

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**  
Навчально - науковий інститут транспорту і будівництва  
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної випускної роботи**

освітній ступінь - магістр  
спеціальність - 273 – «Залізничний транспорт»  
спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ВДОСКОНАЛЕННЯМ МЕТОДІВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ»

Виконав  
Здобувач вищої освіти  
групи ІБЗТ-19зм




Проценко О.І.

Керівник:



проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Завідувач кафедри:



проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент:



(підпис)

(ініціали і прізвище)

Северодонецьк – 2021

# 1. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ЯК ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проблемі ефективного використання пасажирських вагонів приділяється велика увага в науковій і технічній літературі. Але в наукових працях це питання вирішується в основному за рахунок оптимізації коштів на придбання нового рухомого складу та виконання капітально-відновлювального ремонту існуючому рухомому складу для подовження терміну служби [4; 43; 44; 53; 54; 78; 93; 94; 107; 114; 116; 123; 124; 139]. У той же час оптимізація використання пасажирських вагонів за рахунок удосконалення методу їх експлуатації досліджується в незначній кількості наукових праць [1; 69; 71; 72; 128; 129; 154]. Дотепер не визначені поняття оптимальної експлуатації пасажирських вагонів, за допомогою яких можна встановлювати ефективність їх використання. Тому робота присвячена розробці нових комплексних підходів та методів з підвищення ефективності використання пасажирських вагонів за рахунок впровадження науково обґрунтованих заходів:

- з оптимального оновлення парку;
- подовження терміну служби рухомого складу;
- удосконалення методів експлуатації пасажирських вагонів.

У процесі дослідження даної проблеми були використані наукові праці провідних вчених та спеціалістів у галузі ремонту рухомого складу та організації руху пасажирських поїздів, зокрема: Є. П. Блохіна, В. І. Бобровського, Т. В. Бутько, А. А. Босова, М. І. Данько, Ю. В. Дьоміна, М. Б. Кельріха, В. К. Міроненка, С. В. Мямліна, В. Я. Негрея, В. І. Новаковича, О. М. Пшінька, О. М. Савчука, В. І. Сенька, В. М. Самсонкіна, В. В. Скалозуба, Є. В. Нагорного, І. Д. Борзилова, В. Г. Анофрієва, Ю. С. Бараша, І. Ю. Левицького, А. В. Донченка, А. Л. Пуларія, О. Г. Рейдемейстера, В. О. Шиша, О. Ф. Мірошніченка, П. О. Яновського та інших. Далі розглянемо більш детально головні чинники цієї проблеми.

## 1.1. Аналіз наукової літератури з питань оновлення парку рухомого складу

У роботах [5; 6; 12; 56; 57; 65; 114; 120] автори пропонують нову методику оновлення вантажного рухомого складу, за якою потреба залізничного транспорту у вагонах на прогностні роки розраховувалася з використанням таких показників: кількості вантажів, середньої дальності перевезень, продуктивності вагона, коефіцієнта співвідношення робочого парку до інвентарного. Крім того, бралися до уваги наявність існуючих вагонів та термін їх виключення з інвентарного парку. Значення цих показників порівнювалися протягом прогностного періоду.

Парк вагонів, потрібних залізничному транспорту для нормальної роботи, може поповнюватися за рахунок:

- виконання капітально-відновлювального ремонту з подовженням терміну служби вантажних вагонів після їх повної амортизації;
- придбання нових вагонів старого покоління;
- придбання нових вагонів нового покоління.

Усі наведені чинники враховувалися для розрахунку закупівлі нових вагонів, який виконувався в такій послідовності:

- 1) спочатку визначалася максимальна кількість вагонів за типами, яким потенційно можливо зробити КРП;
- 2) визначалася кількість нових вагонів старого і нового покоління, яку придбають, як очікується, операторські компанії та клієнти Укрзалізниці;
- 3) частка вагонів, якої не вистачає, розподілялася між новими вагонами старого та нового покоління. При цьому вагони нового покоління планується закуповувати тільки починаючи з моменту їх випуску вагонобудівними заводами України.

Автори дослідження [114] показали, що КРП можна виконувати не усім вантажним вагонам, а тільки тим, що за своїм технічним станом придатні для подальшої роботи. Цей відсоток коливається від 30 до 87 % для різних типів

вагонів. До того ж вартість КРП складає приблизно 30-50 % вартості нового вагона. У той же час витрати на всі види ремонту вагонів після КРП значно більші, ніж для звичайного рухомого складу. Усе це вплинуло на визначення раціонального співвідношення між капітально-відновлювальним ремонтом та закупівлею нових вагонів.

У 2005 році Державний науково-дослідний центр Укрзалізниці разом з Головними управліннями Укрзалізниці та ДПТом за участю автора розробив Державну програму розвитку рухомого складу до 2010 року [107], де була визначена потреба залізниць України в рухомому складі за кожним його видом. Ця програма враховувала обмежені кошти залізниці та проблематичне інвестування залізниць Урядом для закупівлі нових пасажирських вагонів. Було запропоновано й надалі вилучати пасажирські вагони після закінчення їх нормативного терміну служби (28 років) тільки після проведення першої та другої технічної діагностики, а також після 41 року загального терміну служби. Ці заходи вже призвели до зносу пасажирських вагонів майже на 90 % та далі погіршують стан пасажирського вагонного парку. У програмі запропоновано на прогностичні роки закуповувати щорічно 150 пасажирських вагонів нового покоління.

У роботі [4, с. 135-140] автор аналізує стан та перспективи розвитку парку пасажирських вагонів в Україні. Він констатує, що з 1992 року закупівля пасажирських вагонів за бюджетні кошти була припинена і як наслідок середньорічне придбання вагонів зменшились із 400 до 16 од. Тому парк пасажирських вагонів скоротився майже в півтора рази, а його старіння значно опереджає оновлення, знос у середньому складає 86 %. Близько 31 % пасажирських вагонів експлуатується за межами терміну служби 28 років. Основу парку дизель-поїздів (56 %) утворюють поїзди угорського виробництва, із яких 51 % – з простроченим терміном служби.

Традиційна система закупівлі рухомого складу для потреб залізниць та фінансування залізниць в нових умовах господарювання виявилася неефективною. У цій ситуації необхідний план, узгоджений за ресурсами, виконавцями та термінами,

і комплекс заходів у вигляді Комплексної програми оновлення рухомого складу, підтримки вітчизняної промисловості та розвитку транспортної системи. Метою державної політики оновлення рухомого складу повинно бути задоволення зростаючих потреб населення в перевезеннях за рахунок поставок вітчизняних вагонів і локомотивів нового покоління та модернізації з подовженням терміну служби наявних на основі технічних рішень, що відрізняються високою економічністю, кращими споживчими й експлуатаційними якостями та забезпечують конкурентоспроможність українського транспортного машинобудування, залізничних перевезень на перспективу, скорочення собівартості перевезень.

У роботі [116, с. 126-132] проведено детальний аналіз стану вагонного парку та вагоноремонтної бази України. На основі проведених досліджень зроблено такі висновки:

1. Аналізуючи вікову структуру парку видно, що 2 760 вагонів, або 35,9 %, вже вичерпали свій термін служби (28 років), але не виключаються з експлуатації, оскільки рухомого складу не вистачає для формування повноскладних поїздів. Середній вік пасажирського вагона становить близько 25 років, що відповідає 89 % зношеності.

2. Потужність деповської ремонтної бази за всіма видами ремонту не тільки задовольняє потреби на 2007 рік, але й перевищує її за окремими видами ремонту в два або півтора рази.

3. На всі види планового ремонту пасажирських вагонів у 2006 році Укрзалізниця витратила близько 360 млн грн. При цьому середня собівартість ремонту склала 66,2 тис. грн. Якщо поділити загальну кількість пасажирських вагонів, відремонтованих у 2006 році, на інвентарний парк, то можна зробити висновок, що кожен сім вагонів з десяти були відремонтовані одним з планових видів ремонту.

4. За останні дев'ять років відремонтовано та подовжено термін служби 1005 пасажирським вагонам, основну частину з яких складають вагони відкритого типу – 67,7 % та купейні – 16,1 %.

5. Вагонобудівні заводи України та Росії пропонують для експлуатації

нові вагони з конструктивною швидкістю 160 км/год. Найбільшої уваги заслуговує рухомий склад виробництва Крюківського вагонобудівного заводу, вагони якого повністю відповідають європейським санітарним нормам, мають покращений дизайн та комфортність.

У науково-дослідній роботі [118] за участю автора зроблені розрахунки перспектив оновлення парку пасажирських вагонів, виходячи з актуалізованого прогнозу пасажирообороту та даних щодо наявності пасажирських вагонів станом на 01.01.2007 р., виконано оновлення прогнозу стану парку пасажирських вагонів, що наведений у Програмі розвитку залізничного рухомого складу на 2006-2010 роки. Розрахунки виконані зі збереженням методики та основних вихідних даних щодо відсотків вагонів, придатних до виконання КРП, та відсотка вагонів, що не проходять другий технічний огляд, які використані у Програмі.

Визначення потрібного робочого парку пасажирських вагонів базується на даних Програми щодо потреби у вагонах на 2007 рік. Зміна потреби у вагонах у майбутньому прийнята пропорційно до зміни пасажирообороту. Це базується на припущенні, що якісні показники роботи рухомого складу в майбутньому не зміняться.

## **1.2. Досвід ремонту вагонів та подовження їх терміну служби**

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту були виконані роботи [53; 54; 107; 114; 116] стосовно оптимізації витрат на життєвий цикл пасажирських вагонів, у яких вперше запропонована методика визначення раціонального варіанта подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів в умовах дефіциту інвестицій.

Зі зростанням конкуренції на транспортному ринку відсутність необхідних фінансів на придбання нового рухомого складу (за незмінної необхідності забезпечення рентабельності перевезень) змушує залізниці використовувати різні шляхи подовження терміну експлуатації пасажирського

рухомого складу, що відпрацював нормативний строк, шукати можливості зменшення витрат на його обслуговування.

Одним із основних способів, що дозволяють знизити витрати на відновлення вагонного парку й одночасно забезпечити комфортність пасажирських перевезень, є модернізація вагонів шляхом капітально-відновлювального ремонту з подовженням терміну служби (КРП) [116].

Останнім часом з'явилося багато наукових праць, у яких розглядається питання виконання капітально-відновлювального ремонту КВР і КРП та його необхідності. Наприклад, у роботі [78, с. 14-17; 87] автори зробили аналіз модернізації пасажирського рухомого складу, що відпрацював нормативний термін служби, шляхом капітально-відновлювального ремонту з подовженням терміну служби в країнах Європи й Америки. Велика увага приділена питанню відновлення рухомого складу шляхом модернізації в країнах СНД, зокрема в Росії та Україні.

Автори пропонують різні концепції модернізації рухомого складу. Детально розглянуті нова концепція модернізації вагонів (метод «Модус»), розроблена німецькою фірмою PFA (Partner für Fahrzeug-Ausstattung), капітально-відновлювальний ремонт, виконуваний на основі проектів, затверджених Департаментом локомотивного господарства й керівництвом МШС РФ для нового виду ремонту. У цих документах міститься регламент виконання додаткового обсягу робіт, понад установлений для КР-2. Для пояснення суті модернізації як приклад розглянуті роботи, виконувані Дніпропетровським заводом «Дніпровагонрембуд» під час відновлення купейних вагонів типу 47-К. Однак у цій роботі не наводиться оптимальний варіант подовження життєвого циклу вагона.

Світовий досвід свідчить про необхідність вибору оптимальної пропорції між закупівлею нових і модернізацією існуючих вагонів шляхом капітально-відновлювального ремонту.

С. М. Гапеев [22, с. 18-20] подає програму «Пасажирські вагони», у якій відображені основні напрямки Комплексної програми реорганізації російського

локомотиво- й вагонобудування, системи експлуатації й ремонту рухомого складу, що повинні забезпечити її ефективність, відновлення парку за рахунок постачання нового пасажирського рухомого складу й проведення КВР із подовженням терміну служби. Автор пропонує «...розроблений галузевою наукою комплекс нових технологій, що дозволяють істотно продовжувати терміни служби й міжремонтні періоди для ряду важливих деталей і, насамперед, убезпечують рух. Багато в чому це стосується і пасажирського рухомого складу. Однак істотного об'ємного ефекту від упровадження таких розробок поки не досягнуто. Основна причина – відсутність системного підходу в комплексній реалізації розроблених технологій» (Переклад тут і далі мій. – Л. Л.).

У свій час ґрунтовні дослідження й експерименти, проведені на Горьковській залізниці [2, с. 53-56], дозволили перевести пасажирські вагони локомотивної тяги на систему ремонту за фактично виконаним обсягом роботи. При цьому були визначені позиції, що лімітують максимальний пробіг між деповськими ремонтами, який становить 300 тис. км. Паралельно з цим перевірили в експлуатації різні методи зміцнення зношуваних деталей візків вагонів, що також дозволяє прогнозувати більші міжремонтні пробіги, скорочення витрат на обслуговування й ремонт, збільшення часу перебування вагонів у робочому парку.

На основі прогнозу підвищення ресурсу деталей рухомого складу й організації ремонту з використанням засобів технічної діагностики пропонується нова система планово-запобіжного ремонту й технічного обслуговування пасажирських вагонів. Міжремонтні пробіги між деповськими ремонтами планується збільшити з 300 до 450 тис. км, або за часом з 2 до 3 років. Відповідно повинна змінитися періодичність між капітальними ремонтами вагонів.

За кордоном набув поширення принцип організації превентивного ремонту, який припускає періодичне надходження рухомого складу в депо або на ремонтний завод при досягненні ним заданих за часом або пробігом граничних



значень, встановлюваних на основі нагромадженого досвіду й статистики відмов. Це зумовлює застосування методів непрямого визначення зносу окремих вузлів і агрегатів з використанням бортових і стаціонарних засобів діагностики та дає можливість автоматизувати збір і аналіз причин відмов, оптимізувати систему обслуговування й ремонту.

Так, в Іспанії [118] поїзди TALGO є власністю залізниць RENFE, а їх технічне обслуговування забезпечує на договірній основі фірма-виробник. При цьому передбачається проведення щоденних технічних оглядів, планово-профілактичних і капітальних ремонтів.

Усе більшого поширення набуває уніфікація конструкції рухомого складу відповідно до технічних вимог МСЗ, що базується на поглибленому аналізі нагромадженого в різних країнах досвіду у сфері створення й ремонту рухомого складу.

Фірми-виробники, комплексно вирішуючи проблеми виготовлення нового рухомого складу, велику увагу приділяють розробці технологій і засобів для його технічного обслуговування й ремонту. Такі найбільші компанії, як Alstom, Bombardier, Adtranz, поставляючи залізничну техніку, постійно шукають шляхи отримання додаткових доходів у сфері післяпродажного сервісного технічного обслуговування й ремонту.

У такій країні, як Великобританія практично всі постачальники рухомого складу для залізничних компаній-операторів залучені до діяльності з технічного обслуговування й ремонту, причому не тільки своєї техніки, але часто й "чужого" виробництва.

Компанія Alstom має підприємства з технічного обслуговування й ремонту рухомого складу більш ніж у 20 країнах. Забезпечуючи залізниці рухомим складом, що має високий рівень надійності й безпеки, є недорогим у експлуатації, компанія діє за власною програмою, яка складається з чотирьох підпрограм: проектування нового рухомого складу з урахуванням досвіду експлуатації старого; розробка й реалізація прогресивної системи технічного обслуговування й ремонту; модернізація рухомого складу, що експлуатується;

забезпечення запасними частинами. Враховуючи, що термін служби залізничного рухомого складу 30 років, фахівці компанії вважають, що має сенс заздалегідь витратити додатковий час при проектуванні й ретельніше відпрацювати всі аспекти конструкції і технології його виготовлення, а також післяпродажного сервісу й гарантувати надійну роботу та низькі сумарні витрати протягом всього життєвого циклу.

Вагони швидкісних потягів ICE (Німеччина) для детального контролю стану устаткування й завчасного повідомлення про несправності оснащені бортовою технічною системою діагностики. Система забезпечує найважливішу функцію діагностики – оперативне попереднє сповіщення персоналу депо про всі дефекти, що виникли, і про пошкодження потяга в закодованій формі за допомогою радіозв'язку. Пункти передачі даних вибрані так, щоб інформація була одержана приблизно за 1 годину до прибуття потяга в депо.

Технічне утримання вагонів пасажирських потягів локомотивної тяги залізниць Німеччини дозволяє оптимізувати автоматизована система RIGA, в основу якої покладена концепція обслуговування не окремих рухомих одиниць, а повністю сформованого складу. Важливою особливістю цієї системи є поєднання технічного обслуговування з системою мобільного збору даних про дефекти.

Світовий досвід експлуатації вантажних і пасажирських вагонів показав, що після закінчення нормативного терміну служби їх списують в основному через вихід з ладу технічних вузлів, їх елементів, устаткування, а також унаслідок корозійних руйнувань металоконструкції кузова й ходових частин [50; 78]. Ушкодження останніх, як правило, незначні. Результати здійснюваних в різних країнах обстежень працездатності металоконструкцій вагонів, які мали різний термін експлуатації, свідчать про те, що каркас вагонного кузова здатний служити не менш 50 років. Внутрішнє устаткування повинне відповідати сучасному рівню вимог пасажирів. Як відзначають автори статті, проведення КВР передбачає попередню оцінку залишкового ресурсу вагона й подальше повне чи часткове відновлення ресурсу шляхом заміни чи ремонту тих чи інших елементів кузова й ходових частин.

Даний вид ремонту дозволяє істотно продовжити термін служби пасажирських вагонів і поліпшити їх споживчі якості. Такий ремонт зараз здійснює Дніпропетровський завод з ремонту й будівництва пасажирських вагонів «Дніпровагонрембуд» на основі розробленої на заводі технології й конструкторської документації.

Відмітною рисою технології ремонту на заводі «Дніпровагонрембуд» є ґрунтовна модернізація кузова вагона, у ході якої заміняються обшивка й частково елементи каркаса бічних стінок кузова, видаляються подовжні гофри, повністю оновлюється підлога вагона. Кузов ґрунтують і фарбують стійкою до впливу навколишнього середовища фарбою, що підвищує його стійкість до корозії. Залежно від стану заміняють чи підсилюють окремі елементи рами кузова, а також елементи його консольних частин і бічні стінки, установлюють герметичні віконні рами, усередині вагона створюють сучасний інтер'єр з використанням нових матеріалів. Установка внутрішніх перегородок, що являють собою металевий трубчастий каркас, обшитий профільованими пластиковими листами, підвищує міцність кузова. Проведені розрахунки [116] показали, що така зміна конструкції поліпшує (у порівнянні з типовою) напружено-деформований стан кузова, підвищується також його довговічність.

У статтях [47; 78, с. 15-17] описаний комплекс досліджень, виконаних з метою наукового обґрунтування ефективності КВР «...за замовленням заводу «Дніпровагонрембуд» рядом наукових, науково-дослідних і виробничих колективів на чолі з керівництвом Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДПТ). У ході проведення цих робіт оцінювалися міцність та динамічні характеристики пасажирського вагона й визначався реальний термін його служби в цілому й окремих вузлів після КВР». На основі даних, отриманих у процесі досліджень, концепцію подовження терміну служби пасажирського вагона можна сформулювати так:

1. Можливість подальшої експлуатації пасажирського вагона визначається станом основних його тримальних конструкцій, візків,

надресорних балок і кузова.

2. Критерієм продовження терміну служби вагона після КВР є наявність достатнього ресурсу його основних тримальних конструкцій.
3. Міцність вагонів після КВР повинна відповідати вимогам, запропонованим нормативним документом до нових та модернізованих конструкцій.

У статті [78] пропонується методика оцінки ресурсу тримальних конструкцій. В Україні КВР пасажирських вагонів виконується вже протягом 7 років. Для цього була закуплена іспанська технологія подовження терміну служби вагонів.

Слід сказати, що в розглянутих наукових працях в основному вирішують питання подовження терміну служби рухомого складу як технічну задачу. Але пошук раціональної проблеми оновлення парку пасажирських вагонів – це інвестиційний проект, який необхідно впроваджувати в умовах дефіциту капітальних вкладень, враховуючи всі витрати на утримання рухомого складу протягом його життєвого циклу.

У науково-дослідній роботі [116], у якій автор був основним виконавцем, сказано, що для подовження терміну служби пасажирських вагонів їм після технічного діагностування виконується капітально-відновлювальний ремонт КРП та КВР. Різні заводи та вагонні депо атестовані на виконання КВР, який подовжує термін служби пасажирських вагонів на різні строки. Наприклад, Дніпровагонрембуд – на 23 роки, Харківський вагонобудівний завод – на 16-20 років. Дослідження, що були проведені Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка Лазаряна, показали, що після виконання КВР міцність оновленого вагона знаходиться в межах нормативних значень і йому може бути подовжено термін служби.

Для цього пропонуються 20 варіантів нових життєвих циклів подовження терміну служби пасажирських вагонів. Кількість варіантів може бути значно більшою, оскільки кожний новий варіант є трансформацією попереднього.

У роботі [70, с. 240] автори оптимізують рішення попередньої задачі. У

статті розглянута проблема оновлення парку пасажирських вагонів за рахунок варіантів подовження терміну служби, які були поділені на три групи:

1) подовження терміну служби пасажирських вагонів після 28 років, технічного діагностування і КР-1;

2) подовження терміну служби пасажирських вагонів після 28 років, технічного діагностування і КРП;

3) подовження терміну служби пасажирських вагонів після 28 років, технічного діагностування і КВР.

З кожної групи вибрано для подальших досліджень варіанти за існуючою технологією, технологією Головного пасажирського управління та за пропозиціями ДПТУ. Витрати за усіма варіантами подовження терміну служби існуючим пасажирським вагонам розраховуються протягом 25 років (термін найбільшого подовження життєвого циклу). Але після 23 років значення коефіцієнта дисконтування стає дуже малим і не впливає на подальші розрахунки. На основі розрахунків було зроблено висновок про те, що в умовах дефіциту інвестицій на придбання рухомого складу можна й доцільно паралельно виконувати капітально-відновлювальний ремонт вагонів, оскільки витрати на їх життєвий цикл завжди менші, ніж на придбання нового вагона середньою вартістю 5 000 тис. грн. При порівнянні видно, що найбільш економічними є варіанти подовження терміну служби пасажирських вагонів після технічного діагностування та КР-1, але їх можна виконувати не усім вагонам. З інших варіантів найбільш привабливим є варіант з подовженням терміну служби купейного вагона на 18 років з пролонгацією ще на 1-4 роки. Але для цього варіанта потрібні додаткові випробування на міцність.

## **2.5. Існуючі принципи формування парків пасажирських вагонів**

Для вирішення проблеми ефективного використання пасажирських вагонів у сучасних умовах необхідно визначити їх потребу на прогностні 2019 – 2027 роки. Такі розрахунки були виконані Дніпровським національним

університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в науково-дослідній роботі [7; 8; 118, етап 1, с. 50-61] за участю автора. Зміна потреби у вагонах у майбутньому прийнята пропорційно до зміни пасажирообороту. Це базується на припущенні, що якісні показники роботи рухомого складу в майбутньому зберігаються.

Слід зауважити, що прогнозна потреба в нових пасажирських вагонах (табл. 2.6) не враховує:

- підвищення швидкості руху пасажирських поїздів;
- можливе впровадження до 2027 року швидкісного та високошвидкісного руху;
- можливе покращення показників експлуатаційної роботи у пасажирському русі ;
- можливе зростання населеності вагонів за рахунок підвищеної пасажиромісності сучасних вітчизняних та закордонних моделей.

Потреба в робочому парку пасажирських вагонів визначена в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

### Потрібний парк пасажирських вагонів

Найменування	Значення величини за звітний рік та на розрахункові роки, вагон								
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Пасажирооборот, млн пас.-км	37 731,4	39 491,9	40 846,5	41 848,7	42 458,6	42 817,7	43 019,3	43 155,5	43 226,6
Базисні індекси зростання пасажирообороту	1,000	1,047	1,083	1,109	1,125	1,135	1,141	1,144	1,146
Потрібний парк вагонів у дальньому сполученні, од.	6 196	6 487	6 708	6 871	6 971	7 032	7 070	7 088	7 098
Потрібний парк вагонів у приміському сполученні, од. (за даними УЗ)	419	408	397	386	375	364	332	296	233
Резерв Укрзалізниці (за даними УЗ)	220	235	235	237	237	235	232	229	225
Разом потрібний робочий парк пасажирських вагонів з резервом УЗ	6 835	7 130	7 340	7 494	7 583	7 631	7 634	7 613	7 556

В умовах відсутності державних інвестицій на оновлення парку пасажирських вагонів було впроваджено такі принципи їх ефективного використання.

Вагони, після того як вони вичерпають нормативний термін служби, не списують, а підлягають технічному діагностуванню, за яким визначається, які з них не придатні для подальшої служби. Для тієї частки пасажирських вагонів, що залишилася після технічного діагностування, виконується один з видів планового або капітально-відновлювального ремонту, які подовжують термін служби вагонів відповідно на 5, 13, 16 або 23 роки. Вагонам, яким було подовжено термін служби на 5 років, виконується повторне технічне діагностування, у результаті якого частина вагонів списується, а іншій подовжується термін служби ще на 5 років після відповідного планового ремонту. Вагони, яким було виконано капітально-відновлювальний ремонт (КРП або КВР), після 41 року служби списуються. Таким чином, інвентарний парк на початок та на кінець року відрізняються між собою за рахунок (рис. 2.18):

- списання вагонів після першого технічного діагностування;
- списання вагонів після повторного технічного діагностування;
- списання вагонів після 41 року служби;
- закупівлі нових вагонів Укрзалізницею.

Винятки встановлені лише для вагонів, яким було зроблено капітально-відновлювальний ремонт на Дніпровському заводі «Дніпровагонрембуд» за іспанською технологією. Для цих вагонів, термін служби яких подовжено на 23 роки, ще не визначено, як бути з візками, життєвий цикл яких становить 40 років.

Схематично формування парків пасажирських вагонів наведено на рис. 2.7.

Інвентарний та робочий парки пасажирських вагонів на кінець року відрізняються між собою за рахунок формування технологічного запасу й

відволікання вагонів для господарських потреб (див. рис. 2.18).

Для подальшого ефективного використання рухомого складу необхідно удосконалити методи експлуатації пасажирських поїздів, підвищити їх швидкість руху, впровадити нову технологію подовження терміну служби пасажирських вагонів до 51 року, закупляти вагони нового покоління з підвищеною пасажировмісністю, об'єднати парки пасажирських вагонів залізниць та розробити гнучкі плани ремонту вагонів упродовж року.

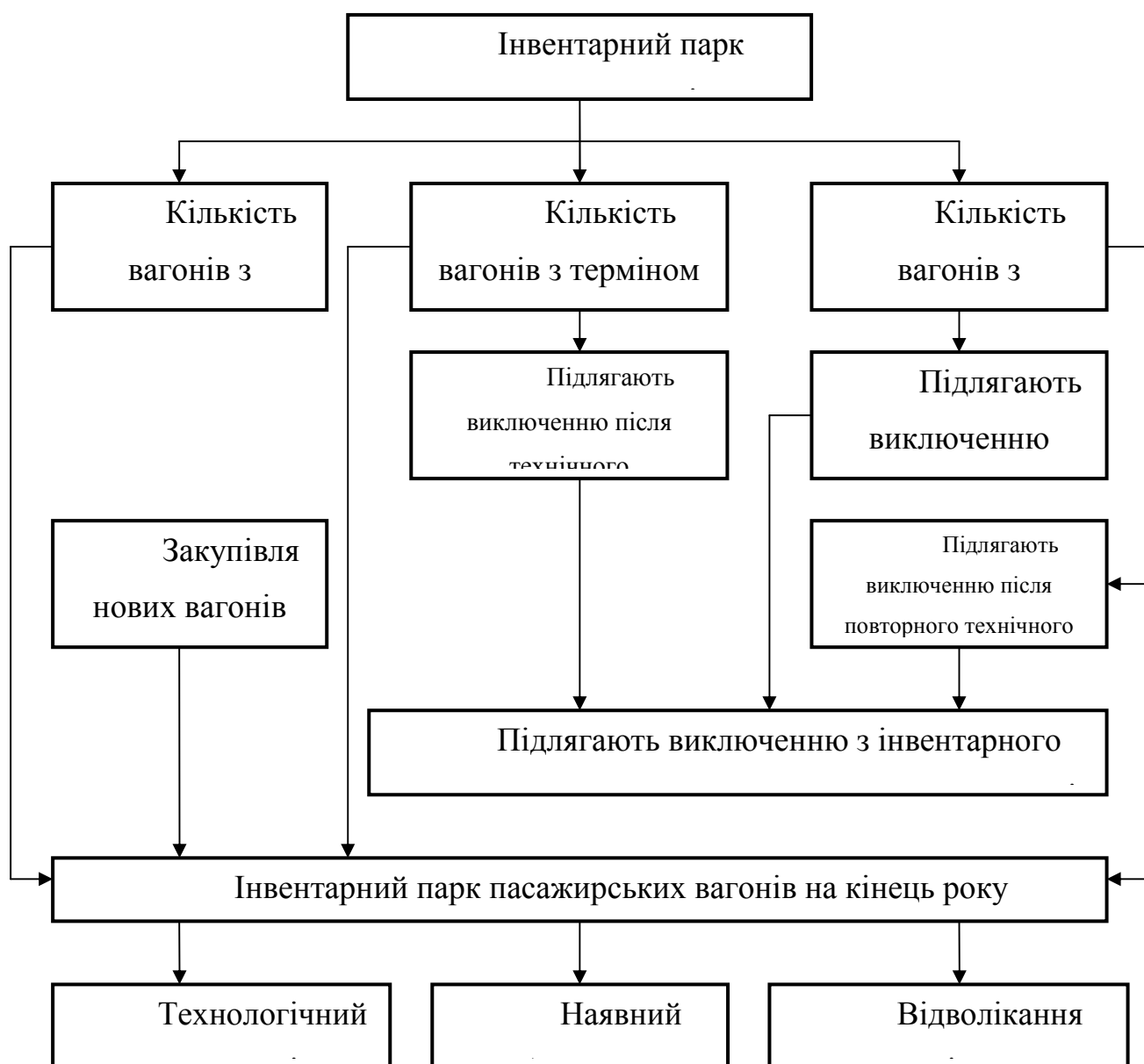


Рис. 2.7. Принципи формування інвентарного та робочого парку пасажирських вагонів



На рис. 2.8 наведено заходи, завдяки яким пропонується вирішити проблему ефективного використання пасажирських вагонів на прогностні роки.

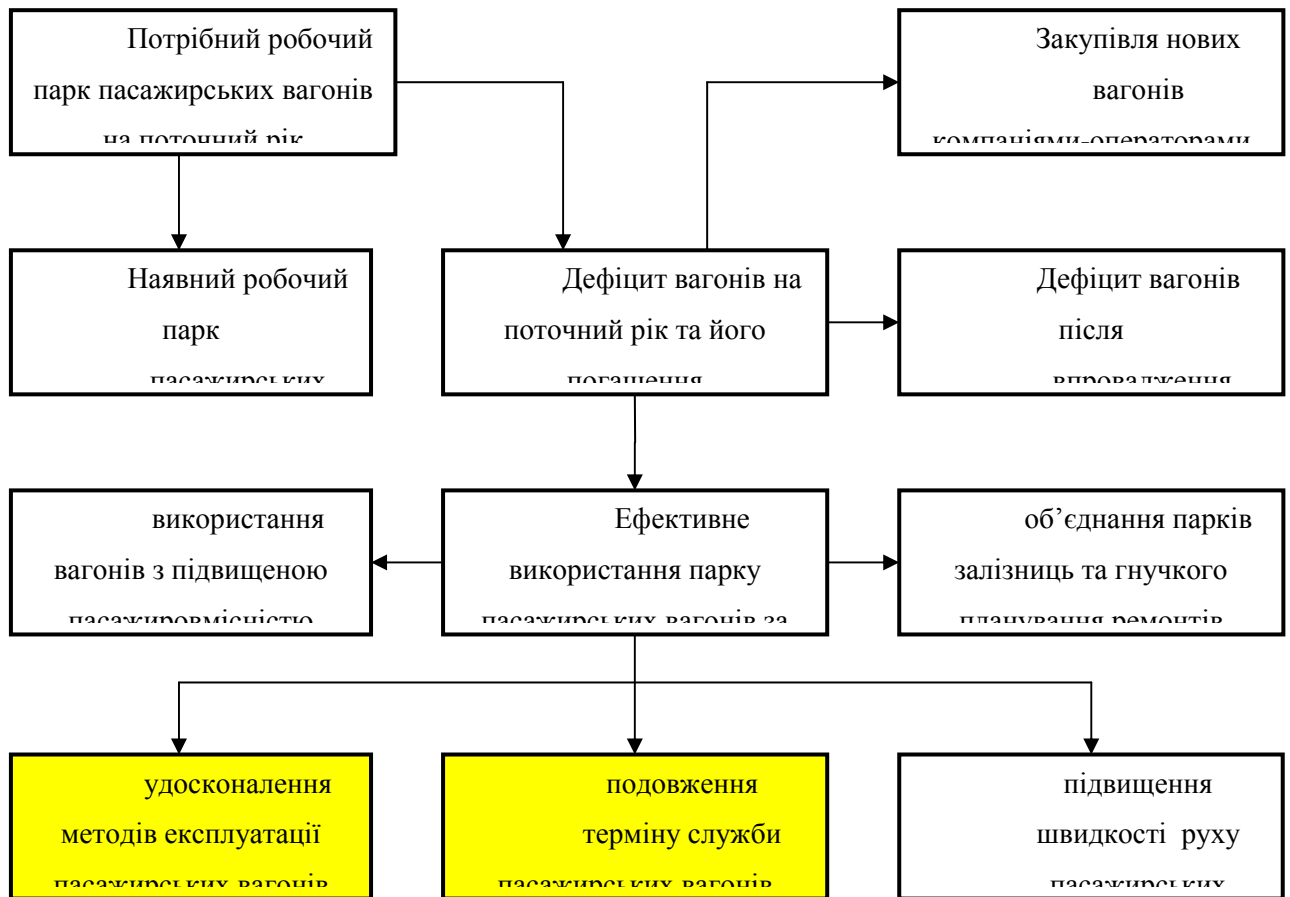


Рис. 2.8. Схема ефективного використання пасажирських вагонів

Темним кольором показані заходи, які досліджуються в даній роботі. Інші заходи належать до економічних або мають організаційну спрямованість.

## 2.6. Методика ефективного використання пасажирських вагонів на прогностні роки

Дефіцит пасажирських вагонів утворюється, коли розрахункова кількість рухомого складу на перспективу менша за наявний робочий парк. Ці розрахунки виконуються на кілька років вперед для своєчасної ліквідації

нестачі пасажирських вагонів за рахунок їх ефективного використання. Зважаючи на це, можна записати:

$$ДВ_{\theta}^i = NP_{\theta\text{роб}}^i - NH_{\theta\text{роб}}^i, \quad (2.1)$$

де:  $ДВ_{\theta}^i$  – дефіцит пасажирських вагонів  $\theta$  типу в робочому парку в  $i$ -му році;

$NP_{\theta\text{роб}}^i$  – потреба в робочому парку пасажирських вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році;

$NH_{\theta\text{роб}}^i$  – наявна кількість пасажирських вагонів  $\theta$  типу в робочому парку в  $i$ -му році.

У свою чергу величина  $NH_{\theta\text{роб}}^i$  розраховується за формулою

$$NH_{\theta\text{роб}}^i = N_{\theta\text{інв}}^{i-1} - (N_{\theta 41}^i + N_{\theta 1д}^i + N_{\theta 2д}^i + N_{\theta\text{тз}}^i + N_{\theta\text{гп}}^i) + N_{\theta\text{уз}}^i, \quad (2.2)$$

а інвентарна кількість пасажирських вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році  $N_{\theta\text{інв}}^i$  визначається з виразу

$$N_{\theta\text{інв}}^i = N_{\theta\text{інв}}^{i-1} - (N_{\theta 41}^i + N_{\theta 1д}^i + N_{\theta 2д}^i) + N_{\theta\text{уз}}^i, \quad (2.3)$$

де:  $N_{\theta\text{інв}}^i$  – розрахункова інвентарна кількість пасажирських вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році;

$N_{\theta\text{інв}}^{i-1}$  – розрахункова інвентарна кількість пасажирських вагонів  $\theta$  типу в  $(i-1)$ -му році;

$N_{\theta 41}^i$  – вагони  $\theta$  типу, які підлягають виключенню з інвентарного парку в  $i$ -му році після 41 року служби;

$N_{\theta 1д}^i$  – вагони  $\theta$  типу, які підлягають виключенню з інвентарного парку в  $i$ -му році після першого технічного діагностування;

$N_{\theta 2д}^i$  – вагони  $\theta$  типу, які підлягають виключенню з інвентарного парку в  $i$ -му році після повторного технічного діагностування;

$N_{\theta\text{тз}}^i$  – технологічний запас пасажирських вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році;

$N_{\theta\text{гп}}^i$  – вагони  $\theta$  типу, які відволікаються на господарчі потреби в  $i$ -му році;

$N_{\theta yz}^i$  – план придбання Укрзалізницею нових вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році;

$i$  – індекс розрахункового року.

Якщо після розрахунків за формулою (2.1) залишається непогашений дефіцит пасажирських вагонів, ліквідувати його слід за допомогою заходів ефективного використання пасажирських вагонів:

- впровадження рухомого складу нового покоління з підвищеною пасажировмісністю.
- удосконалення методів експлуатації пасажирських поїздів;
- подовження терміну служби пасажирських вагонів;
- підвищення швидкості руху пасажирських поїздів;
- об'єднання парків залізниць України;
- гнучкого планування ремонтів вагонів протягом року.

$$ДВЗ_{\theta}^i = ДВ_{\theta}^i - (ЕЕ_{\theta pm}^i + EB_{\theta op}^i + EB_{\theta ps}^i + EB_{\theta sp}^i + N_{\theta ko}^i + EB_{\theta op}^i + EB_{\theta pr}^i), \quad (2.4)$$

де:

$ДВЗ_{\theta}^i$  - дефіцит вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році після впровадження заходів ефективного використання;

$ЕЕ_{\theta pm}^i$  - ефективне використання вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році за рахунок підвищення їх пасажировмісності;

$ЕВ_{\theta op}^i$  - ефективне використання вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році за рахунок впровадження нових методів експлуатації пасажирських поїздів;

$ЕВ_{\theta ps}^i$  - ефективне використання вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році за рахунок подовження їм терміну служби та обґрунтованої зміни міжремонтних циклів після 28 років експлуатації;

$ЕВ_{\theta sp}^i$  - ефективне використання вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році за рахунок підвищення швидкості руху пасажирських поїздів;

$N_{\theta ko}^i$  - план придбання компаніями-операторами нових вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році;

$EB_{\theta оп}^i; EB_{\theta пр}^i$  - ефективне використання вагонів  $\theta$  типу в  $i$ -му році за рахунок об'єднання парків залізниць та гнучкого планування ремонтів протягом року відповідно.

Автором зроблені розрахунки інвентарного, робочого парків та дефіциту пасажирських вагонів на прогностні роки відповідно до рис. 2.18 та формул (2.1) – (2.3) за допомогою програми EXCEL. Результати розрахунків у цілому зведено до табл. 2.7. Аналіз розрахункових даних показує:

1. Інвентарний парк пасажирських вагонів змінюється повільно. У 2008 році він набуває найменшої величини, а потім поступово планується його збільшення за рахунок придбання нових вагонів до 890 од. на рік.
2. План КВР (КРП) на прогностний період не збільшується і залишається на рівні 113-135 вагонів на рік, оскільки за звітними даними він складає приблизно 35 % на рік від кількості вагонів, яким вичерпано термін служби. Крім того, парк пасажирських вагонів слід оновлювати вагонами нового покоління.
3. Величина технологічного запасу вагонів дуже велика й пояснюється недосконалою технологією ремонтного та перевізного процесу, які потребують суттєвої зміни.
4. Наявний робочий парк вагонів зростає повільно ідентично інвентарному парку й у жодному році не перевищує розрахункову потребу. У результаті цього виникає щорічний дефіцит рухомого складу.

При розрахунку дефіциту пасажирських вагонів на прогностні роки за формулою (2.1) до уваги бралися звітні дані Головного пасажирського управління за 2019 рік, статистичні дані технічного діагностування, списання вагонів та ліміт грошових коштів Укрзалізниці на 2021 – 2027 роки на виконання капітально-відновлювального ремонту. Результати розрахунків зведено до табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Розрахунок прогностної кількості пасажирських вагонів

Найменування	Значення величин на розрахункові роки, вагон							Разом
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Інвентарний парк пасажирських вагонів	7 583	7 612	7 644	7 655	7 683	7 656	7 686	–
Вичерпано термін служби	329	359	386	333	385	342	339	2 473
Було подовжено термін служби за рахунок КРП	1 224	1 259	1 295	1 330	1 336	1 289	1 248	–
План КРП на поточний рік	115	126	135	117	135	120	119	867
Підлягають виключенню з інвентарного парку після 41 року служби	80	90	100	110	182	161	128	851
Підлягають виключенню за результатами діагностування	66	72	77	67	77	68	70	497
Підлягають повторному технічному діагностуванню	289	215	355	366	377	388	400	2 390
Підлягають виключенню після повторного діагностування	75	56	92	95	98	101	104	621
Технологічний запас	830	830	830	830	830	830	830	–
Відволікання вагонів на господарські потреби	120	120	120	120	120	120	120	–
Наявний робочий парк станом на 31.12.	6 412	6 444	6 425	6 433	6 376	6 376	6 434	–
Потреба у робочому парку вагонів (табл 3.1)	7 340	7 494	7 583	7 631	7 634	7 613	7 556	–
Надлишок або дефіцит вагонів	-928	-1 050	-1 158	-1 198	-1 258	-1 237	-1 122	–
План придбання вагонів Укрзалізницею	250	250	280	300	330	360	400	2 170
Надлишок або дефіцит вагонів після поповнення	-678	-800	-878	-898	-928	-877	-722	–

На рис. 2.9 графічно показані прогностні показники зміни інвентарного, робочого парків та потреба у вагонах робочого парку за даними табл. 2.7.

З рис. 2.9 випливає, що потреба в кількості вагонів на прогностні роки спочатку збільшується, а потім поступово починає зменшуватися. Це можна пояснити тим, що вагони локомотивної тяги, які експлуатуються в

приміському сполученні, поступово будуть замінені моторвагонним рухомих складом.

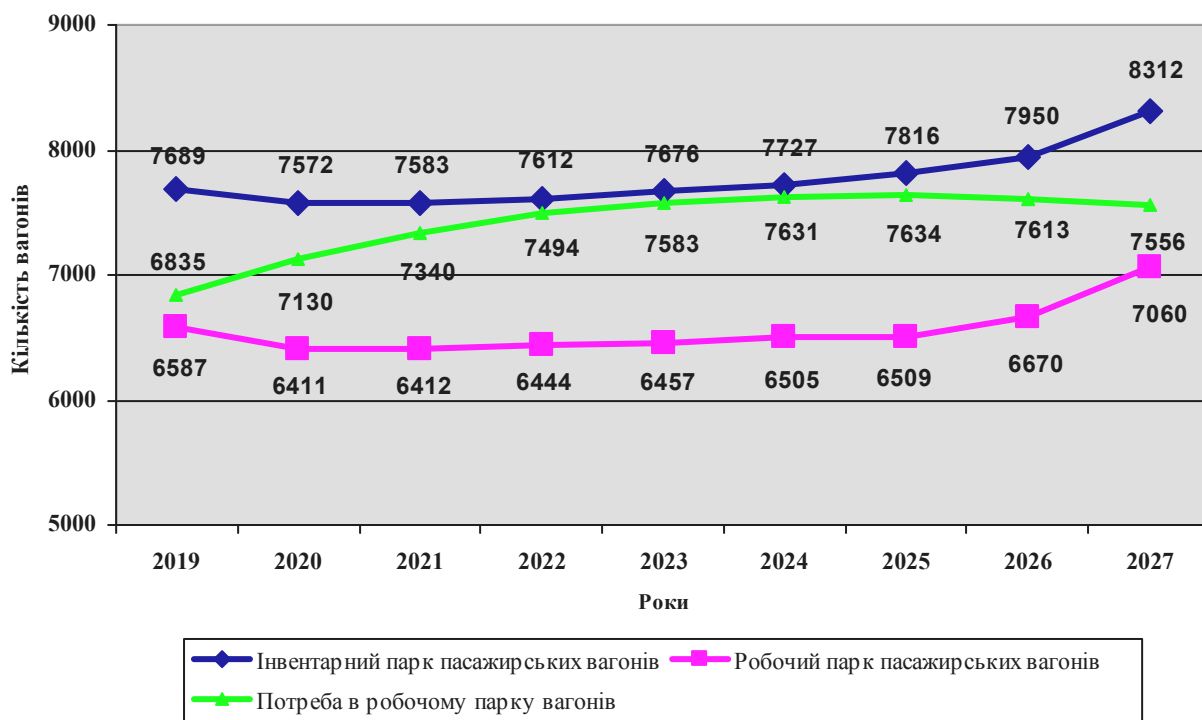


Рис. 2.9. Розрахункові дані парків пасажирських вагонів на прогностні роки

Оскільки Укрзалізниця не має відповідних коштів на закупівлю необхідної кількості пасажирських вагонів, Уряд країни не виділяє інвестицій, а приватні інвестори ще не можуть закуповувати велику кількість вагонів, у прогностному періоді (2019-2027 роки) виникає дефіцит вагонів у межах 251 – 806 одиниць, або 3,2 – 9,7 %. Лише у 2027 році з’являється надлишок, який дасть можливість почати суттєве оновлення парку пасажирських вагонів (рис. 2.10).

Непогашений дефіцит пасажирських вагонів пропонується частково погасити за рахунок заходів, які наведені на рис. 2.8. Остаточні розрахунки ефективного використання пасажирських вагонів наведено далі в роботі.

Для підвищення ефективності використання пасажирських вагонів можна запропонувати низку технічних та організаційних заходів:

1. Підвищення швидкості руху пасажирських поїздів.

2. Подовження терміну служби пасажирських вагонів після технічного діагностування та виконання різних видів планових ремонтів або КВР (КРП).
3. Удосконалення методів експлуатації пасажирських вагонів у рухомому складі, який одночасно працює на кілька напрямків руху.
4. Використання пасажирських вагонів у складі денно-нічних поїздів.
5. Об'єднання парків пасажирських вагонів окремих залізниць в один для оперативного управління рухомим складом.
6. Впровадження гнучких планів ремонту пасажирських вагонів за порами року та інші.

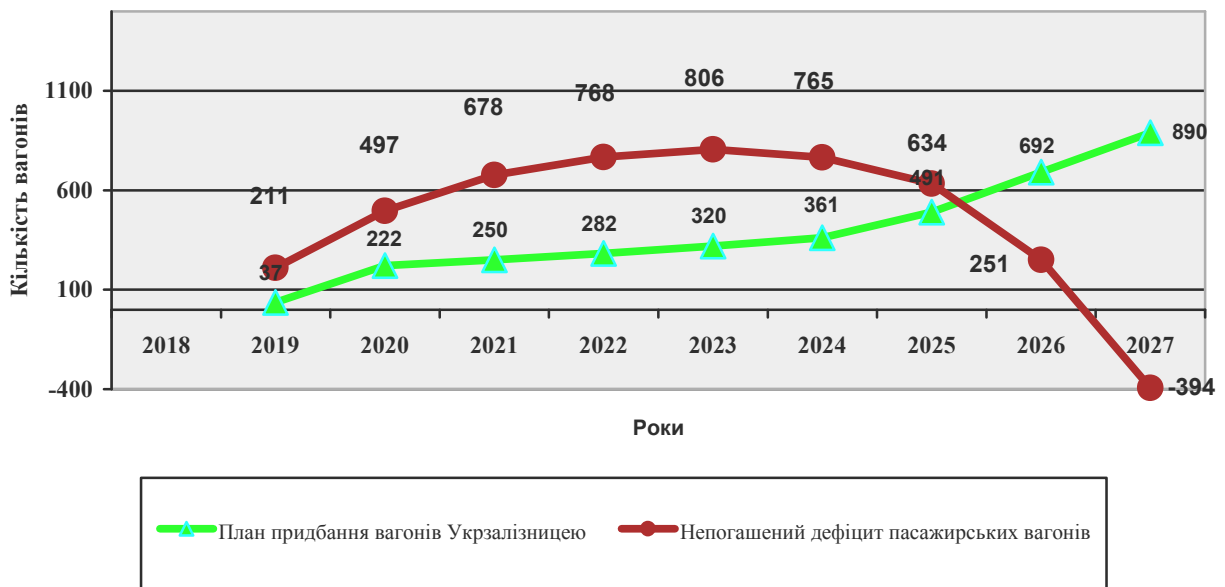


Рис. 2.10. Придбання нових вагонів Укрзалізницею та непогашений дефіцит вагонів

Проблема подовження терміну служби пасажирських вагонів раніше досліджувалася, але в межах 23 років, без суттєвого обґрунтування міжремонтних циклів, додаткових випробувань на міцність та залишковий ресурс.

Другий та третій заходи частково були впроваджені Укрзалізницею при організації руху денно-нічних поїздів на напрямках Київ – Львів і Київ – Одеса

та кільцюванні рухомого складу одночасно на три напрямки Київ – Харків , на основі попередніх теоретичних досліджень, зроблених автором у даній кваліфікаційній роботі. Докладніше ці проблеми вирішені в третьому та четвертому розділах.

### **3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ЗА РАХУНОК ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МІЖРЕМОНТНИХ ЦИКЛІВ**

#### **3.1. Технічне діагностування та подовження терміну служби пасажирських вагонів**

Необхідність технічного діагностування пасажирських вагонів зумовлена в першу чергу збільшенням на залізницях України кількості пасажирських вагонів з вичерпаним терміном експлуатації. Залишаючи їх без проведення відповідного контролю, ми не можемо гарантувати необхідного рівня безпеки перевезень пасажирів та виконання вимог надійності [20; 24; 31; 60; 108; 140]. Водночас списання вагонів, що відпрацювали призначений термін, призведе до різкого зменшення експлуатаційного парку, і внаслідок цього виникнуть значні труднощі в забезпеченні пасажирських перевезень рухомим складом.

Технічне діагностування пасажирських вагонів є комплексом робіт, який включає обстеження технічного стану металоконструкцій кузовів та рам вагонів і візків відповідно до [86] і дозволяє зробити обґрунтування подовження терміну експлуатації цих вагонів після виконання регламентного обсягу ремонтних робіт. Обстеження технічного стану металоконструкцій кузова кожного вагона, рам та надресорних балок його візків проводиться з використанням методів та засобів неруйнівного контролю.

Під час обстеження технічного стану вагона визначаються пошкодження і несправності його металоконструкцій, а також фактичні товщини основних несучих елементів [138]. У ході обстеження технічного стану



основних несучих елементів та вузлів металокопструкцій кузова й рами вагона, рам і надресорних балок візків підлягають виявленню такі ймовірні пошкодження та несправності:

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

Відхилення дійсних розмірів від значень, які вказані в технічній документації, визначаються за результатами вимірювань вузлів та деталей засобами вимірювальної техніки.

За результатами обстеження технічного стану металокопструкцій кузова і рами кожного вагона, рам і надресорних балок його візків визначається ступінь корозійного або абразивного зносу елементів вагона, проводиться аналіз виявлених несправностей з метою визначення виду ремонту, за якого виявлені несправності повинні бути усунуті, або необхідності виключення вагона (або візка) з інвентарю. Аналіз здійснюється відповідно до чинних правил ремонту [14; 15; 121], а також інструкцій та правил [48; 100].

Для визначення можливості призначення вагону нового терміну служби повинна бути обчислена фактична швидкість корозії основних несучих елементів його металокопструкцій (хребтової, шворневих та кінцевих балок, нижніх обв'язок бокових стін, надресорних балок та рам візків) за формулою

$$V_{\text{кор}} = (S_{\text{ном}} - S_{\text{ф}}) / T, \quad (3.1)$$

де  $V_{\text{кор}}$  – швидкість корозії, мм/рік;

$S_{\text{ном}}$  – номінальна товщина елемента, мм;

$S_{\text{ф}}$  – фактична товщина елемента за результатами вимірювань, мм;

$T$  – термін служби вагона на момент здійснення вимірювань, років.

Залишковий термін служби кожного основного несучого елемента металокопструкцій вагона визначається за формулою:

$$T_{\text{кор}} = ( S_{\text{ф}} - S_{\text{min}} ) / V_{\text{кор}} , \quad (3.2)$$

де  $T_{\text{кор}}$  – залишковий термін служби, роки;

$S_{\text{min}}$  – мінімально допустима товщина елемента, досягнувши якої вагон (або візок) підлягає виключенню з експлуатації, мм.

Залишковий термін служби вагона в цілому встановлюється за мінімальним з обчислених за формулою (3.2) залишковим терміном служби основних несучих елементів металоконструкцій кузова.

Можливість продовження терміну служби для вагонів за результатами обстеження технічного стану встановлюється з таких основних передумов:

- механічні й корозійні пошкодження на момент обстеження не є граничними й за термін, на який продовжується експлуатація вагона, не повинні досягати граничних значень та виходити за межі, за яких вагон підлягає виключенню з інвентарю. При цьому оцінка ступеня подальшого розвитку пошкоджень розглядається для найнесприятливішого збігу факторів, що впливають протягом нового призначеного терміну експлуатації;

- пошкодження механічного й корозійного характеру, що усуваються в процесі ремонту, кваліфікуються залежно від їх виду, місця знаходження, характеру розвитку, розмірів та інших факторів, а також можливості їх усунення під час того чи іншого виду ремонту. При цьому механічні й корозійні пошкодження в обов'язковому порядку усуваються відповідно до чинних правил ремонту [14; 15; 121] за встановленою технологією ремонту;

- доцільність ремонту вагонів з пошкодженнями визначається залежно від технічної можливості відновлення необхідної несучої здатності металоконструкцій кузова й рами вагона, рами та надресорної балки візка, а також обсягу потрібних ремонтних робіт [10; 11; 137; 150; 152].

Вагону може бути проведено повторне технічне діагностування з повторним призначенням нового терміну служби після того, як новий, призначений за результатами технічного діагностування, термін служби буде

вичерпаний.

У технічному рішенні щодо можливості подальшої експлуатації пасажирських вагонів, яке розробляється за результатами технічного діагностування, вказується новий термін служби для кожного вагона та вид ремонту, що для нього рекомендується. Під час визначення виду ремонту враховуються вид і дата попереднього ремонту, технічний стан вагона, технічні можливості того чи іншого виду ремонту щодо усунення виявлених пошкоджень.

Таблиця 3.1

Дані про результати проведеного технічного діагностування пасажирських вагонів Укрзалізниці

Дорога	Обстежено вагонів							
	П МО	Ц МК	І ММ	П МР	П МБ	3 АК	П МПБ	У сього
Придніпро вська	5 13	3 67	1 87	1 4	2 8	1 6	4	1 129
Львівська	2 66	3 05	5 5	1 9	3 7	7	0	6 89
Одеська	2 60	2 03	5 2	1 7	3	5	1 0	5 50
Південно- Західна	3 57	3 26	8 2	7	2 6	1 0	1 8	8 26
Південна	4 19	1 77	1 31	3	3 1	1 2	1 1	7 84
Донецька	2 00	1 31	4 7	7	7	7	4	4 03
Усього	2 015	1 509	5 54	6 7	1 32	5 7	4 7	4 381

За результатами аналізу були визначені вагони, на яких сукупність

мінімальних товщин основних несучих елементів така, що загрожує подальшій експлуатації вагона на магістральних коліях.

При цьому для вагонів були запропоновані такі види ремонту (рис. 3.1–3.3).

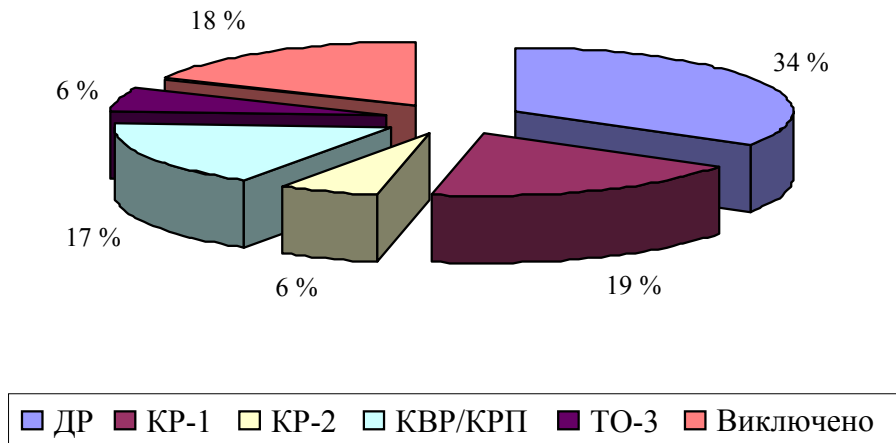


Рис. 3.1. Результати запропонованих видів ремонту вагонів усіх типів після їх технічного діагностування

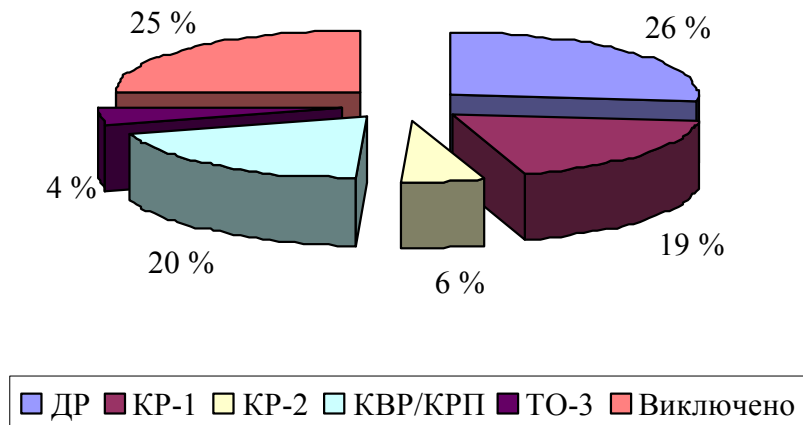


Рис. 3.2. Результати запропонованих видів ремонту для вагонів з хребтовою балкою після їх технічного діагностування

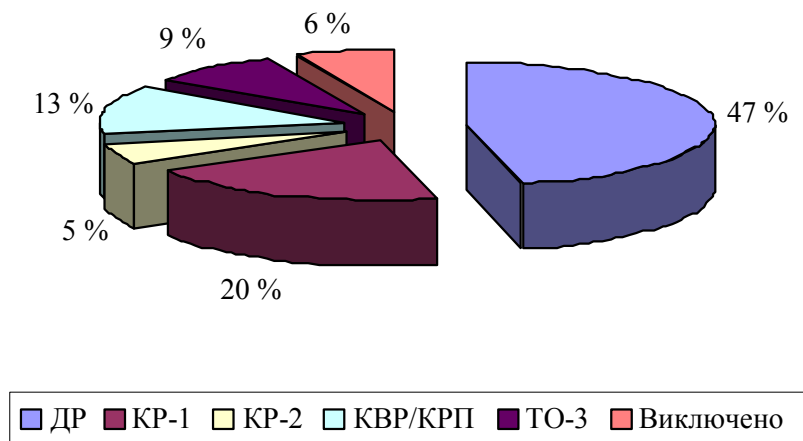


Рис. 3.3. Результати запропонованих видів ремонту для вагонів без хребтової балки після їх технічного діагностування

Наведені значення показують, що кількість вагонів, для яких запропоновані КВР/КРП як види ремонту, становить значну частку в загальному обсязі.

### 3.2. Теоретичні дослідження міцності елементів рами та кузова пасажирських вагонів

Розрахунок міцності елементів рами та кузова вагонів з максимальними корозійними пошкодженнями після 28 років експлуатації. З метою визначення напруженого стану елементів рами та кузова пасажирських вагонів після 28 років експлуатації були розроблені математичні моделі та спеціальне програмне забезпечення, за якими обчислювалися основні параметри зношених елементів рами та кузова вагонів (табл. 3.2). При цьому враховувалися вимоги [90; 91].

Для визначення обсягів пошкоджень несучих елементів рами та кузова пасажирських вагонів під час експлуатації були проаналізовані карти технічного діагностування пасажирських вагонів, обстежених на дорогах Укрзалізниці. Технічному діагностуванню підлягали вагони, що

були в експлуатації понад 28 років.

Таблиця 3.2

Основні параметри зношених елементів вагона, мм

Несучий елемент	Номінальна товщина		Мінімальна товщина	
	Вагон відкритого типу	Купейний вагон	Вагон відкритого типу	Купейний вагон
Верхня частина стінки шворневої балки	8	12	5	8,4
Нижня частина стінки шворневої балки			4	
Верхній горизонтальний лист шворневої балки	10	12	3	12
Нижній горизонтальний лист шворневої балки			2	
Нижня частина обшивки бічної стіни	2,5	3	1,5	3
Полиця Z-ту нижньої обв'язки	6	14,5	3	14,5

При цьому враховувалися такі параметри вагонів (табл. 3.3)

Таблиця 3.3

Основні параметри пасажирського вагона

Параметр	Значення	
	Вагон відкритого типу	Купейний Вагон
Ширина колії, мм	1 520	

Тип кузова	Суцільнометалевий	
Довжина по осях зчеплення, мм	24 537	
Зовнішня довжина кузова, мм	23 976	
Зовнішня ширина кузова, мм	3 105	
База вагона, мм	17 000	
Тара вагона, не більше, т	52	56
Маса візка, кг	7 400	
Розрахункова вага одного пасажир з багажем, кг	100	
Конструкційна швидкість, кг/год	160	

Відповідно до рекомендацій [91] розрахунок міцності кузова був виконаний за допомогою методу кінцевих елементів [9; 13; 18; 46; 51; 84; 85; 89; 1154 126]. Суть методу полягає в мінімізації потенціальної енергії пружної системи, розглянутої як функція переміщення вузлових точок:

$$\Pi = \frac{1}{2} \bar{u}^T G \bar{u} - \bar{f}^T \bar{u}, \quad (3.3)$$

де  $\Pi$  – потенціальна енергія;

$\bar{u}$  – вектор переміщень вузлів;

$G$  – матриця твердості системи;

$\bar{f}$  – вектор вузлових навантажень.

Вираз (3.3) задовольняє рівняння з симетричною позитивно визначеною розрідженою матрицею  $G$ . Розв'язання цієї системи здійснювалося методом Холецкого з попереднім переупорядкуванням номерів степенів вільності за алгоритмом Катхилла–Маккі.

$$G \bar{u} = \bar{f}. \quad (3.4)$$

Пружні переміщення точок, що належать деякому кінцевому елементу  $e$ , визначаються за узагальненими переміщеннями вузлів  $\bar{u}_e$  цього кінцевого елемента:

$$u = U(x, y, z, \bar{u}), v = (x, y, z, \bar{u}), w = (x, y, z, \bar{u}), \quad (3.5)$$

де  $x, y, z$  – координати точки в локальній (тобто прив'язаній до елемента) системі координат;

$u, v, w$  – компоненти переміщення в локальній системі.

Індекс елемента, що позначається  $e$ , у виразі компонентів переміщення опущений і буде опускатися надалі. Пробні функції  $U, V, W$  визначаються обраним типом кінцевих елементів і є лінійними функціями переміщень вузлів  $\vec{u}$ .

Точний розв'язок рівнянь теорії пружності, що описує напружено-деформований стан кузова вагона, надає мінімуму класичному функціоналу теорії пружності

$$\Pi^*(u, v, w) = \int_V \Pi(u, v, w) dV - \int_V F(u, v, w) dV, \quad (3.6)$$

де  $\bar{\Pi}, \bar{F}$  – питомі роботи внутрішніх і зовнішніх сил інтегрування відповідно, виконуються по всьому обсязі конструкції.

Для відшукування мінімуму функціонала  $\Pi^*$  розглядаються лише ті функції, що описують поля переміщень, які задовольняють граничні умови.

Наведемо вирази для роботи внутрішніх сил у стержні та в пластині (з елементів цих типів побудований кузов вагона). Робота внутрішніх сил у стержні дорівнює

$$\int_V \bar{\Pi}(u, v, w) dV = \frac{1}{2} \int_L EAu'^2 dx - \frac{1}{2} \int_L (EI - v''^2 + EI_y w''^2) dx, \quad (3.7)$$

Робота внутрішніх сил у пластині при деформаціях у власній площині становить

$$\int_V \Pi(u, v, w) dV = \frac{Eh}{2(1+\mu)} \int_S \left\{ \frac{1}{1-\mu} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2\mu \frac{\partial u \partial v}{\partial y \partial x} \right] + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right]^2 \right\} dx dy. \quad (3.8)$$

Робота внутрішніх сил у пластині при вигині

$$\int_V \Pi(u, v, w) dV = \frac{Eh}{24(1+\mu^2)} \int_S \left\{ \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]^2 + 2(1-\mu) \left[ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \right\} dx dy. \quad (3.9)$$

де  $E, \mu$  – модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона для матеріалу стержня (пластини) відповідно;

$A, I_y, I_z$  – відповідно площа й головні центральні моменти інерції



поперечного перерізу стержня;

$h$  – товщина пластини; інтегрування здійснюється по довжині стержня ( $L$ ) чи по площі пластини в серединній площині ( $S$ ).

У виразах роботи внутрішніх сил функції  $u, v, w$  задають пружні переміщення точок, що лежать на осі стержня в серединній площині пластини.

Матрицю твердості елемента  $G_e$  отримують шляхом постановки базисних функцій у виразах для роботи внутрішніх сил. Після підстановки маємо вираз, за яким і визначається матриця  $G_e$ . Матриця твердості конструкції  $G$  є сумою матриць твердості окремих елементів.

$$\Pi = \frac{1}{2} \bar{u}_e^T G_e \bar{u}_e, \quad (3.10)$$

$$G = \sum_e G_e. \quad (3.11)$$

Зауважимо, що перед обчисленням матриці  $G$  потрібно звести визначені в локальних системах координат матриці твердості окремих елементів  $G_e$  до глобальної системи координат шляхом множення їх на матриці переходу, ненульові елементи яких дорівнюють напрямним косинусам відповідних локальних систем координат.

Вузли мають такі степені вільності (індекс  $j$  відповідає вузлу  $V_j$  і набуває значення 1,2):

$u_j, v_j, w_j$  – переміщення уздовж локальних осей  $x, y, z$ ;

$\vartheta_j, \varphi_j, \phi$  – кути повороту навколо локальних осей  $x, y, z$ .

Вектор переміщень вузлів:

$$\bar{u} = [u_1 \ v_1 \ w_1 \ \vartheta_1 \ \varphi_1 \ \phi_1 \ u_2 \ v_2 \ w_2 \ \vartheta_2 \ \varphi_2 \ \phi_2]^T. \quad (3.12)$$

Пробні функції:

$$U(x, \bar{u}) = u_1 \frac{l-x}{l} + u_2 \frac{x}{l}, \quad (3.13)$$

$$V(x, \bar{u}) = v_1 \left( 2 \frac{x}{l} + 1 \right) \left( \frac{x}{l} - 1 \right)^2 + v_2 \frac{x^2}{l^2} \left( 2 \frac{x}{l} - 3 \right) + \phi_1 x \left( \frac{x}{l} - 1 \right)^2 + \phi_2 x^2 \left( \frac{x}{l} - 1 \right), \quad (3.14)$$



повороту поперечних переріз стержнів або з кутами повороту прилеглих до вузла малих ділянок серединної поверхні пластини (при цьому деформації в самій серединній поверхні не враховуються).

На рис 3.4 – 3.6 наведені кінцеві елементи, що використовуються для побудови моделі.

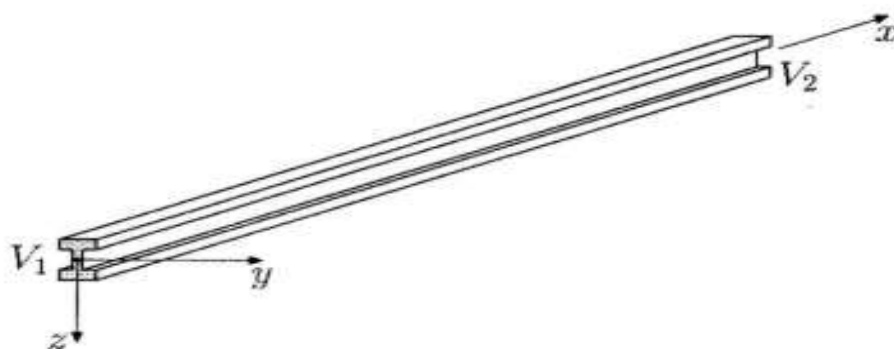


Рис. 3.4. Стержневий кінцевий елемент

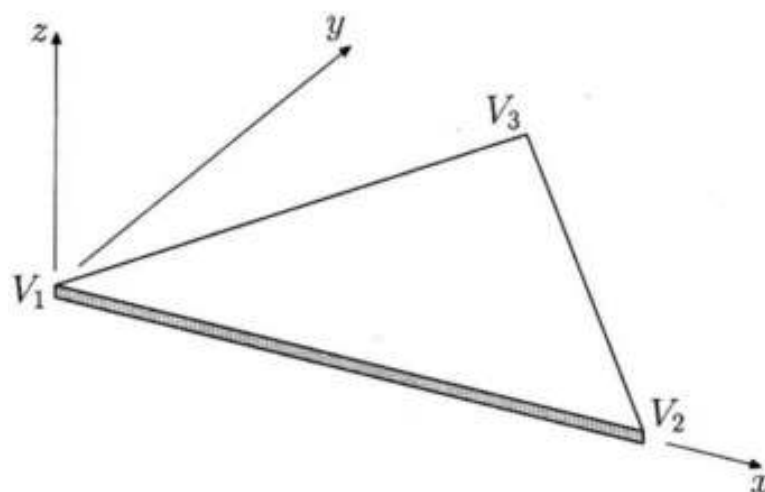


Рис. 3.5. Трикутний плоский кінцевий елемент

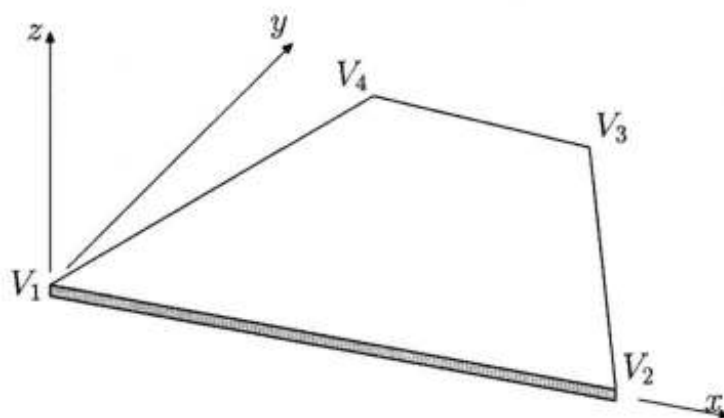


Рис. 3.6. Чотирикутний плоский кінцевий елемент

Розрахункові схеми кузовів наведені на рис. 3.7–3.8

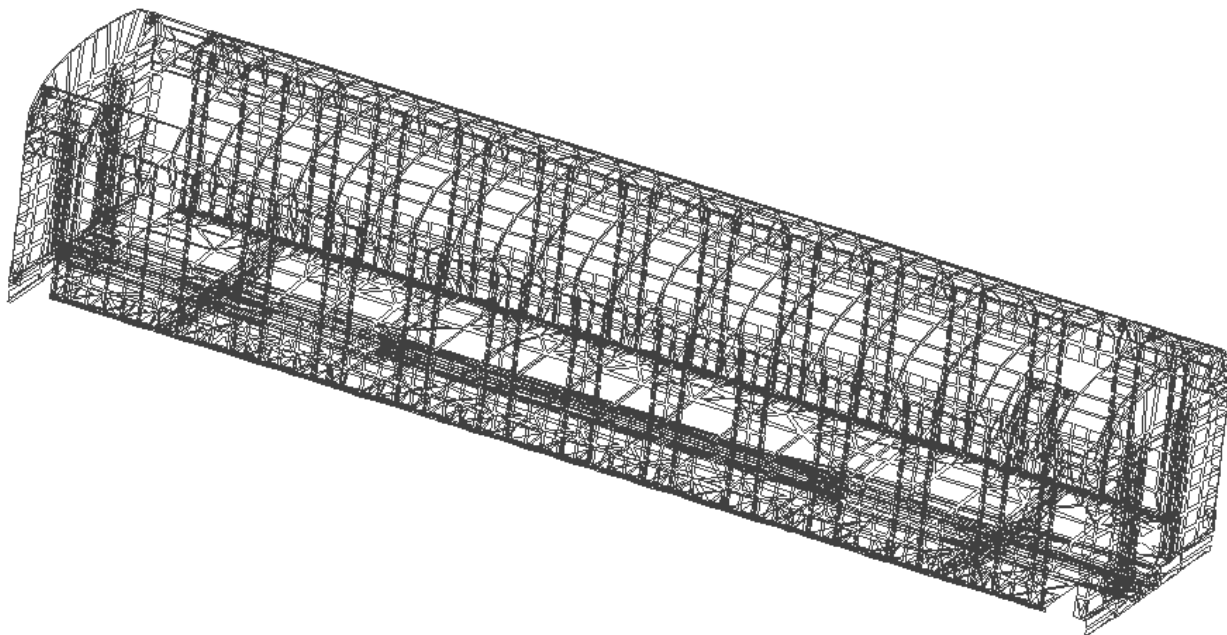


Рис. 3.7. Розрахункова схема кузова вагона відкритого типу

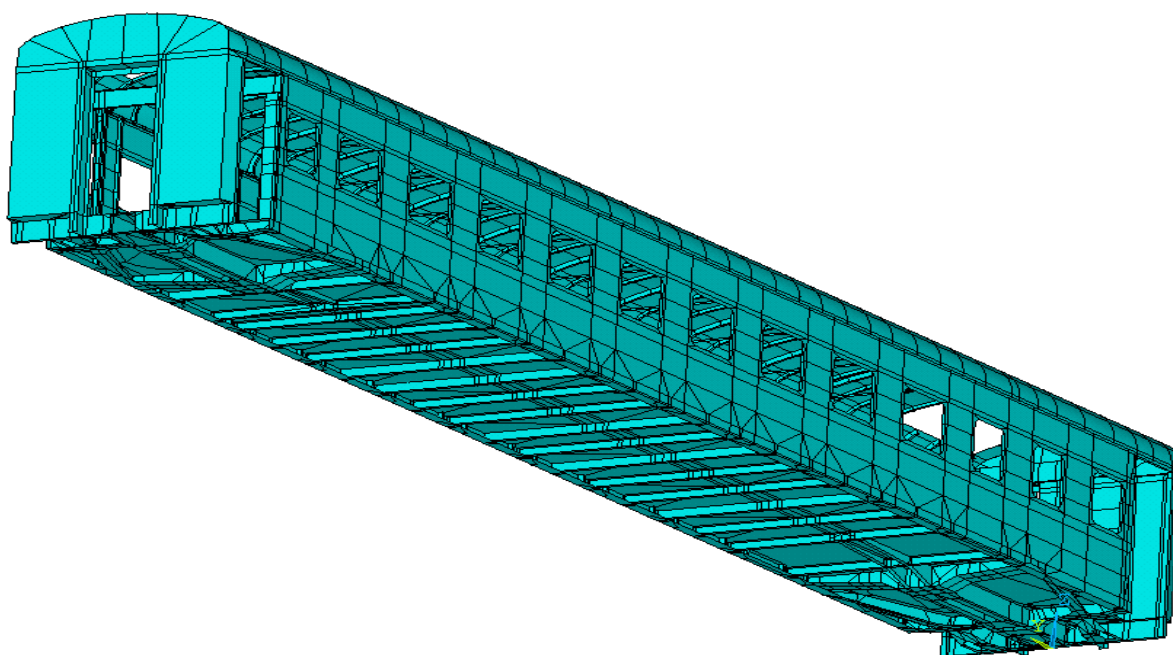


Рис. 3.8. Розрахункова схема кузова вагона купейного типу

Для вагона відкритого типу розрахунок виконаний за допомогою програмного комплексу SCAD, при цьому розрахункова схема містить 3 593 вузли і 8 516 кінцевих елементів за таких допущень:

- як стержні розглядаються стояки, верхня обв'язка, дуги даху, проміжні балки рами (стержневі кінцеві елементи працюють на розтягання (стиск), вигин, крутіння і зрушення);

- хребтова, шворневі й кінцеві балки, а також нижня обв'язка, обшивка бічних і торцевих стін, обшивка даху й настил підлоги моделювалися за допомогою плоских кінцевих елементів (плоскі кінцеві елементи працюють на вигин (як пластини) і на розтягання (стиск) під дією сил, лінії дії яких лежать у серединній площині). Для вагона купейного типу розрахунок виконаний за допомогою програмного комплексу ANSYS v.11.0, при цьому розрахункова схема містить 31 724 вузли і 32 684 кінцеві елементи за такого допущення: усі елементи вагона (обшивка бічних й торцевих стін, обшивка даху й настил підлоги, хребтова, шворневі й кінцеві балки, а також нижня обв'язка) моделювалися за допомогою плоских кінцевих елементів (плоскі кінцеві елементи працюють на вигин (як пластини) і на розтягання (стиск) під дією сил, лінії дії яких лежать у серединній площині). “Нормами” [91] передбачено розрахунки в трьох розрахункових режимах:

- I розрахунковий режим моделює зрушення з місця, екстрене гальмування за малих швидкостей руху, зіткнення при маневровій роботі й т.ін.;

- II розрахунковий режим моделює рух потяга на розрахунковому підйомі при включенні пасажирських вагонів до складу вантажного потяга;

- III розрахунковий режим моделює рух вагона з конструкційною швидкістю, що супроводжується регульовальним гальмуванням.

Кожному з цих розрахункових режимів відповідає комбінація навантажень, що прикладаються до кузова вагона. Навантаження поділені на три групи: поздовжні, вертикальні й бічні.

Поздовжні навантаження - це поздовжня сила, що розтягує чи стискає раму вагона. У розрахунку за I режимом прикладається стискна сила 2,5 МН, за II режимом розтяжна сила 1,5 МН. При розрахунку за III режимом окремо оцінюється міцність кузова при дії сили, що розтягує і стискає його.

Групу вертикальних навантажень утворюють сила ваги кузова вагона, сила ваги внутрішнього устаткування, екіпірування й пасажирів з багажем. У цю групу, крім перерахованих вище статичних навантажень, входять також динамічні добавки, що викликані прискоренням кузова у вертикальному напрямку під час руху вагона [55; 112; 113].

Сила ваги  $Q$ , що діє на кузов вагона, дорівнює різниці ваги бруutto вагона та ваги візків і складає для вагона відкритого типу 420 кН, а для вагона купейного типу 460 кН. Це навантаження прикладалося в такий спосіб. Кузов спочатку був навантажений силою ваги, що діє на металоконструкцію кузова, і силами ваги великих одиниць устаткування, маса яких становить, кг:

Кондиціонер .....	760
Бак з водою.....	980
Котел.....	870
Ящик низьковольтної апаратури.....	140
Ящик високовольтної апаратури.....	150
Перетворювач ПТК-2.....	455
Генератор.....	725
Електророзподільна шафа.....	210
Ящики з вугіллям.....	2×250
Ударно-тягові пристрої, перехідні площадки.....	2400
Ящик з акумуляторними батареями.....	2×1160

У розрахунку за I режимом враховується тільки вертикальне статичне навантаження. У розрахунку за II і III режимами враховується також динамічна добавка шляхом множення статичного навантаження на множник  $(1+k_{дв})$ .

Величина  $k_{дв}$  розраховується за формулою

$$k_{\text{дв}} = \bar{k}_{\text{дв}} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(k_{\text{дв}})}}, \quad (3.19)$$

де  $\bar{k}_{\text{дв}}$  – середнє значення коефіцієнта вертикальної динаміки (математичне сподівання процесу  $k_{\text{дв}}(t)$ ),  $P(k_{\text{дв}}) = 0,97$  – надійна ймовірність.

Середнє значення  $k_{\text{дв}}$  визначається в такий спосіб:

$$\bar{k}_{\text{дв}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \frac{V - 15}{f_{\text{ст}}}, \quad (3.20)$$

де  $a=0,05$  для елементів кузова;

$V$  — швидкість руху, м/с;

$f_{\text{ст}}$  — статичний прогин ресорного підвішування,  $f_{\text{ст}} = 0,15$  м;

$b$  — коефіцієнт, що залежить від кількості осей у візку,  $b=1$ .

Для II розрахункового режиму  $V=15$  м/с. У цьому випадку

$$\bar{k}_{\text{дв}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{15 - 15}{0,15} = 0,05,$$

$$k_{\text{дв}} = 0,05 \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,106.$$

Для III розрахункового режиму  $V=160$  км/год=44,4 м/с,

$$\bar{k}_{\text{дв}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{44,4 - 15}{0,15} = 0,121,$$

$$k_{\text{дв}} = 0,121 \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,256.$$

Бічне навантаження враховується тільки в розрахунку за III режимом. Сумарна величина бічного навантаження в цьому випадку дорівнює 12,5 % від ваги бруто вагона  $Q$ , тобто 57,5 кН. Бічне навантаження прикладене до верхньої і нижньої обв'язки бічних стінок.

Під час розрахунків розглядалися навантаження, що відповідають I розрахунковому режиму та III режиму при дії стискної поздовжньої сили (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Навантаження за різними варіантами, кН

Варіант навантаження (розрахунковий режим)	Поздовжнє навантаження	Вертикальне навантаження	Бічне навантаження
1 (I)	- 2 500	460	—
2 (III)	- 1 000	578	57,5

Допустимі навантаження для елементів кузова, виготовлених зі Ст3, відповідно до [5, табл. 10.1] за I розрахунковим режимом дорівнюють  $[\sigma]_I = \sigma_T = 250$  МПа, а допустимі напруження для елементів кузова, виготовлених зі Ст3, відповідно до [5, табл. 10.1] за III розрахунковим режимом дорівнюють  $[\sigma]_{III} = 155$  МПа для хребтової і шворневої балок і  $[\sigma]_{III} = 165$  МПа для інших елементів кузова. Розрахунок міцності вагонів після КВР. Розрахунки міцності пасажирських вагонів після КВР виконувалися для визначення рівня напружень за „Нормами” [5].

Визначення напруженого стану елементів рами та кузова вагонів після КВР проводилося за тими ж математичними моделями.

Розрахункові схеми та схеми напруження вагона подібні до тих, що застосовувалися в розрахунку вагона, який має корозійні та механічні пошкодження, але товщини елементів відповідають номінальним розмірам.

Допустимі навантаження для елементів кузова, виготовлених зі Ст3, приймаються відповідно до [5].