемента, а далі впровадити цю технологію для практичного використання.

4.3 Інформаційно-технологічне забезпечення технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, що вичерпали ресурс

Структурно-функціональна побудова інформаційної системи пасажирського господарства повинна відповідати моделі глобальної інформаційної мережі з трьома рівнями ієрархії і складатися з трьох підсистем (рисунок 4.3):

Рисунок 4.3 — Структура інформаційної системи пасажирського господарства

Підсистема пасажирського вагонного депо (ЛВЧД) має найнижчий рівень ієрархії в системі і призначена для управління експлуатаційною роботою, процесами ремонту і обслуговування пасажирських вагонів в межах одного підприємства. Підсистема повинна передбачати:

- * облік виконаної експлуатаційної роботи приписного парку пасажирських вагонів;
- * облік виконаної роботи по ремонту і обслуговуванню пасажирських вагонів;
- * врахування витрат ресурсів на виконання експлуатаційної і ремонтної роботи;
- * введення і зберігання інформації про технічний стан приписного парку пасажирських вагонів;
- * введення і зберігання інформації про споруди, обладнання і ін. облаштування деповського господарства;
- * виконання задач аналітичного і прогностичного характеру, що забезпечують прийняття оптимальних управлінських рішень при організації ремонту і експлуатації пасажирських вагонів.

Підсистема ЛВЧД, в загальному випадку, повинна бути повністю автономною, а для обміну інформацією з'єднуватися з базовою підмережою ЦІ УЗ на рівні або серверу ІОЦ залізниці, або серверу залізничного вузла, в залежності від конкретного розташування апаратних засобів.

В системі повинно бути передбачене виконання наступних функцій:

- * управління роботою приписного парку пасажирських вагонів і поїзних бригад у процесі перевезень;
- * облік перевізної роботи приписного парку;
- * оцінка якості і рівня безпеки виконання перевізної роботи;
- * оцінка технічного стану приписного парку;
- * управління технологією ремонту пасажирських вагонів;
- * управління матеріально-технічним постачанням і складський облік;
- * загальне адміністрування (управління кадрами, бухгалтерські функції, взаємозв'язок з зовнішніми організаціями і т.п.).

Пасажирські вагонні депо повинні мати технічні і технологічні групи, що забезпечують обслуговування технічних засобів системи або відповідні договори на виконання таких робіт з сторонніми організаціями.

Припускається поетапна організація функціонування системи. Першочерговим вважається етап введення в дію підсистеми пасажирського вагонного депо для чого визначити по кожній залізниці одне (або декілька) базових депо для відпрацювання технічних і програмних рішень по наступних напрямках:

- * робота з диспетчерським центром управління роботою депо – робоче місце чергового по депо;
- * оперативне управління роботою пасажирських вагонів і поїзних бригад – робочі місця чергового по депо, нарядчика бригад, старшого нарядчика;
- * розрахунок заробітної плати, кадри – робочі місця нарядчика бригад, групи обліку, бухгалтерії, кадрів;

- * автоматизовані пости діагностики і стенди – робочі місця ремонтних дільниць, ЛПТО;
- * робота технологів – робочі місця відділу технологів;
- * керівництво депо - робочі місця начальника депо, заст. начальника депо, інструкторів;
- * матеріально-технічне постачання – робочі місця працівників складів;

По мірі введення в експлуатацію робочих місць депо виконувати розробку і впровадження програмного забезпечення підсистем Л і ЦД.

Порядок взаємодії персоналу при функціонуванні системи повинен визначатися тимчасовими або постійними інструкціями, що розробляються на етапі впровадження програмних засобів.

Перехід на автоматизований контроль технічного стану парку пасажирських вагонів здійснюється після відповідних організаційно-технічних заходів, монтажу необхідного комплексу технічних засобів, організації каналів зв'язку встановлення й налагодження програмного забезпечення.

Автоматизований контроль визначає порядок обліку, планування та контролю усунення несправностей пасажирських вагонів при поточному відчипному та без відчипному ремонтах.

Структурна схема технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, які вичерпали ресурс, наведена на рисунку 4.4.

Упровадження автоматизованого контролю технічного стану пасажирських вагонів, які вичерпали ресурс, спрямовано на:

- формування наряд-завдань на ремонт вагонів в пункті формування поїздів;
- оперативний контроль і аналіз усунення несправностей ремонтними бригадами в пасажирських вагонах в експлуатації;
- статистичний аналіз повторюваності несправностей та їх усунення в заданому інтервалі часу;
- створення бази даних для оцінки надійності вагонів;
- вдосконалення системи планово-попереджувального ремонту.

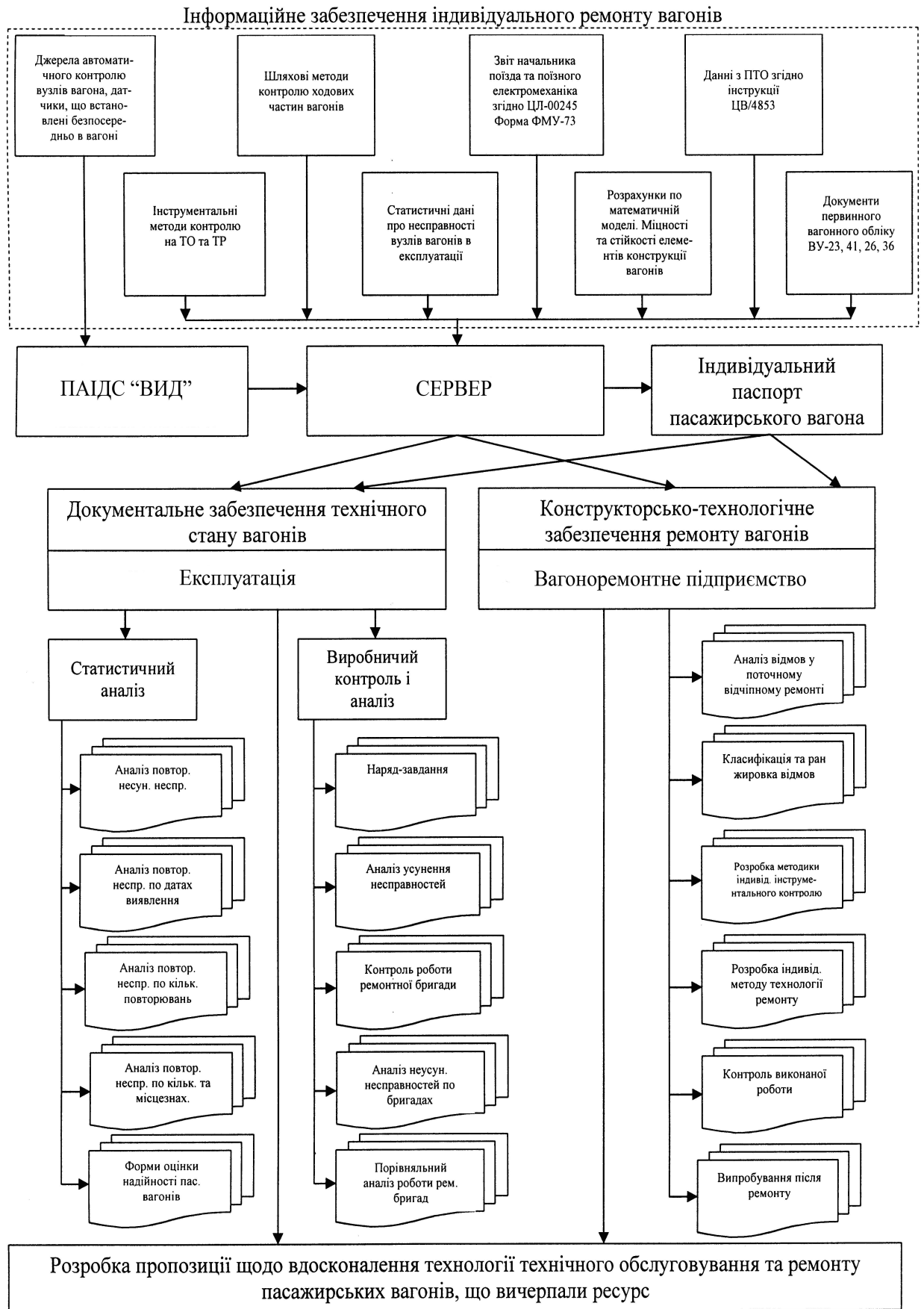


Рисунок 4.4 – Структурна схема системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, які вичерпали ресурс

При впровадженні автоматизованого контролю технічного стану пасажирських вагонів, які вичерпали ресурс, передбачається перехід з ручного ведення форми № 4 “Дефекти та пошкодження, які повинні бути усунені у пункті формування” та № 5 “Усунення дефектів та пошкоджень”, передбачених “Керівництвом з технічного обслуговування обладнання пасажирських вагонів ЦЛ-0025” на автоматично сформовані форми “Наряд-завдання на усунення несправностей” (Додаток Е рисунок Е.1) та “Відомість усунення несправностей” (Додаток Е рисунок Е.2) відповідно.

В експлуатації можливі випадки пошкодження й надмірного зносу деталей, проявлення дефектів виготовлення, що можуть викликати порушення нормальної дії систем та елементів конструкції пасажирських вагонів. Інформаційно-технологічне забезпечення технічного обслуговування та ремонту вагонів, які вичерпали ресурс, представлено у вигляді структурної схеми (див. таблицю 4.4)

Таблиця 4.4 – Інформаційно-технологічне забезпечення технічного обслуговування та ремонту вагонів, які вичерпали ресурс

Код системи	Найменування системи	Код підсистеми	Найменування підсистеми (конструкції)
1	2	3	4
1000-1499	Колісні пари та буксовий вузол	1000-1099	Поверхня катання колісної пари
		1100-1199	Диск колісної пари
		1200-1269	Вісь колісної пари
		1270-1349	Буксовий вузол
1500-1999	Приводи генераторів	1500-1529	Шків
		1530-1579	Редуктори
		1580-1699	Установка приводу
		1700-1749	Запобіжні пристрої
		1750-1839	Карданні й приводні вали
		1840-1879	Натяжний пристрій ТРКП, ТК
		1880-1929	Муфти
2000-2499	Гальмове обладнання	2000-2089	Гальмівні прилади й арматура
		2090-2159	Магістраль і резервуари
		2160-2189	Ручне гальмо
		2190-2279	Важільна передача
		2280-2359	Гальмівне підвішування

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
2500-2999	Візки	2500-2549	Настановні розміри
		2550-2569	Рама
		2570-2709	Центральне підвішування
		2710-2779	Надбуксове підвішування
		2780-2869	Гасильники коливань
3000-3499	Автозчпний пристрій	3000-3039	Настановні розміри
		3040-3089	Корпус автозчепу
		3090-3219	Механізм автозчепу
		3220-3289	Вузол тягового хомута
		3290-3349	Розчпний привід
		3350-3389	Вузол поглинаючого апарату
		3390-3449	Центруючий прилад
3500-3999	Кузов, буферні та перехідні пристрої	3500-3599	Кузов і дах
		3600-3689	Вхідні пристрої
		3690-3789	Буферні пристрої
		3790-3899	Безбуферні пристрої й перехідні площадки
4000-4999	Система водопоста- чання і санітарно- технічні пристрої	4000-4089	Трубна розводка
		4090-4189	Запірні пристрої (вентилі, крани)
		4190-4329	Питний вузол кип'ятильника
		4330-4389	Питний вузол охолоджувача
		4390-4439	Баки
		4440-4499	Бойлер
		4500-4569	Зливи (зливні труби й патрубки)
		4570-4749	Санітарно-технічні пристрої
5000-5999	Система опалення	5000-5089	Котел, розширювач, колектор
		5090-5199	Трубне розведення, батареї
		5200-5249	Насоси
		5250-5399	Запірні пристрої
		5400-5439	Загальні несправності
6000-6999	Внутрішнє обладнання	6000-6119	Віконне заповнення
		6120-6229	Двері й дверне заповнення
		6230-6329	Замки дверні
		6330-6459	Дивани й полиці
		6460-6519	Крісла
		6520-6569	Столи
		6570-6599	Перегородки й стіни
		6600-6699	Підлога й стеля
		6700-6749	Вбудовані меблі
		6750-6789	Сміттєві шухляди
6790-6899	Фурнітура та інше обладнання		
7000-7999	Електрообладнання	7000-7129	Генератор
		7130-7249	Акумуляторні батареї
		7250-7279	Опір ізоляції
		7280-7409	Освітлення
		7410-7479	Спеціальні й службові споживачі
		7480-7509	Перехідне опалення

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
7000-7999	Електрообладнання	7510-7589	Регульовальна та захисна апаратура
		7590-7669	СКНБ
		7670-7769	Шафа і пульта керування
		7770-7819	Шафа розподільна
		7810-7909	Запобіжники
		7910-7929	Інші споживачі
		7930-7959	Енергопостачання
8000-8999	Кондиціонування повітря, високовольтне опалення, холодильне, теле-радіо обладнання	8000-8169	Високовольтне опалення
		8170-8399	Кондиціонування повітря
		8400-8499	Холодильне обладнання
		8600-8799	Теле-радіо обладнання
9000-9999	Організаційно-технічні та сервісні порушення	9000-9149	Організаційно-технічні порушення
		9150-9299	Санітарно-епідемічні порушення
		9300-9499	Порушення фарбування

Дані про порушення і несправності пасажирських вагонів в експлуатації фіксуються провідниками вагонів, поїзними електромеханіками на шляху прямування в журналі форми ВУ-8, виписка з якого передається начальнику поїзда.

Перелік основних несправностей і порушень представлений в класифікаторі “Основні несправності і порушення в експлуатації пасажирських вагонів”.

Начальник поїзда заповнює зведену “Відомість дефектації пасажирських вагонів” (Додаток Е рисунок Е.3) з закодованими несправностями по поїзду в 2 - х екземплярах. Після прибуття поїзда до пункту формування начальник поїзда здає відомість дефектації оператору ПТО або РЕП.

Оператор ПТО (РЕП) реєструє надходження дефектації в журналі реєстрації із зазначенням дати, часу задрі й прізвища НП, і вводить дані відомості дефектації в ЕОМ.

На прибутий поїзд ОВР після огляду та виявлення несправностей ходових частин, що усуваються при поточному безвідчипному ремонті, складають відомість дефектації та здають її оператору ПТО (РЕП), заносять дані щодо ходових частин в ЕОМ, Надходження відомості дефектації оператор реєструє в журналі реєстрації із зазначенням дати, часу й прізвища ОВР.

Старші майстри, майстри (бригадири) ремонтних дільниць, ОВР одержують “Наряд-завдання на усунення несправностей” з ЕОМ, що встановлена у відповідній дільниці, відповідно до графіка часу подачі поїздів на колії РЕП. Вихідний документ “Наряд-завдання на усунення несправностей” формується по зазначених номеру поїзда та специфікаціям ремонтних бригад. У ньому відображається пред’явлені бригаді несправності по номерам вагонів та зонах їх виявлення із зазначенням дати виявлення.

У випадку затримки часу подачі поїздів на колії РЕП одержання наряд-завдань на усунення несправностей здійснюється після оголошення оператора РЕП.

Після проведення ремонтних робіт наряд-завдання здаються змінним майстрам ремонтних дільниць із позначками щодо виконаних робіт чи причин неусунення несправностей, котрі зберігаються упродовж 3-х місяців у спеціальній папці.

Робітники, що відповідають за ремонт ходових частин, здають наряд-завдання чи повідомляють рацією оператору РЕП про виконання ремонтних робіт. Оператор РЕП відзначає в журналі реєстрації видачі наряд-завдань дату й час закінчення усунення несправностей і прізвище відповідального за ремонт.

Перед відправленням поїзда, НП перевіряє усунення заявлених несправностей вагонів, робить зазначення про виконані роботи і здає другий екземпляр відомості дефектації оператору ПТО (РЕП).

Оператор ПТО (РЕП) реєструє надходження відомості дефектації перед відправленням поїзда в журналі реєстрації з указівкою дати, часу й прізвища НП і вводить дані в ЕОМ.

На підставі введеної інформації щодо усунутих несправностей НПТО, старші майстри, майстри (бригадири) ремонтних дільниць, відповідальні за підготовку поїзда у рейс, проводять аналіз якості ремонту й ТО вагонів через одержання з ЕОМ наступних даних:

- аналіз усунення несправностей;
- контроль роботи ремонтних бригад;
- аналіз повторюваності несправностей.

У разі відсутності ЕОМ на робочих місцях майстрів одержання довідок аналізу якості ремонту вагонів виконує оператор РЕП із передачею їх майстрам ремонтних дільниць.

Вихідний документ “Аналіз усунення несправностей” відображає інформацію про усунення несправностей на зазначеному вагоні (вагонах) у пункті формування поїздів. Стосовно усунених несправностей відображається прізвище керівника ремонтної бригади, щодо неусунених – дата неусунення. Окремо підраховується загальна кількість несправностей, що пред’явлені, усунені та тих, що залишились.

Вихідний документ “Контроль якості ремонтних бригад” формується за зазначений користувачем період часу, за номером поїзда, видом робіт та прізвищем керівника ремонтної бригади. В ньому відображаються несправності, що пред’явлені зазначеній бригаді в цей період, по номерах вагонів із зазначенням їх кількості та кількості усунених несправностей. Окремо підраховується загальна кількість пред’явлених несправностей та тих, що усунені.

Вихідний документ “Аналіз повторюваності несправностей” формується за зазначений користувачем період часу і відповідно до місцезнаходження вагонів (поїзд, станція, станційні колії), з вибіркою по визначених групах несправностей. Довідка формується лише за тими несправностями, що регулярно повторюються, із зазначенням дати першого виявлення та кількості повторювань.

Якщо при огляді вагонів були виявлені порушення чи несправності, що вимагають поточного відчипного ремонту, ОВР випишують повідомлення ф. ВУ-23М у 2-х примірниках. Порушення і несправності заносяться і кодуються у ф. ВУ-23М на підставі класифікатора “Основні несправності й порушення в експлуатації пасажирських вагонів”, причому, їхня кількість при введенні в ЕОМ не лімітується. ОВР повідомляють про необхідність відчеплення вагонів у ПР начальнику ПТО і майстру з формування поїздів.

Майстер з формування поїздів відповідно до отриманого повідомлення на ремонт вагонів ф. ВУ-23М формує наряд на маневрові роботи й організує подачу вагона на ремонтні колії.

Оператор ПТО вводить отримані дані ф. ВУ-23М у комп'ютер, де вони накопичуються у масиві “Номерного обліку наявності несправних вагонів пасажирського парку”, ф. ВУ-30.

Після подачі на ремонтно-експлуатаційні колії, оператори РЕП передають дані про необхідний ремонт бригадами ремонтних дільниць і старшому ОВ поточного відчіпного ремонту.

Старший ОВ зміни поточного відчіпного ремонту виписує повідомлення про завершення ремонту ф. ВУ-36 із зазначенням часу початку й закінчення ремонту по кожному забракованому вагону.

Уся інформація з первинних форм (ВУ-23М, ВУ-36) накопичується у масиві номерного обліку наявності ремонту несправних вагонів, де зберігається не менше циклу між капітальними ремонтами.

На підставі даного масиву формується документ “Довідка про залишок несправних вагонів у поточному ремонті”. Цей документ містить дані щодо номера вагона, його місцезнаходження, дату наряду (дату подачі в дане місцезнаходження), вид останнього ремонту, дату останнього ремонту, дату й час зарахування до ремонту, найменування несправностей та місце бракування.

Для оцінювання своєчасного виконання безвідчіпного та відчіпного ремонтів пасажирських вагонів, які вичерпали ресурс, формується документ “Відомість усунення несправностей і порушень, виявлених у поїзді”. Він містить дані щодо номера вагона, номера вагона за схемою, найменування обладнання або елемента конструкції, найменування пред'явлених до усунення несправностей, зони виявлення несправності, документу бракування (первинного документу, в якому зафіксована дана несправність), відомості про відповідального виконавця, за яким закріплено усунення несправності та відмітки про виконання.

Якщо при огляді пасажирських вагонів, які вичерпали ресурс, виявлена необхідність відправлення їх у плановий ремонт чи ТО-3, оглядач вагонів зазначає у формі ВУ-23М причину бракування відповідно до підрозділу “Організаційно-технічні порушення” класифікатора. Бракування за пробігом здійснюється ОВР на підставі довідки оператора ПТО щодо пробігу вагонів поїзда, який підлягає огляду.

Для більш повного уявлення функціональної структури та документообігу депо були розроблені графічні представлення цих процесів. Після аналізу існуючої структури взаємодії облікових та звітних форм, які існують у пасажирському депо, були виділені об'єкти інформаційного середовища.

Визначені наступні основні виробничі функції робітника технічного відділу пасажирського депо:

- 1 Контроль креслень деталей, вузлів, виробів на технологічність.
- 2 Організація врахування і ведення звітності виконання плану технологічної підготовки виробництва і видавання технологічної документації до виробництва.
- 3 Укладання місячних, кварталних і річних звітів про виконання заходів організаційно-технічного плану, звітів та виконанню планів по новій техніці, зниженню трудомісткості та інших звітів, що відносяться до діяльності відділу.

Виходячи з того, що комплекс програм для ЕОМ повинен відповідати міжнародним стандартам на продукцію такого типу для початку треба змоделювати інформаційне середовище, абстрагуючись від конкретних питань.

Формування інформаційного середовища здійснюється шляхом створення систем баз даних і знань, відповідних реальному стану подій технологічного процесу роботи галузі, для забезпечення необхідною інформацією об'єктів, органів управління і окремих користувачів послуг залізничного транспорту. Архітектура інформаційної середовища проектується згідно структури комплексів інформаційних технологій.

Під інформаційним середовищем пасажирського господарства будемо розуміти

де $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ — множина об'єктів інформаційної середовища;
 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_\mu\}$ — множина характеристик, якими описуються об'єкти $w_j, j=$

;

$K = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_\nu\}$ — множина характеристик, по яким ведеться стеження за інформаційним середовищем і виробляється оцінка інформаційних ситуацій.

При цьому об'єкти $w_j \in W$ поділяються на k різноманітних типів, згідно з чим множину W можна розглядати

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_q, \dots, W_k\}, \quad (4.18)$$

де W_q — множина об'єктів q -го типу, .

Введемо дискретний час (такти) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_\eta\}$. Кожна характеристика u_ζ конкретного об'єкту w_j до моменту t_i приймає певне значення $u_\zeta(t_i)$, що лежить на відрізку $[\sigma_1, \sigma_2]$ можливих значень даної характеристики. Таким чином, до моменту t_i об'єкт може бути описаний вектором

$$w_j(t_i) = \{y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{j\mu}\}, \quad (4.19)$$

де $\mu' \leq \mu$.

Пропонується нами опис класу K_2 по своєму складу найбільш близько до інформаційної моделі АРМ, що пропонується.

Клас характеризується поєднанням класифікаційних ознак

. Описи цього класу називаються технологічними динамічними описами процесу переробки інформації в рамках підприємства, системи виробництва і управління, інтегрованої АСУ. Найбільш зручною формою подання інформації в рамках підприємства таких описів є простий граф. Засобами такого відображення повинен з'явитися взаємозв'язок компонентів прикладного ПЗ.

Побудова програмної системи можлива в наступних варіантах:

- а) монолітна побудова (програма написана без виділення будь-яких незалежних частин);
- б) монолітно-блочна побудова (є достатньо більша монолітна головна частина програми, в якій відбуваються основні дії по обробці даних і з якої відбуваються послідовні обертання до підлеглих блоків);
- в) послідовно-блочна побудова (програма складається з послідовно виконуваних блоків);
- г) ієрархічна побудова (програма складається з блоків, зв'язки яких підкоряються точній ієрархії: кожен модуль може, як правило, обертатися тільки до модулів, що йому безпосередньо підпорядковані);
- д) блочно-хаотична побудова (програма складається з блоків, з'єднаних між собою без будь-якої видимої системи).

Найбільш технологічними видами структур програм є послідовно-модульна і ієрархічна структури, складені з нормалізованих блоків переробки інформації (БПІ) і зв'язків. Ієрархічна структура програмного комплексу характеризується сопідлеглістю програмних блоків, що входять в програмний комплекс: є головний блок, що активізує наступний рівень ієрархії у відповідності з алгоритмом, що реалізуються. Програмні блоки, підлеглі головному БПІ, активізують наступний рівень ієрархії і т.д. Структуру програмного комплексу доцільно представляти в вигляді графа, що відображає взаємозв'язки БПІ, інформаційних масивів,

крапок діалогу, вхідних і вихідних документів.

Склад та структура опису. Основними компонентами опису є елементи множин:

— блоків переробки інформації;

$M = \{m_1, m_2, \dots, m_i\}$ — інформаційних масивів;

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ — точок діалогу;

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ — вхідних документів;

$V = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ — вихідних документів;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l\}$ — параметричних зв'язків між елементами множин R, M, C, D та V .

Оскільки опис, що розглядається, відображає процес переробки інформації, що розвивається у часі, що задається на рахувальній множині, а число компонент опису звичайно, воно може бути віднесене до розряду кінцевих динамічних систем. Найбільш зручним засобом опису динамічних систем є графи.

Графом $G(A, B)$ будемо називати множину, що містить елементи двох типів: вершини, або крапки, що складають множину A , і дуги, або ребра, що складають підмножину B , що є відображенням A в A , бо кожна дуга (ребро) графа обов'язково з'єднує між собою дві різні вершини графа або одну вершину графа саму з собою.

В нашому випадку вершини графа являють собою елементи множин R, M, C, D і V , а дуги — параметричні зв'язки L . Розгляд технологічного графа почнемо з узагальненого графа інформаційно-технологічного процесу (ІТП) — графа g_i , наведеного на рисунок 4.5 Граф g_i відображає процес переробки інформації, що міститься в вхідних документах (D') і інформаційних масивах (M'). Засобом переробки інформації служать БПІ (R'), до яких для об'єднання творчих можливостей людей і алгоритмізованих можливостей ІТ під'єднуються точки діалогу (C'). Результат переробки інформації — вихідні документи (V'). Перерахуємо властивості графа g_i .

Розглядуваний граф є:

—орієнтованим, або діграфом, оскільки він містить тільки направлені дуги ;

—незв'язним, бо не кожному його вершину можна з'єднати з будь-якою іншою його вершиною;

—несиметричним, оскільки в ньому не обов'язково будь-які дві суміжні вершини з'єднані двома протилежно орієнтованими дугами;

—неповним, бо в ньому не будь-яка пара вершин з'єднана однаковим числом дуг;

—мультиграфом, оскільки в ньому хоча б дві суміжні вершини з'єднані більш ніж однією дугою.

Рисунок 4.5 — Узагальнений граф інформаційно-технологічного процесу

У відповідності з визначенням граф r_i записується в вигляді $r_i(V', L')$, де V — позначка множини вершин графа.

Відповідно $V' = \langle D', \dots, M', C', B' \rangle$.

Опис класу K_2 створюється шляхом послідовного об'єднання графів ІТП. Операція об'єднання двох графів C_1 і C_2 записується наступним образом:

$$C(A, B) = C_1(A_1, B_1) \cup C_2(A_2, B_2), \quad (4.20)$$

де $C(A, B)$ — об'єднання вхідних графів C_1 і C_2 . Нижче приводяться два правила, по яким визначається об'єднання C двох графів C_1 і C_2 .

Вершинами графа $C(A, B)$ є об'єднання вершин вхідних графів $C_1(A_1, B_1)$ і $C_2(A_2, B_2)$, тобто $A = A_1 \cup A_2$.

Відображення для кожної вершини графа $C(A, B)$ одержуються шляхом об'єднання відображення тієї же вершини для вхідних графів $C_1(A_1, B_1)$ і $C_2(A_2, B_2)$, тобто $B_{ai} = B_{1ai} \cup B_{2ai}$.

Вираження для отримання графа, що відображає сукупність ІТП підприємства, запишемо в вигляді

$$R(V, L) = \dots, \quad (4.21)$$

де $V = \langle D, R, M, C, B \rangle$.

На рисунку 4.6 зображений фрагмент графа $R(V, L)$. Для спрощення параметричного зв'язку (елементи множини L) на малюнку не пронумеровані. Можна вважати, що на зображеному фрагменті графа знайшли відображення три ординатних ІТП: $r_1(V^1, L^1)$, $r_2(V^2, L^2)$ і $r_3(V^3, L^3)$. Причому

$$V^1 = (d_1, \dots, m_2, c_2, b_1); V^2 = (d_2, \dots, m_1, c_n, b_2); V^3 = (\dots, \dots, m_1, c_1, \dots). \quad (4.22)$$

Для опису розглянутих графів доцільно використати звичайну матрицю суміжності.

Матрицею суміжності графа $R(V, L)$ будемо називати квадратну матрицю V з n рядками і n стовпцями, в які елементи V_i^j , що стоять на пересіченні i -го рядка і j -го стовпця, чисельно рівні кількості дуг графа, що ідуть з i -ї вершини до j -ї вершини. Для графа, зображеного на рисунку 4.6, матриця суміжності (з урахуванням тільки вершин, зображених на рисунку) має вигляд, наведений в таблиці 4.5.

Рисунок 4.6 — Фрагмент графа сукупностей інформаційно-технологічних процесів

Така форма опису графа найбільш зручна для нескладних графів (з числом вершин не більш 50), для автоматизованої переробки описів більш зручним є алгебраїчне (облікове) подання графів. При обліковому поданні приводяться позначка вершини і список відповідних їй суміжних вершин. Для графа, наведеного на рисунку 4.3 одна з форм запису має вигляд $d1 ()$, $d2 ()$, $()$, $m1 ()$, $m2 ()$, $m1 ()$, $c1 ()$, $c2 ()$, $c_n ()$, $(m_1, c_1,)$, (m_2, c_2, b_2) , (m_1, c_n, b_2) . Для вигоди вершини нумеруються.

Таблиця 4.5 — Матриця суміжності фрагменту графа сукупностей інформаційно-технологічних процесів

i	j												
	m_1	m_2	m_l	c_1	c_2	c_n				b_1	b_2	b_k	
d1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
d2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
dm	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
m1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

m2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
m1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
c2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
cn	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3
	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3
	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	—

Одним з прикладів застосування інформаційно-технологічного процесу пасажирських вагонів являє собою поїзна автоматизована інформаційно-діагностична система.

Поїзна автоматизована інформаційно-діагностична система (ПАІДС) «ВИД» дозволяє здійснювати оперативний контроль поїзного устаткування. Результати контролю відображаються на екрані дисплея, запам'ятовуються в базі даних, видаються у виді документа. ПАІДС «ВИД» встановлюється в пасажирських потягах, укомплектованих вагонами, що містять шафи розподільні системи автоматизованого керування, контролю і діагностики електроустаткування пасажирського вагона (ШР САККД ПВ) і вагонами-автомобілевозами, що містять шафи розподільні для керування і діагностичного контролю вузлів вагона-автомобілевоза (ШР УДК).

За допомогою даної системи з'явилася можливість здійснювати:

- 1 збір, обробку і відображення в реальному режимі часу інформації про технічний стан устаткування вагонів;
- 2 діагностування стану устаткування;
- 3 автоматичне визначення кількості вагонів у складі потяга;
- 4 визначення місце розташування і швидкість потяга шляхом використання системи глобального позиціонування;
- 5 облік спожитої електроенергії;
- 6 контроль наробітку і пуску виконавчих механізмів;
- 7 керування системами вагона-автомобілевоза;
- 8 керування інформаційними табло;
- 9 ведення бази даних;
- 10 виконання функцій «чорного ящика»;
- 11 складання звіту про роботу систем вагонів і потяга в цілому;
- 12 передачу в реальному режимі часу всієї інформації в наземні служби через систему бездротового зв'язку.

Структурно система «Вид» складається з двох рівнів.

Верхній рівень містить у собі персональний комп'ютер (ноутбук), що входить в АРМ начальника потяга і встановлений у його штабному вагоні, нижній — промислові контролери, що входять у ШР САККД ПВ, БКС і ШР УДК, що встановлені у всіх контрольованих вагонах. Взаємодія персонального комп'ютера з контролерами здійснюється по міжвагонній мережі RS-485, прокладеної уздовж потяга, а взаємодія АРМ із приймачем - через RS-232.

І ноутбук, і промислові контролери оснащені програмами, що дозволяють їм обмінюватися по мережі. Користувач ПАІДС «ВИД» працює з ноутбуком. Його запити і вимоги передаються промисловим контролерам, кожний з яких збирає інформацію про той

вагон, де він встановлений і передає її в ноутбук. Крім цього, додаткова інформація може бути отримана ноутбуком від пристроїв, якими він додатково оснащується (наприклад, від системи позиціонування).

Отримана інформація аналізується в ноутбуку. Її обсяг дозволяє оцінити стан електроустаткування усіх пасажирських вагонів і потяга в цілому. Первинна інформація і результати аналізу відображаються на екрані дисплея ноутбука. Якщо виникла аварійна ситуація, то видається повідомлення і лунає звуковий сигнал, що може бути припинений, тільки якщо користувач системи ознайомився з повідомленням. Уся необхідна інформація запам'ятовується в базі даних ПАІДС «ВИД». За результатами роботи видається звіт.

4.4 Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів, що вичерпали ресурс

На даний час прийнята планово-попереджувальна система ремонту пасажирських вагонів для яких не закінчився строк служби не може бути застосована для вагонів з продовженими строком служби, по багатьом відомим причинам. Вихід на сьогоднішній день один, це змінити систему життєзабезпечення пасажирського вагона. По-перше необхідно відмовитися від традиційних строків і видів ремонту пасажирських вагонів, а по-друге – від старих методів відновлення.

У відповідності з діючою системою пасажирські вагони відбираються в ремонт по досягненні встановленого строка служби. В результаті пасажирські вагони які надходять в ремонт мають різний технічний стан, що викликає труднощі в організації їх ремонту. Частина цих вагонів ще може знаходитися в експлуатації без ремонту, частина потребує ремонту, а деякі по технічному стану підлягають виключенню із інвентарного парку.

Таким чином, в існуючих умовах найбільш ефективною і економічною буде система ремонту орієнтована на кожен конкретний пасажирський вагон в залежності від його технічного стану, тобто система, яка дозволяє відбирати до ремонту тільки ті пасажирські вагони, ресурс яких вичерпаний. Як строки поставки в ремонт, так і методи відновлення повинні бути індивідуальні – по технічному стану.

В цілому концепція ремонту «по технічному стану» повинна базуватися на діагностиці стану пасажирських вагонів до їх надходження в ремонт, своєчасній постановці в ремонт, додатковій діагностиці в ремонтних депо, оцінці ПЕОМ залишкової міцності кузовів пасажирських вагонів, виборі технології, яка забезпечує необхідну якість відновлення, визначення об'єму та вартості робіт.

У відповідності з запропонованою концепцією усі пасажирські вагони, які поступають в ремонт в обов'язковому порядку проходять діагностику для оцінки їх технічного стану. Потім проводиться розрахунок кузова на міцність, який дозволяє встановити напружений стан кожного елемента конструкції.

Елементи у яких напруження близькі або перевищують допустимі, рахуються таким які досягли граничного стану за умов міцності.

Для повздовжніх елементів кузова (нижня обв'язка, гофри бокової стінки та настилу підлоги) проводяться розрахунки на стійкість і виявляються ті з них, які досягли граничного стану за умов стійкості.

Таким чином, запропонований метод дозволяє визначати граничний стан (товщину поперечного перерізу) кожного елемента металоконструкції кузова в загальній системі, керуючись умовами міцності та стійкості.

Критерій або сукупність критеріїв граничного стану виробу звично встановлюється нормативно-технічною та конструкторською документаціями. Так, граничні значення корозійного зношення елементів рам і кузова пасажирського вагона – 30% від їх номінальної товщини, яке встановлено нормативними документами. Проте, ця величина не являється достатньо обґрунтованою, так як елементи кузова мають різний напружений стан, а корозійні процеси на різних ділянках кузова протікають з різною швидкістю, таблиці 4.6, 4.7,

Таблиця 4.6 – Швидкість розповсюдження корозії по елементам кузова пасажирського вагона

Елементи кузова вагона	Розташування дільниць по довжині вагона	Тривалість експлуатації вагона, роки	Швидкість розвитку корозії, мм/рік
Внутрішня поверхня підлоги і нижнього пояса обшивки бокових стін	Середина	10	0,15
	Консоль	8	0,25
	Зона туалета	4	0,30
Внутрішня поверхня середнього та верхнього поясів обшивки бокових стін	Середина	14	0,07
	Консоль	14	0,07
	Зона туалета	12	0,10
Внутрішня поверхня торцевих стін в нижній частині		6	0,2
Внутрішня поверхня криші	По всій довжині вагона	16	0,07

Таблиця 4.7 – Швидкість корозії елементів кузова вагонів

Частина кузова	Швидкість корозії, мм/рік	Термін служби покриття, роки
Підлога:		
туалета	0,40-0,50	3-6
консольної частини кузова	до 0,4	4-7
середньої частини кузова	до 0,25	6-10
Нижній пояс боковини:		
консольної частини кузова	до 0,30	4-8
середньої частини кузова	до 0,15	4-8
Верхній пояс бокової стіни:		
консольна частина кузова	0,08	6-12
середня частина кузова	0,08	6-12

Таблиця 4.8 – Швидкість корозії елементів кузова вагонів

Частина кузова	Швидкість корозії, мм/рік	Термін служби покриття, роки
Внутрішня поверхня підлоги та нижнього пояса бокової стіни:		
середина вагона	0,15	10
консольна частина вагона	0,25	6
зона туалетів	0,30	4
Внутрішня поверхня середнього і верхнього поясів бокової стіни:		
середина вагона	0,07	14
консольна частина вагона	0,07	14
зона туалетів	0,10	12
Внутрішня поверхня торцевих стін в нижній частині	0,20	6
Внутрішня поверхня криші	0,07	16

Механічні і корозійні пошкодження на момент обстеження, що усуваються в процесі ремонту, кваліфікуються в залежності від їх виду, місця знаходження, характеру розвитку, розмірів та інших факторів, а також можливості їх усунення при тому чи другому виді ремонту. При цьому, механічні і корозійні пошкодження повинні бути в обов'язковому порядку усунуті у відповідності з діючими "Керівництвами по ремонту" і встановленою технологією ремонту. При цьому, для основних несучих елементів металоконструкцій кузова, рами та надресорного бруса візка повторний ремонт тріщин втомленого характеру не допускається.

Доцільність ремонту пасажирських вагонів з пошкодженнями визначається в залежності від технічної можливості відновлення необхідної несучої здатності металоконструкції кузова, рами та надресорного бруса візка, а також обсягу необхідних ремонтних робіт.

При виборі критеріїв відмов чи граничного стану приймаються такі показники технічного стану пасажирського вагона та його ходових частин, які не забезпечують безпеку руху створюють загрозу життю здоров'ю пасажирів і обслуговуючому персоналу, не забезпечують зберігання їх майна, охорону навколишнього середовища. В цих випадках забороняється включення таких пасажирських вагонів до потягу. Критерії такого стану встановлюються на базі накопиченого досвіду, а також на базі раніш виконаних досліджень в даному напрямленні, з урахування рекомендацій наведених в [1-20, 37, 38].

Критерієм граничного стану профільних несучих елементів металоконструкції рами (хребтової, бокових чи подовжніх і поперечних балок, розкосів) є їх корозійний знос більш ніж на 30% від площі поперечного перерізу чи окремих їх складових частин (горизонтальних полиць чи стінок) більш 50% від товщини на ділянці довжиною більш 500 мм.

Критерієм граничного стану профільних несучих елементів рами і надресорного бруса візка є їх корозійний знос більш ніж на 30% від площі поперечного перерізу, але не більше 50% від товщини їхній складових частин (горизонтальних полиць чи стінок).

Граничним станом металевої обшивки кузова пасажирського вагона є її корозійний знос більш ніж на 50% від товщини на площі понад 65% від загальної поверхні обшивки пасажирського вагона.

Забороняється використання рами візка з залишковим прогином у горизонтальному і вертикальному напрямках подовжніх і поперечних балок більш 10 мм, а також із пропелерністю рами більш 6 мм і надресорного бруса більш 3 мм.

Підлягають виключенню з інвентарю пасажирські вагони, що вимагають заміни однієї з наступних частин:

- одного швелера чи двотавра хребтової балки;
- двох кінцевих і двох проміжних балок рами, розташованих між кінцевою і шкворневою балкою у пасажирських вагонів без центральної хребтової балки; шкворневої балки чи консольної частини рами.

Також підлягають виключенню з інвентарю пасажирські вагони, що мають одне з наступних ушкоджень:

- відхилення від площинності (пропелерність) кузова більш 75 мм;
- відхилення від площинності (пропелерність) рами більш 200 мм по всій ширині рами;

–горизонтальний чи вертикальний залишковий прогин усіх подовжніх балок рами більш 100 мм;
 –руйнування двох бокових стін, що вимагає заміни більш 50% їх загальної площі;

–пасажирські вагони, ушкоджені при пожежі, якщо металевий кузов має прогин у середній частині більш 100 мм, бокові металеві стіни і дах мають короблення поверхні більш 30% їхньої площі;

–пасажирські вагони, ушкоджені при зіткненні, сходах, пожежах, коли вартість відновлення їх буде вище балансової вартості пасажирського вагона.

Списанню підлягають рами візків, що мають більш двох тріщин на одній балці незалежно від їхнього місця розташування напрямлення і розмірів, а також надресорні бруси з двома і більше тріщинами незалежно від місця розташування напрямку і розмірів.

Не підлягають подальшому використанню пасажирські вагони з наступними пошкодженнями:

–повне руйнування чи наявність розривів одного з вузлів з'єднання хребтової і шкворневої балок;

–наскрізна тріщина на всій площині горизонтальної полиці бокової обв'язки рами на відстані до 480 мм від краю горизонтального листа шкворневої балки до середини пасажирського вагона;

Пасажирські вагони, пошкодження чи граничний стан яких підпадають під вищенаведене визначення, підлягають (в обґрунтованих випадках) виключенню з експлуатації з наступним ремонтом і допущенням до подальшої експлуатації згідно технічного рішення чи списанню у встановленому порядку. Також підлягають списанню пасажирські вагони з пошкодженнями, близькими по характеру чи розмірам до граничних.

На основі результатів обстеження технічного стану та розрахунків міцності конструкції, на підставі вищенаведених критеріїв оцінки граничного стану були розроблені технічні рішення щодо удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту.

При цьому, при визначенні виду ремонту, що рекомендується, враховувались вид і дата попереднього ремонту, технічний стан пасажирського вагона, технічні можливості того чи іншого виду ремонту по усуненню виявлених пошкоджень та проведення модернізації. Перелік основних видів модернізації пасажирських вагонів надано в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Основні види модернізації пасажирських вагонів

Рік початку модернізації	Найменування модернізації	Тип вагона	№ТУ та № проекту модернізації
1997	Обладнання купейного вагона побудови Німеччини додатковою відкидною підніжкою	ЦМК СВ	МІ 135:07.00.00 ТУ32ЦВ 1241-79
2000	Обладнання бокових тамбурних дверей запобіжними планками зовнішніми та внутрішніми	ЦМК СВ	В 2383-00

1998	Модернізація торцевих дверей зі зменшенням віконного прорізу	ЦМК ЦМО	М 1188.04:00.000 (УМ.00.04)
1998	Підсилення стінки вугільного ящика з боку тамбура	ЦМК	0.517-20.23.00:000
1998	Підсилення кузова в котельному відділенні	ЦМК	М1258.05.01-.000
1998	Перероблення стіни котельного відділенні	ЦМК	0.317-2Г;46.00:000
1998	Заміна дверей котельного відділенні	ЦМК	0.419-22-26.00:000
1998	Заміна роздільних дверей на маятникові	ЦМК	0.48.20'Л 00.00008
1998	Переобладнання на вагоні вугільних ящиків	ЦМК	М465.00.00; М464 00СБ
1998	Модернізація перехідного пристрою пасажирського вагона	ЦМК СВ ЦМО	УМ 0035.КПКТЬ(В)
1999	Обладнання вагона типу ЦМВО-66 перехідним пристроєм (без ручного піднімання фартуха)	ЦМО	07.01.17.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд "
1999	Обладнання вагонів типів 47 К, 47 Д перехідним пристроєм (без ручного піднімання фартуха)	ЦМК	06.01.03.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд "
1999	Обладнання вагонів типу 47 К, 47 Д, ЦМВО-66 додатковою висувною підніжкою	ЦМК ЦМО	06.01.0;6.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд "
1996	Модернізація литих буферних комплектів	ЦМК ЦМО	М1564 Т32ЦВ1887-85

Продовження таблиці 4.9

Рік початку модернізації	Найменування модернізації	Тип вагона	№ТУ та № проекту модернізації
1998	Обладнання СМВ гумовими суфле і важкими буферами	ЦМК ЦМО	М317, 774...777 ТУ32 ЦВ588-75
1996	Обладнання прорізу тамбурних дверей вагона-ресторана запобіжними решітками	ЦМР	М991.18.00.000
1998	Обладнання вагонів-ресторанів комбінованим опаленням	ЦМР	МІ 164 • ТУ32ЦВ13 09-80
1998	Заміна котла СМВ на електровугільний	СВ ЦМК ЦМО	М1279ТУ32ЦВ1555-82
2000	Модернізація вагона-ресторана типу СК/К' з улаштуванням двох салонів з 27 місцями або 31 місцем, барною стійкою та плитою на газовому паливі	ЦМР	66.00:00.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2000	Модернізація вагона-ресторана типу СК/К з улаштуванням двох салонів з 27 місцями або 31 місцем, барною стійкою, екологічно чистим туалетом "Екотол-В" та плитою на рідкому паливі	ЦМР	96.00.00.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2000		ЦМР	

	Модернізація вагона-ресторана типу СК/К з улаштуванням двох салонів з 27 місцями або 31 місцем, барною стійкою, та плитою інфрачервоного випромінювання		166.00.00.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2001	Обладнання вагона типу ЦМВО-66 установкою напірного пожежогасіння	ЦМО	37.25.00.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2001	Обладнання вагона типу 47К установкою напірного пожежогасіння	ЦМК	46.25.01.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2001	Обладнання пасажирських вагонів типу 47 К акумуляторними боксами з розташуванням акумуляторної батареї на викочуваних візках з верхнім розташуванням напрямних	ЦМК	06.05.55.00.000 • 06.05.56.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2001	Установка блока керування системи кондиціонування повітря МАБ-П із заміною ртутних датчиків температури на електронні на пасажирських вагонах типу 47К	ЦМК	ХМ002.00.00.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2000	Установка плити інфрачервоного випромінювання замість плити на рідкому паливі в вагонах ресторанах типу СК/К.	ЦМР	166.28.01.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2001	Заміна механічного перемикача полярності генератора ДУГГ-28 на електронний на пасажирських вагонах типу 47/К	ЦМК	Т.Т. 102.002.00.000 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
2001	Заміна компресора тип 5 системи кондиціонування повітря на компресор 1П20Р на пасажирських вагонах типу 47К та вагонах ресторанах типу СК/К	ЦМК ЦМР	1П20РМ.0.00 ВАТ "Дніпровагонрембуд"
1997	Обладнання СМВ статичними перетворювачами люмінесцентного освітлення	ЦМК ЦМО	РП406 ТУЗ 2 ЦВ970-77
1996	Обладнання СМВ прольотними електричними магістралями напругою 3000В	ЦМК ЦМО	ТУ32ЦВ105-73 • 3010.01.00
1996	Встановлення акумуляторних батарей для освітлення вагонів	ЦМК ЦМО	Керівництво ЦЛ-0021
2001	Встановлення нового пульта керування системою електропостачання, оснащеного установкою автоматичного пожежогасіння ПУ-10.000.00	ЦМО	ПУ-10.000.00
1997	Обладнання вагона обігрівачами водоналивних труб	ЦМК ЦМО	М1244 ТУ32 ЦВ1590-82 0.317-30.03.70.000.21090
1995	Установка візків з акумуляторами типу ТНЖ на пасажирських вагонах різного типу	ЦМК ЦМО	МВ41.000, МВ59.000. ТУ32 ЦТВР473-77 ТУ32 ЦТВР660-80

Продовження таблиці 4.9

Рік початку	Найменування модернізації	Тип вагона	№ТУ та № проекту модернізації
-------------	---------------------------	------------	-------------------------------

модерніза- ції			
2000	Обладнання котельного відділення пожежним вентиляем	ЦМК ЦМО	ТУ32ЦВ2140-89 0.317-28:02.76-000
1998	Переділки знімні протипожежні під димові труби СМВ і вагонів-ресторанів	ЦМК ЦМО ЦМР	М590.00 ТУ32 ЦВ826-77 М591, М596, М609, М612, М633, М217, М229, М256, М257
2000	Установка в пультах керування вогнегасників самоспрацівних порошкових (ВСП)	ЦМК ЦМО	Лі. 0002:00.000.00 ТУ32ЦЛ00.1-94
1998	Обладнання світильників люмінесцентного освітлення пасажирських вагонів пускорегулювальними апаратами НППРА 02-20, НППРА 02-40	ЦМВ ЦМО	УМ 0067-01; УМ 0067-02 УМ 0067-03 КПКТБ по вагонах
2004	Обладнання перехідними площадками	ЦМК ЦМО	К 14.04
2004	Обладнання фановою трубою	ЦМК ЦМО	К 02.04

У зв'язку з виконанням пасажирським вагонам ремонту по технічному стану (РТС), надаються розрахунки економічної ефективності ремонту вагонів типу 47К/К та 47 Д за технологією ВАТ „Дніпровагонрембуд” у порівнянні з придбанням нових пасажирських вагонів аналогічного класу виробництва Тверського вагонобудівного заводу (Російська Федерація).

Вагон купейний з кондиціонуванням повітря типу 47К/К.

Дані для розрахунку:

- 2592700 грн. - вартість нового пасажирського вагона моделі 61-4179Е (ТВБЗ) за даними 2004 р. зі зниженням її на 71,2 тис. грн. - вартість екологічно чистих туалетів (умови для зіставлення);
- 1330240 грн. - вартість РТС пасажирського вагона 47К/К із заміною 2-х рам візків на нові (49,5 тис. грн.);
- 23 роки - термін експлуатації пасажирського вагона після проведення РТС;
- 28 років - термін експлуатації нового пасажирського вагона.

Вартість вагона після РТС і нового пасажирського вагона, приведена до 1 року експлуатації, відповідно складе 57,8 тис. грн. та 92,6 тис. грн. Тобто, вартість забезпечення одного року експлуатації пасажирського вагона після РТС становитиме 62,4% від аналогічної вартості закупленого нового пасажирського вагона.

При цьому за порівнянні кошти можливо забезпечити введення в експлуатацію майже 2-х пасажирських вагонів після РТС проти 1 нового.

Витрати на ремонт пасажирських вагонів впродовж усього терміну їх експлуатації будуть становити:

- * нового - 850500 грн.;
- * після РТС - 378500 грн. (з урахуванням збільшення міжремонтних циклів).

Середньорічні витрати на ремонт пасажирських вагонів відповідно становитимуть 30,38 тис. грн. та 16,46 тис. грн. або витрати на ремонт пасажирського вагона після РТС буде становити 54,2% від витрат на ремонт нового пасажирського вагона.

Крім того, зниження кількості ремонтів пасажирського вагона після РТС приведе до зменшення планових вилучень його з робочого парку, і впродовж 23 років цей показник становитиме 146 діб, що рівноцінно скороченню витрат коштів на 45,1 тис. грн. із

розрахунку на один рік та на один пасажирський вагон після РТС.

Загальний економічний ефект від РТС пасажирського вагона 47К/К в порівнянні із закупівлею аналогічного нового моделі 61-4179Е виробництва Тверського ВБЗ складе:

$$E = 34,8 + 13,9 + 45,1 = 93,8 \text{ тис. грн.},$$

де:

34,8 тис. грн. - різниця вартості нового пасажирського вагона та витрат на проведення РТС, приведена до одного року їх послідууючої експлуатації;

13,9 тис. грн. - різниця середньорічних витрат на проведення ремонту нового пасажирського вагона та пасажирського вагона після РТС;

45,1 тис. грн. - економія парку пасажирських вагонів за рахунок зменшення планових вилучень з експлуатаційного парку пасажирського вагона, відремонтованого в обсязі РТС з модернізацією.

За період життєвого циклу пасажирського вагона після РТС економічний ефект складе 2157 тис. грн.

Вагон купейний без кондиціонування повітря.

* 1291900 грн. - вартість капітально-відновлюваного ремонту вагона;

* 1711132 грн. - вартість нового вагона.

Вартість РТС і нового вагона, приведена до 1 року експлуатації, відповідно: 56,17 тис. грн. та 75,14 тис. грн. Але необхідно зазначити, що, починаючи з 2002 року, Тверський вагонобудівний завод не випускає пасажирські вагони, не обладнані системою кондиціонування повітря, і придбати їх неможливо.

В разі обладнання системою кондиціонування повітря купейних вагонів типу 47Д під час виконання капітально-відновлюваного ремонту, необхідно додатково придбати нові редуктор, генератор, перетворювач енергії, електророзподільну шафу, даховий кондиціонер, а також внести значні конструктивні зміни до несучих елементів пасажирського вагона. Вартість ремонту та модернізації буде становити 1719500 грн. за умови заміни рам візків на нові. При цьому вартість РТС та нового пасажирського вагона аналогічного класу, приведена до одного року експлуатації, буде відповідно складати 74,76 тис. грн. і 92,6 тис. грн., або після КВР та модернізації 82% в порівнянні із новим.

Загальний економічний ефект від проведення РТС з модернізацією складе близько 77 тис. грн. на рік у розрахунку на один пасажирський вагон.

Прогноз проведення капітального ремонту та його вартість з подовженням терміну експлуатації та модернізації приведений у таблиці 4.10

Таблиця 4.10 – Прогноз проведення капітального ремонту з подовженням терміну експлуатації та модернізації

(в млн. грн.)

	2006 рік		2007 рік		2008 рік		2009 рік		2010 рік		Разом:	
	Кіль- кість	Вар- тість	Кіль- кість	Вар- тість	Кіль- кість	Вар- тість	Кіль- кість	Вар- тість	Кіль- кість	Вар- тість	Кіль- кість	Вар- тість
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вагони пасажирські - всього в тому числі:	233	394,9	246	409,5	262	448,6	265	449,9	304	515.,1	1310	2218,1
1 Вагон РІЦ	3	6,4	1	2,1	11	23,3	8	17,0	7	14,8	30	63,6
2 Вагон СВ	10	13,7	11	15,0	10	13,7	10	13,7	17	23,2	58	79,2
3 Купейний	99	170,2	48	82,6	69	118,7	87	149,6	133	228,6	436	749,4
4 Плацкартний	114	196,0	170	292,2	167	287,0	157	261,3	136	233,8	739	1270,3
5 Міжобласний	6	8,2	11	15,1	4	5,5	4	5,5	5	6,9	30	41,3
6 Вагон-ресторан	-	-	-	-	-	-	1	1,5	5	7,3	6	8,8
7 Вагон багажний	1	0,5	5	2,5	1	0,5	3	1,5	1	0,5	11	5,5

Отримані дані експлуатації пасажирських вагонів з подовженим терміном служби, технічне обслуговування та ремонт яких проводився з застосуванням запропонованих технічних та технологічних рішень, свідчать про можливість підвищення коефіцієнту готовності на 0,12; скорочення часу невиробничого простою на 8%, підвищення безвідмовної роботи в експлуатації на 14%.

При цьому вартість додаткового обладнання на дослідну експлуатацію пасажирських вагонів склала біля 60 тис. грн. Джерела інвестицій: власні кошти (20%) та внутрішні кредити інших служб залізниці (80%) з річною ставкою 110%. Погашення боргу відбувається відповідно договору рівномірно протягом 5 років. Річний приріст чистого прибутку залізниці після впровадження прогнозується в розмірі 19,0 тис. грн. на один состав.

Для встановлення норми дисконту E , що відповідає прийнятної для інвестора нормі доходу на капітал, визначаємо "ціну" капіталу, що авансується:

$$Ц_1 = 0,01 \times 16 \times 110 = 17,6\%,$$

де - 16%- частка щорічного погашення кредиту у вартості створення та закупівлі засобів діагностики для вагонного депо в розмірі 9,6 тис. грн.

"Ціна" капіталу, що авансується відповідає мінімальному значенню прийнятної норми доходу. У відповідності з отриманим значенням "ціни" капіталу, що авансується та результатами інвестиційної діяльності служб залізниці.

За попередній період інвестор приймає норму доходу на капітал 25%, що регламентує норму дисконту $E = 0,25$.

Тоді інтегральний ефект інвестицій

(4.22)

Індекс рентабельності інвестицій

(4.23)

Норма рентабельності інвестицій E_p була приблизно розрахована за формулою

$$E_p = R/K_0$$

Термін окупності інвестицій T_0 визначається по залежностям, що взяті з літератури, та склав приблизно 5 років. Так як $\Delta_{int} > 0$, $\Delta_k > 1$, $E_p > \Delta_a$, то рахуємо, що впровадження нової технології обслуговування та ремонту з діагностуванням несучих елементів пасажирських вагонів, що відпрацювали свій ресурс економічно виправданим та ефективним при обраних джерелах фінансування.

Розроблені технічні рішення узгоджені з Головним пасажирським управлінням “Укрзалізниця”, затверджені у встановленому порядку і є підставою для впровадження у існуючі технологічні процеси технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів.

Висновки: 1. Запропонована методика прогнозування базується на моделі швидкостей корозійних пошкоджень для різноманітних ділянок кузова і дозволяє змодельовати технічний стан пасажирського вагона в будь який момент часу;

2. Розрахункова кінцево-елементна модель кузова пасажирського вагона дає можливість оцінити залишкову несучу здатність його. Оцінити змінювання напружень від величини зносу в елементах кузова пасажирського вагона;

3. Використання неруйнівних методів контролю дозволяє уточнити (визначити) залежності між параметрами які використовуються методами неруйнівного контролю і залишковим ресурсом міцності;

4. Запропонована поїздна автоматизована інформаційно-діагностична система (ПАІДС) «Вид» дозволяє здійснювати оперативний контроль поїздного устаткування. Результати контролю відображаються на екрані дисплея, запам'ятовуються в базі даних, видаються у виді документа;

5. На основі результатів обстеження технічного стану та розрахунків міцності конструкції, на підставі вище наведених критеріїв оцінки граничного стану розроблені технічні рішення щодо удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів. При визначенні виду ремонту враховуються вид і дата попереднього ремонту, технічний стан пасажирського вагона, технічні можливості того чи іншого виду ремонту по усуненню виявлених пошкоджень та проведення модернізації.

ВИСНОВКИ

1. В сучасних умовах одним із основних напрямків забезпечення перевезення пасажирів є необхідність підтримки розмірів пасажирського парку вагонів за рахунок удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів, що відпрацювали ресурс. За результатами дисертаційних досліджень показано, що строк служби пасажирських вагонів може бути подовженим до 5 років.
2. За результатами обстеження пасажирських вагонів виявлено, що розроблена технологія передбачає вибіркове обстеження кузова в трьох зонах по довжині вагона і в декількох перерізах по настилу підлоги, висоті бокової стінки і даху. Контрольні точки вибрані так, що дозволяють при обмеженій вибірці замірів оцінити загальний технічний стан кузова вагона.
3. Аналіз існуючої системи технічного обслуговування і ремонту вагонів показав, що вирішення задачі подовження їх строку потребує індивідуальної оцінки технічного стану пасажирських вагонів.
4. Для розрахункової оцінки міцності елементів конструкцій кузова вагона доцільно використовувати удосконалену автором кінцево-елементну модель, та формалізовані описання, що враховують вплив корозійних процесів та механічних пошкоджень. Для отримання початкових даних можливо використання методу інструментального контролю.
5. Для прогнозування розвитку корозійних пошкоджень кузовів пасажирських вагонів в експлуатації можливо використовувати статистичні закони розподілу площі корозійних пошкоджень кузова та його основних елементів в залежності від строку служби. На їх основі встановлено, що площі корозійних пошкоджень за період до п'яти років збільшуються в 1,5 рази.
6. Інструментом для практичної реалізації щодо удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів є математична кінцево-елементна модель для оцінки фактичного технічного стану вагонів.
7. Отримані дані експлуатації пасажирських вагонів з подовженим строком служби, технічне обслуговування та ремонт яких проводився з застосуванням запропонованих технічних та технологічних рішень, підтверджують можливість підвищення коефіцієнту готовності на 0,12; скорочення часу невикористаного простоя на 8%; підвищення безвідмовної роботи в експлуатації на 14%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анализ коррозионных повреждений кузовов пассажирских вагонов/В.И. Сенько, И. Ф. Пастухов, В.В Белогуб, А.А.Гульвиченко, Н..А.Злотникова, А.И.Пискунова// Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог./ Сборник научных статей. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 1998. –с. 140 – 144.
2. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: Справочное изд. - М.: Финансы и статистика, 1983. -471 с.
3. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. - М.: Мир, 1982. - 488 с.
4. Бабанін О. Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів: Дис. докт. техн. наук: 05.22.07. – Харків, 2001.-228 с.
5. Бабанін О. Б., Борзилов І. Д., Матвієнко О. О. Методика розрахунку надійності вузлів вагонів, що надходять у плановий ремонт//Зб. наук. праць/ УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 58. - с. 20-25
6. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. - М.: Стройиздат, 1982. - 448 с.
7. Белокур И. П. Дефектология и неразрушающий контроль: Учеб. пособие.— К.: Выща шк., 1990.—207 с.
8. Борзилов І.Д. Технологія технічного обслуговування та ремонту вагонів (том 1). - Харків: УкрДАЗТ, 2003. – 245 с.
9. Борзилов І.Д. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики (частина 1). - Харків: , ТОВ “Енергозберігаючі технології” 2003. - 91 с.
10. Борзилов И.Д., Тимофеева Т.Е., Куденко И.А. Повышение качества технического обслуживания и ремонта вагонов//Современные материалы, технологии, оборудование и инструмент в машино- и приборостроении: Материалы Международной научно-технической конференции, 21-22 августа 2001г., г. Киев. –Киев: АТМ України, 2001. С.5-6.
11. Бородай С.М., Райков Г.В. Пассажирским вагонам – прогрессивную систему ремонта // Железнодорожный транспорт. - 1981. - № 8. - С. 25-29.
12. Бородюк В.П. Статистическое описание промышленных объектов. - М.: Энергия, 1971. - 111с.
13. Ботаки А. А., Ульянов В. Л., Шарко А. В. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов - М.: Машиностроение, 1981. - 80 с.
14. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. - М.: Машиностроение, 1973. -456 с.
15. Бруякин И.В. Технология расчетного моделирования нагруженности несущих кузовов основных типов вагонов (по нормативным критериям). Автореф. дис. д-ра тех. наук: 05.22.07 / Моск. гос. ун-т путей сообщения. - М., 1997.-38 с.
16. Буравлева Н. Г. Анализ влияния ремонтных нагрузок на напряженное состояние кузовов грузовых вагонов. Автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.07 / Брянский гос. тех. ун-т. - Брянск, 2001. - 20 с.
17. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. -400 с.
18. Вагоны: Учеб. для студентов вузов / Л.А. Шадур, И.И. Челноков, ЛН. Никольский и др.; Под ред. Л. А. Шадура. - М.: Транспорт, 1980. - 439 с.

19. Вагонное хозяйство/ Под ред. П.А.Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
20. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. - М.: Статистика, 1979. - 477 с.
21. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие. -М.: Статистика, 1975. -264 с..
22. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. - М.: Наука, 1967.-984 с.
23. Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. – М.: Наука, 1966 – 168 с.
24. Влияние скрытых дефектов на сопротивление усталости сварных рам тележек локомотивов. М. М. Крайчик, В. Б. Цкипуришвили, А. А. Буханцев, В. Г. Солодкова//Вестник ВНИИЖТ, 1987, № 3, С. 23—26.
25. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. - М.: Мир, 1984. - 428с.
26. Гапеев С.Н. Пассажирские вагоны, электро- и дизель-поезда //Железнодорожный транспорт. - 2001. - № 3. - С. 17-21.
27. Головки В.Ф., Борзилов І.Д., Куденко І.О. Дослідження методів контролю технічного стану литих деталей візків вантажних вагонів//Зб. наук.праць /ХарДАЗТ, 2000.- Вип. 48. – с. 27-32.
28. Головки В.Ф., Борзилов І.Д., Куденко І.О. Методика оцінювання придатності відновлювання або утилізації деталей при ремонті пасажирських вагонів// Зб. наук.праць /УкрДАЗТ, 2005.-Вип. 69. –с. 57 - 61.
29. Головки В.Ф., Борзилов І.Д., Куденко І.А. Влияние технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов на безопасность движения поездов//Вплив людського фактору на безпеку руху на залізничному транспорті: Матеріали 4-ої Міжнародної конференції , 25-27 вересня 2001 р., м. Львів, Україна, С.14.
30. Головки В.Ф., Борзилов І.Д., Куденко І.О. Проблема безпеки руху при збільшенні терміну експлуатації пасажирських вагонів//Наука в транспортному вимірі: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, 11-13 травня 2005 р., м. Київ, С.20.
31. Данилевський Ю.Г., Петухов І.А., Шибанов В. С. Информационная технология в промышленности. – Л.: Машиностроение., 1988. – 283 с.
32. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. - Введ. 01.07.90. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 20 с.
33. ГОСТ 27.302-86. Надежность в технике. Методы определения допустимого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин. - Введ. 25.11.86. -М.: Изд-во стандартов, 1987. -37 с.
34. ГОСТ 27035-86. Вагоны пассажирские локомотивной тяги магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические требования. Группа Д 52, М.: Изд-во стандартов, 1987. - 4с.
35. Дефектоскопия деталей подвижного состава железных дорог и мет-рополитенов/ В. А. Ильин, Г. И. Кожевников, Ф. В. Левыкин, Ю. Н. Штремер; Под ред. В. А. Ильина.— М.: Транспорт, 1983.—315с.
36. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. - М.: Финансы и статистика, 1980. - 302с.
37. Диагностирование - как основа качественного восстановления утраченного технического состояния продукции / В.И. Сенько, И.О. Пастухов, В.В. Белогуб, А.В. Пигунов // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф.: В 3 т. - Донецк: ДонГТУ, 1999.. -т.3.-С. 18-20.
38. Ермолов И. Н., Останин Ю. Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: Учеб. пособие для инженерно техн. спец. вузов.— М.: Высш. шк., 1988.—368 с.
39. Железные дороги мира. 1991-2005 гг.

40. Железнодорожный транспорт. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство: ЭИ/ЦНИИ ТЭИ МПС. 1991-2005 гг.
41. Железнодорожный транспорт в Российской Федерации, СНГ и за рубежом. Обзор/ ЦНИИ ТЭИ МПС. 1991-2005 гг.
42. Железнодорожный транспорт за рубежом. Сер. П. Подвижной состав. Локомотивное и вагонное хозяйство: ЭИ/ ЦНИИ ТЭИ МПС. 1990-2005 гг.
43. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975. -541с.
44. Инструкция по исключению из инвентаря вагонов: 1ДЧУ-ЦВ/4433: Утв. Первым заместителем министра путей сообщения СССР: Срок действия установлен с 25.12.86 / МПС СССР. - М.: Транспорт, 1987. - 29 с.
45. Исследование статической прочности кузова вагона ЦМВО – 66: Отчет о НИР / КФ ВНИИВ; Рук. темы В. П. Болихов. – Калинин, 1967. – 142 с.
46. Капитально-восстановительный ремонт пассажирских вагонов / АЛ. Лавров, Г.В. Райков, Н.И. Подлитов, Т.А. Романова // Железнодорожный транспорт. - 1996. - № 6. - С. 50-55.
47. Капишников Ю.В., Крылова В.В., Щербаков В.Л. Снова о коррозш // Железнодорожный транспорт. - 1984. - № 12. - С. 44-46. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. для студентов вузов. - М.: Статистика, 1977. - 279 с.
48. К вопросу об оценке остаточной прочности элементов кузовов пассажирских вагонов / В.И. Сенько, И.О. Пастухов, В.В. Пигунов, А.В. Пигунов // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог: Сб. науч. ст. - Гомель: БелГУТ, 1998. - С. 35-39.
49. Кобищанов В.В. Расчет кузовов вагонов на прочность: Учеб. пособие. - Брянск: БИТМ, 1987. - 80 с.
50. Кобищанов В.В. Специализированная расчетная схема кузова пассажирского вагона // Вопросы строительной механики кузовов вагонов: Межвуз. сб. науч. тр. - Брянск: БИТМ, 1983. - С. 36-43.
51. Комский Е.М. Исследование технического состояния кузовов пассажирских цельнометаллических вагонов и пути повышения их надежности. Дис. канд. тех. наук 05.22.07. -Ростов, 1980. - 178 с.
52. Конструирование и расчет вагонов: Учеб. для студентов вузов / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов и др.; Под ред. В.В. Лукина. - М.: УМК МПС РФ, 2000.-731с.
53. Конюхов А.Д., Камский Е.М. Проектирование вагонных конструкций с учетом коррозии // Вест. ВНИИЖТа. - 1982. - № 1. - С. 30-32.
54. Конюхов А.Д. Коррозия и надежность железнодорожной техники // Железнодорожный транспорт. - 1997. - № 1. - С. 42-47.
55. Конюхов А.Д., Осадчук Г.И. Коррозионностойкие материалы для кузовов вагонов . - М.: Транспорт, 1987. - 143 с.
56. Конюхов А.Д. Предупреждение коррозионных повреждений вагонов // Железнодорожный транспорт. - 1979. - № 11. - С. 51-54.
57. Конюхов А.Д. Снижение надежности технических средств в результате коррозии. // Методы защиты от коррозии подвижного состава и металлоконструкций железнодорожного транспорта: Сб. науч. тр / ВНИИЖТ. - М.: Транспорт, 1988. - С. 5-19.
58. Королев М.В., Стариков Б.П., Карпельсон А.Е. Ультразвуковые импульсные приборы контроля прочности материалов. — М.: Машиностроение, 1987. —112 с.
59. Куденко І.О. Шляхи вирішення проблеми надійності та безпечної роботи пасажирського парку в сучасних умовах// Зб. наук. праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2003.-Вип.54.- С.68-72.

60. Куденко І.О. Методика оцінки залишкового ресурсу основних елементів кузовів пасажирських вагонів//Зб. наук. праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2004.-Вип.61.-С.5 - 8.
61. Куденко І.О. Експериментальне дослідження технічного стану несучих елементів пасажирських вагонів//Зб. наук. праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2005.-Вип. 61. - с. 5 - 8.
62. Куденко І. О. Забезпечення надійності роботи пасажирських вагонів в аспекті енергозбереження// Зб. наук. праць/ УкрДАЗТ, 2006. – Вип.. 72. – с. 5 -8.
63. Лавров А.П., Дубровина О.Д. Влияние щелей и зазоров на коррозионную стойкость металла вагонных конструкций // Вест. ВНИИЖТа. - 1974.-№7.-С. 37-40.
64. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте / ВНИИЖТ МПС. - М.. Транспорт, 1991. - 239 с.
65. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. - М.: Наука, 1971.- 576 с.
66. Мишарин А.С. Информатизация – важнейшее средство повышения эффективности работы отрасли//Железнодорожный транспорт, №9, 1999. – С. 19-23.
67. Моделювання технічного стану пасажирських вагонів/Головко В.Ф., Борзилов І.Д., Куденко І.О.//Залізничний транспорт України.-2004.-№3. -С.27-28.
68. Морозов И.А., Маттейс В.Х. О сроке службы пассажирских цельнометаллических вагонов и мерах его продления // Тр. / Всесоюз. науч.- исслед. ин-т вагоностроения. - М., 1968. - Вып. 6. - С. 3-11.
69. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. - М.: Мир, 1975. - 502 с.
70. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций /В. А. Троицкий, В. П. Радько, В. Г. Демидко, В. Т. Бобров.— К.: Техніка, 1986.— 159 с.
71. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник. Под ред. Г. С. Самойловича. М., «Машиностроение». 1976. 456 с.
72. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие/И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова.—М.: Высш. шк., 1991.—283 с.
73. Никольский Е.Н. Расчет кузовов вагонов на прочность: Учеб. пособие. - Тула: БИТМ, 1978. - 48 с.
74. Никольский Е.Н. Расчет несущих конструкций вагонов по методу конечных элементов: Учеб. пособие. - Брянск: БИТМ. 1982. - 99 с.
75. Новые приборы неразрушающего контроля: (дефектоскопы УД-11ПУ, УД2-12, ДІ-4) /В. А. Ильин, А. П. Батунер, А. Т. Каспарова и др. - М.: Транспорт, 1990. - 61 с.
76. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: ВНИИВ- ВНИИЖТ, 1983.-260 с.
77. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. - 319 с.
78. О выборе стратегии ремонта пассажирских вагонов в условиях ВРЗ/ В. И. Сенько, И. Ф. Пастухов// Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог./ Сборник научных статей. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 1998. – С.10 – 13.
79. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. - М.: Наука, 1964. - 336 с.
80. Портнов Ю.Ф. Прогнозирование остаточного ресурса ответственных элементов вагона // Вест. ВНИИЖТа. - 1993. - № 4. - С. 37-41.
81. Поташ А.Л., Сарычева В.А. Автоматизация расчета геометрических характеристик сложных поперечных сечений стержней // Тр. / Всесоюз. науч.- исслед. ин-т

вагоностроения. - М.: 1989. - Вып. 68. - С. 57-62.

82. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник, В 2-х книгах. Кн. 2/Под ред. В. В. Клюева.—2-е изд., перераб. и доп.—М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

83. Проведение теоретических и экспериментальных исследований с оценкой срока службы пассажирского вагона после капитально-восстановительного ремонта: Отчет о НИР / ДИИТ; Рук. темы О.М. Савчук. - Днепропетровск, 2001. - 315 с.

84. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3 т. / В.В. Болотин, А.С. Вольмир, М.Ф. Диментберг и др.; Под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. - М.: Машиностроение, 1968. - Т. 3. - 567 с.

85. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие. - М.: Наука, 1979. - 496 с.

86. Разработка системы технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов и путей ее реализации в условиях Республики Беларусь: Отчет о НИР / БелГУТ; Рук. темы В. И. Сенько. - № ГР 19962268. - Гомель, 1996.-196 с.

87. Расчет вагонов на прочность: Учеб. пособие / С.В. Вершинский, Е.Н. Никольский, Л.Н. Никольский и др.; Под ред. Л.А. Шадура. - М.: Машиностроение, 1971. -432 с.

88. Расчетная модель для оценки остаточной прочности кузовов пассажирских некупейных вагонов/ В.И. Сенько, В.В. Пигунов, И.Ф. Пастухов, А.В. Пигунов// Современные проблемы машиноведения: Материалы Междунар. науч.-практ. конф.: В 2 т. - Гомель: ГПИ, 1998. - т. 1. - С. 48-50.

89. РД 24.050.37-95 "Вагоны грузовые и пассажирские (методы испытаний на прочность и ходовые качества), М.: Транспорт, 1995. - 98 с.

90. Руководство по капитально-восстановительному ремонту пассажирских вагонов. ЦЛ-0012: Київ, 1998. -91 с.

91. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. - М.: Наука, 1971. -192с.

92. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. пособие - М.: Высшая школа, 1970. - 288 с.

93. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир, 1979.-392 с.

94. Система автоматизированного построения расчетных схем МКЭ кузовов пассажирских вагонов / В.А. Атрощенко, В.В. Кобищанов, А.О. Кузнецов, А.А. Ольшевский // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении. - М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1990.-Вып. 17.-С. 35-40.

95. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. - М.: Транспорт, 1980. - 229 с.

96. Сопротивление материалов: Учеб. для студентов вузов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А. Л. Квитка и др.; Под ред: Г.С. Писаренко. - Киев: Вища школа, 1986. - 775 с.

97. Справочник по прикладной статистике. В 2 т. Т. 1 / Под ред. Э.Ллошда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 510 с.

98. Справочник по сопротивлению материалов / Е.Ф. Винокуров, М.К. Балыкин, И.А. Голубев и др. - Мн.: Наука и техника, 1988. - 464 с.

99. Стратегия восстановления технического ресурса пассажирских вагонов / В.В. Назаренко, В.М. Кошанов, В.И. Сенько и др. // Актуальные проблемы развития транспортных систем: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. - Гомель: БелГУТ, 1998. - С. 121-122.

100. Теоретические и экспериментальные исследования ресурса пассажирских вагонов после реновации: Отчет о НИР / ДИИТ; Рук. темы О.М. Савчук. - № ГР 01960022790. - Днепропетровск, 1998. - 101 с.

101. Технічне діагностування пасажирських купейних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації: Отчет о НИР / №ДР 0102U005206, від 2002р.)
102. Технічне діагностування пасажирських плацкартних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації: Отчет о НИР / №ДР 0102U005207, від 2002р.).
103. Технічні умови "4-х осный спальный вагон ВЛАБ (РИЦ) с климатической установкой по чертежу N 1240.1.01.01. для "Укрзалізници", фирма "Вагонбау Гёрлиц ГмбХ" (ФРГ), 1994.
104. Троицкий В. А., Валеvич М. И. Неразрушающий контроль сварных соединений.— М.: Машиностроение, 1988.—112 с.
105. Трубачов Ю.О., Голоvко В.Ф., Борзилов І.Д. Визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирських вагонів, що відпрацювали свій ресурс //Міжвуз. зб. наук. праць /ХарДАЗТ, 2001. –Вип.46. – С. 34-36.
106. Трудношин В.А., Пивоварова Н.В. Математические модели технических объектов . - М.: Высш. шк., 1986. - 268с.
107. ТУ 32.01116130.331-99 Вагони пасажирські капітально-відновного ремонту: купейний, некупейний (відкритого типу), габаріту РІЦ.
108. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав. ред. И. Д. Голямина.—М.:«Советская энциклопедия», 1979. —400 с.
109. Устич П.А. Система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. –М.: МИИТ, 1989. – 153 с.
110. Устич П.А., Карпычев В.А., Овечников М.Н. Надежность рельсового нетягового подвижного состава. – М.: ИГ «Вариант», 1999. – 415 с.
111. Школьник Л. М. Методика усталостных испытаний. Справочник. - М., Металлургия, 1978. - 304 с.
112. Экономика железнодорожного транспорта: Учеб. для студентов вузов / И.В. Белов , В.Г. Галабурда, В.Ф. Данилин и др.; Под ред. И.В. Белова. - М. Транспорт, 1989.-351 с.