

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту

МЯМЛІН ВЛАДИСЛАВ ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 658.527:629.48

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ СТВОРЕННЯ ГНУЧКИХ
ПОТОКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний економіко-технологічний університет транспорту, кафедра вагонів та вагонного господарства, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор
Бубнов Валерій Михайлович,
Товариство з обмеженою відповідальністю «Головне спеціалізоване конструкторське бюро вагонобудування імені Валерія Михайловича Бубнова» ПАТ «Азовмаш», директор-генеральний конструктор.

Захист відбудеться «17» червня 2016 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «____» травня 2016 року.

В.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради

 О. М. Огар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна має розгалужену мережу залізниць і потужний парк рухомого складу, від стану яких залежить розвиток багатогалузевої економіки країни. Перспективи інтеграції України в європейське товариство вимагають від залізничного транспорту підвищення конкурентоспроможності за рахунок покращення якості перевезень та зниження експлуатаційних витрат. На рівні з вирішенням інших залізничних проблем велика відповідальність в цьому плані покладається і на вагонне господарство країни, яке повинно за рахунок підвищення ефективності та якості ремонту підтримувати рухомий склад залізниць в належному технічному стані.

Створення високоефективних виробництв, що сприяють якісному обслуговуванню й ремонту вагонів завжди було одним із пріоритетних завдань вагонного господарства залізниць. Адже від того, наскільки якісно виконаний ремонт, не в останню чергу залежить і безпека самого перевізного процесу. Велика роль при цьому відводиться плановому ремонту вагонів, який сприяє не тільки підтриманню вагонів у працездатному стані, а й продовженню їхнього ресурсу. Проте на сьогодні вагонне господарство України має надмірно велику, але абсолютно неефективну вагоноремонтну базу. На вітчизняні залізниці припадає значна частка всіх вагоноремонтних підприємств держав СНД та Балтії. Водночас за чверть століття вагонне господарство України не тільки не розвинулося, але й втратило свій колишній виробничий потенціал. Деяким підприємствам уже більше 70 років, а знос обладнання становить 60–75 %. Враховуючи, що вагоноремонтні підприємства залізничного транспорту в основному вже морально і фізично застаріли, а технологічне переоснащення їх практично не виконується, здійснювати зазначені завдання їм стає все важче. При цьому слід зазначити, що раніше під час будівництва вагонних депо передбачався лише один лінійний варіант розміщення вагонів на площах вагоноремонтних ділянок – вагони розміщувалися вздовж будівельних прольотів на 2–3 паралельних залізничних коліях. Така технологічна схема дозволяла здійснювати ремонт вагонів або стаціонарним, або поточковим методом. При цьому потік міг бути тільки "жорстким" – одночасне переміщення всіх вагонів. Така організація технології ремонту зовсім не враховувала ймовірнісний характер вагоноремонтного виробництва, через який постійно порушувалася величина встановленого такту, що призводило до вимушеного непродуктивного простою технологічного обладнання та виконавців, тобто їх неефективного використання. Різні заходи організаційного характеру в межах існуючих можливостей абсолютно не могли призвести до істотних поліпшень у роботі поточкових ліній. Протиріччя між індустріальними методами ремонту та ймовірнісним характером ремонтного процесу призводило до зниження пропускної спроможності поточкових ліній і збільшення простоїв вагонів у ремонті, а тим самим сприяло збільшенню експлуатаційних витрат. На сучасному етапі, коли обсяги ремонтних робіт на вагонах значно збільшилися через моральне та фізичне старіння рухомого складу, це протиріччя поглибилося. Треба відзначити, що ця проблема стосується не тільки вагоноремонтної бази України, а й багатьох інших держав.

Щоб бути конкурентоспроможною залізничній галузі необхідно оволодіти новими високоефективними технологіями, впроваджувати інноваційні методи роботи, удосконалювати організацію виробництва. У зв'язку з цим вагоноремонтну базу необхідно не просто модернізувати та реконструювати, її необхідно підняти на більш високий технологічний рівень розвитку.

Одним з таких шляхів є впровадження гнучких потокових технологій ремонту рухомого складу залізниць. Використання на вагоноремонтних підприємствах гнучких потокових технологій дозволить значно збільшити пропускну спроможність дільниць і скоротити час перебування рухомого складу в ремонті, тим самим значно покращивши техніко-економічні показники виробництва. Гнучкі потокові технології являють собою новий напрямок у ремонті рухомого складу, який раніше теоретично та практично не був вивчений. Тому є гостра потреба в розробці методів його застосування при проектуванні, плануванні та організації процесу ремонту. Для вибору раціональних параметрів гнучких виробництв, їх структури, комплектування ремонтних дільниць, оцінки майбутніх можливостей потоків у подальшій експлуатації необхідні нові методи й математичні моделі для їх дослідження ще на стадії проектування та модернізації.

Тому тема дисертаційної роботи, що пов'язана із розвитком наукових основ ремонту рухомого складу на базі гнучких потокових технологій, є вельми актуальною не тільки для залізничного транспорту України, а й для залізничного транспорту інших країн.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна відповідно до планів науково-дослідних робіт університету, які виконуються в рамках галузевих програм Міністерства інфраструктури України, Укрзалізниці та Придніпровської залізниці, бюджетних програм Міністерства освіти і науки України, а також за міжнародними договорами за такими темами:

- постановка на виробництво «Цеху з ремонту вантажних вагонів»;
- розробка опису та постановки задач автоматизованого планування ремонту вантажних вагонів;
- розробка технічних вимог до автоматизованої системи планування ремонту вантажних вагонів;
- розробка технічних рішень щодо експлуатації нової вагонної техніки в реальних умовах;
- дослідження зразків нової вагонної техніки в реальних умовах експлуатації;
- техніко-економічне обґрунтування розвитку виробничої бази ЦМКР ст. Знам'янка. Технологічний розділ;
- аналіз технічного стану вантажних вагонів, термін служби яких закінчився, систематизація даних, підготовка, оформлення та узгодження технічного рішення щодо подовження терміну їх експлуатації;
- розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів з урахуванням новітніх матеріалів та застосування сучасних технологій зварювання зі зниженням енерговитрат (№ держреєстрації 0114U002548);

– розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосування сучасних технологій зварювання (№ держреєстрації 0116U003751), за якими автор є виконавцем та автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності потокових методів ремонту рухомого складу шляхом розвитку наукових основ створення гнучких потокових технологій. Для досягнення поставленої мети в дисертації необхідно сформулювати понятійно-термінологічний апарат, методологічний імператив і методологічний інструментарій створення та аналізу гнучких потокових технологій для чого треба розв’язати такі завдання:

- виконати комплексний аналіз наукових досліджень і технічних рішень з організації потокового методу ремонту рухомого складу;
- зібрати, обробити й проаналізувати статистичний експериментальний матеріал по кожній одиниці рухомого складу при деповському ремонті за різними видами робіт, дефектів та операцій для встановлення законів розподілу випадкових величин трудомісткостей ремонтних робіт;
- виявити та проаналізувати причини, що впливають на час знаходження вагонів на ремонтних позиціях потоку;
- розробити на базі гнучких потокових технологій варіанти компоновки генерального вагоноремонтного потоку та провести структурно-параметричний аналіз різних варіантів гнучких потоків для ремонту вагонів, розрахувати їх структурну гнучкість та обґрунтувати вибір раціональних варіантів структур;
- розробити за допомогою теорії графів метод раціонального компонування підрозділів і ділень вагоноремонтних підприємств нового покоління;
- розробити алгоритм розрахунку основних параметрів та показників функціонування вагоноремонтних потоків з урахуванням їх гнучкості;
- розробити алгоритм розв’язання задачі векторної оптимізації за двома показниками при виборі гнучкої технології ремонту;
- розробити на базі математичного апарату теорії кусково-лінійних агрегатів математичні моделі функціонування різних модулів гнучких потоків ремонту рухомого складу;
- розробити алгоритми та імітаційні комп’ютерні програми моделювання ремонтних процесів при різних структурних варіантах гнучких потоків;
- підготувати вихідні дані для моделювання ремонтних процесів на потоці;
- провести комплексні теоретичні дослідження функціонування гнучких вагоноремонтних потоків за різною структурою з розрахунком необхідних показників та виконати їх аналіз і синтез;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих науково-технічних рішень.

Об’єктом дослідження є процес потокового ремонту рухомого складу залізниць.

Предметом дослідження є гнучкі потокові технології ремонту рухомого складу та методи їх створення.

Методи дослідження. Постановка завдань дослідження, вибір методів їх ви-

рішення та аналіз результатів здійснено з використанням методів системного аналізу. Теоретичні методи досліджень ґрунтувалися на системному підході до аналізу поточкових технологій ремонту вагонів. Окремі завдання дослідження розв'язувалися з використанням таких методів: теорії ймовірностей і математичної статистики – для обробки експериментальних даних по трудомісткості ремонтних робіт на вагонах, теорії кусково-лінійних агрегатів – для опису функціонування різних модулів потоку, теорії графів – для раціонального компонування підрозділів вагоноремонтного підприємства, векторної оптимізації – для вибору варіанта гнучкої технології за двома показниками, комбінаторики – для аналізу структур потоків, методів експертних оцінок, імітаційного моделювання на комп'ютерах – для аналізу функціонування потоків.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему, яка існує при індустріальному ремонті рухомого складу залізничного транспорту й пов'язана із суперечністю між регламентованим тактом «жорсткої» потокової лінії й значними коливаннями трудомісткості ремонтних робіт на об'єктах, шляхом розробки методології підвищення ефективності поточкового ремонту рухомого складу, а саме:

вперше комплексно підтверджено й науково обґрунтовано суттєві переваги гнучких вагоноремонтних потоків порівняно з «жорсткими» поточковими лініями, тим самим підготовлено засади теорії гнучкого вагоноремонтного виробництва, які можуть бути покладені в основу створення вагоноремонтних підприємств нового покоління;

вперше в результаті виконаного комплексного аналізу експериментальних даних з дефектів та операцій при деповському ремонті суцільнометалевих піввагонів отримано закони розподілу випадкових величин трудомісткостей різних видів ремонтних робіт на позиціях потоку, що дозволяє створити вихідну базу даних для визначення можливих варіантів ефективного використання виробничих потужностей;

вперше за допомогою структурно-параметричного аналізу здійснено пошук раціональних структурних варіантів організації гнучких вагоноремонтних потоків при різній кількості ремонтних позицій на потоці та різній кількості ремонтних модулів на позиціях, а також введено і розраховано показник структурної гнучкості потоку;

вперше на основі математичних моделей теорії кусково-лінійних агрегатів описано процес функціонування потоків для ремонту рухомого складу залізниць, що, на відміну від існуючих аналітичних моделей теорії масового обслуговування, дозволяє адекватніше описати реальний процес та одержати більш достовірні результати;

вперше імітаційні моделі функціонування поточкових технологічних виробництв розроблено в імовірнісному виконанні, коли простежується рух кожного окремого вагона через всі позиції потоку, що, на відміну від існуючих спрощених моделей, які розроблені в квазірегулярному виконанні й враховують лише усереднені показники по кожній позиції для визначення параметрів всього потоку, дозволяє одержати важливі додаткові показники процесу ремонту;

вперше науково обґрунтовано можливість застосування гібридного процесу ремонту, коли в єдиному гнучкому потоці можливо як успішно ремонтувати різні типи рухомого складу залізниць, так і виконувати різні види ремонту, що дозволяє значно розширити номенклатуру ремонтіваних виробів і робить виробництво менш залежним від конкретних об'єктів ремонту, на відміну від спеціалізованих депо, що виконують ремонт лише окремих типів вагонів;

вперше на підставі матриці взаємодії підрозділів і моделей теорії графів запропоновано метод формування структурно-логістичного комплексу основних технологічних дільниць вагоноремонтного підприємства, яке використовує гнучкий потік, що дозволить значно скоротити транспортні маршрути для переміщення окремих вузлів, деталей та вагонів у цілому;

удосконалено принцип роботи й конструкцію транспортного агрегату для переміщення вагонів між позиціями гнучкого ремонтного потоку, що дозволить підвищити ефективність транспортних операцій і безпеку технологічного процесу ремонту вантажних вагонів;

удосконалено алгоритми проектування та функціонування технологічних процесів ремонту вагонів на базі гнучких потоків, а також розроблені на їх основі імітаційні моделі й комп'ютерні програми в частині урахування додаткових важливих показників, які раніше не враховувалися;

удосконалено на підставі аналізу можливих чинників алгоритм розв'язання задачі векторної оптимізації за двома показниками при розробці гнучкої технології ремонту, що дає можливість суттєво підвищити ефективність вибору варіанта рішення при ремонті, яке дозволить мінімізувати як час простою в ремонті, так і вартість ремонту взагалі;

набули подальшого розвитку аналітичні методи розрахунку основних параметрів потокового вагоноремонтного виробництва в частині ремонту в єдиному потоці різних типів вагонів та виконання різних видів ремонту;

набув подальшого розвитку понятійно-термінологічний апарат методології розробки гнучких потокових технологій, що дозволяє сформулювати відповідні теоретичні положення та розширити можливості використання потокових технологій.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновано значно ефективніші методи організації ремонту рухомого складу залізниць, які можуть бути покладені в основу при проектуванні, будівництві та реконструкції конкретних підприємств нового покоління з ремонту рухомого складу.

Запропоновані в дисертаційній роботі гнучкі потоки ремонту вантажних вагонів були використані Проектно-вишукувальним інститутом залізничного транспорту України ДП «Дніпрозалізничпроект» в проекті № 7713 «Основні технологічні рішення будівництва спеціалізованого вагоноремонтного комплексу для ремонту апаративозів і вагонів для перевезення мінеральних добрив на ст. Апатити-1 Октябрьської залізниці». Крім того, запропоновані в дисертаційній роботі основні технічні та технологічні рішення і методи імітаційного моделювання вагоноремонтних потоків прийняті ДП «Дніпрозалізничпроект» для використання при виконанні проекту реконструкції вагонного депо на ст. Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці з переведенням його на

повний цикл ремонту вантажних вагонів за гнучкою технологією (акт впровадження результатів виконаних досліджень від 22.11.2011).

Отримані в дисертаційній роботі результати були використані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в таких розробках:

- багатофункціональний виробничий комплекс з ремонту та виготовлення рухомого складу залізниць Азербайджану на базі вагонного депо Гянджа;
- сучасне депо для ремонту вантажних вагонів за гнучкою технологією у Вільній економічній зоні «Астана» (Республіка Казахстан);
- розширення вагонного депо ст. Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці з переведенням його на гнучкий потік ремонту вагонів.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес при підготовці спеціалістів та магістрів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та слухачів курсів підвищення кваліфікації в Інституті післядипломної освіти (акти впровадження від 21.04.2015 та 28.05.2015).

Особистий внесок здобувача. Усі основні положення та наукові результати, які виносяться на захист, отримано автором самостійно, 53 наукових роботи [1–7, 9, 12, 14–16, 18–45, 47, 49, 50, 52, 54–62] опубліковано без співавторів. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [8] – виконано аналіз методів технічного обслуговування і ремонту рухомого складу за кордоном; [10] – проаналізовано існуючу систему технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів; [11] – здійснено постановку задачі векторної оптимізації та розроблено алгоритм її вирішення при виборі гнучкої технології ремонту вагонів; [13] – розроблено алгоритм моделювання потоку для ремонту вагонів; [17] – запропоновано принцип роботи та конструктивні рішення транспортного агрегату для переміщення вагонів; [46, 48] – запропоновано новітні технології для вагоноремонтних підприємств; [51] – запропоновано заходи з підвищення надійності потоку за рахунок збільшення модулів на позиціях та організації транспортної гнучкості; [53] – запропоновано не об'єкти ремонту адаптувати під потік, а, навпаки, потік адаптувати під об'єкти ремонту.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи доповідалися на таких міжнародних наукових конференціях та семінарах: 68-й, 69-й, 70-й, 71-й, 72-й, 73-й, 74-й, 75-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, Дніпропетровськ, 2008–2015 рр.); IV Всеросійській науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития вагоностроения» (Росія, Брянськ, 2008 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи» (Дніпропетровськ, 2008 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Внедрение наукоёмких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте» (Крим, Ялта, 2008 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (Республіка Білорусь, Гомель, 2008 р.); VI, VII та VIII Міжнародних науково-

технічних конференціях «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты» (Росія, Санкт-Петербург, 2009 р., 2011 р., 2013 р.); 6-й Міжнародній науковій конференції «Трансбалтика –2009» (Литва, Вільнюс, 2009 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (Дніпропетровськ, 2010 р.); V та VI Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблемы безопасности на транспорте» (Республіка Білорусь, Гомель, 2010 р., 2012 р.); VII Міжнародній партнерській конференції «Проблемы рухомого складу: шляхи рішення через взаємодію державного та приватного секторів» (Крим, Ялта, 2011 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка, управління» (Київ, 2011 р.); 74-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Харків, 2012 р.); III Міжнародній партнерській конференції «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» (Ялта, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Вагони нового покоління – із XX в XXI сторіччя» (Харків, 2013).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалася та обговорювалася на науковому семінарі кафедри вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (протокол № 3 від 27.11.2014) та на міжкафедральному науковому семінарі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (протокол № 1 від 10.09.2015).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 62 наукових працях, з яких 1 монографія, 22 статті надруковано у фахових виданнях, з яких 5 у закордонних виданнях та в журналах України, що входять до наукометричних баз даних, 38 публікацій апробаційного характеру і тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, 1 авторське свідоцтво.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг тексту дисертації складає 403 сторінки, у тому числі 273 сторінки основного тексту, 67 рисунків та 23 таблиці. Розташовані на окремих сторінках рисунки та таблиці займають 28 сторінок. Список використаних джерел включає 372 найменування на 41 сторінці, 6 додатків розташовано на 61 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету, завдання, об'єкт та предмет досліджень, наведено методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про публікацію основних результатів дослідження та їх апробацію.

У **першому розділі** здійснено огляд та виконано ретроспективний аналіз застосовуваних методів ремонту рухомого складу на підприємствах залізничного транспорту. Особливу увагу приділено потоковим методам ремонту.

Питаннями організації ремонту вагонів на потокових лініях у різний час займалися дуже багато вчених і практиків: В. Г. Анофрієв, Д. К. Аяшева, Ю. С. Бараш, М. М. Болотін, А. Л. Бродовський, В. П. Бугаєв, В. І. Букін, В. В. Васецький, В. Г. Воротніков, А. Ю. Дударєв, В. О. Йожиков, О. В. Кирилюк, С. Г. Комаров, М. З. Криворучко, В. М. Котуранов, Ф. О. Лапшин, П. М. Налівайко, О. О. Ножевніков, О. М. Ножевніков, В. Ф. Разон, Г. В. Райков, В. І. Сенько, К. О. Сергєєв, І. Ф. Скіба, А. К. Сорока, П. А. Устич, П. М. Чернишов, І. І. Хаба.

Потоковим методом ремонту контейнерів займалися А. І. Біленко, Є. В. Трушкін та А. А. Огурцов.

Потоковому методу ремонту та діагностиці тягового рухомого складу присвячені роботи Є. Л. Дубинського, Є. З. Гизатуліна, А. І. Іуніхіна, Ю. М. Колесникова, М. М. Майзеля, Ю. В. Мирошніченко, К. В. Панова, Б. Г. Постола, В. А. Смірнова, Є. Г. Стеценко, Е. Д. Тартаковського, Н. І. Фількова, Г. Ф. Яковлева.

Розвиток потокових методів ремонту рухомого складу в цілому пов'язаний із загальним станом і прогресом у ремонтному господарстві. Питаннями вдосконалення конструкцій, технології, системи ремонту й технічного обслуговування рухомого складу, його надійністю, моделюванням, економічними обґрунтуваннями, а також загальними питаннями розвитку транспорту та реструктуризації підприємств займалася чимала кількість фахівців, серед яких можна виділити таких авторів: П. С. Анісімов, М. Ф. Ареф'єв, Ю. П. Бороненко, О. О. Бейгул, Б. Е. Боднар, І. Д. Борзилов, А. А. Босов, В. М. Бубнов, В. П. Бугаєв, Ю. В. Булгакова, В. І. Букін, Т. В. Бутько, Г. Вайчунас, Д. І. Волошин, Г. К. Гетьман, В. Ф. Головкин, В. Л. Горобець, В. В. Готаулін, В. І. Гридюшко, В. К. Губенко, О. М. Гуда, І. В. Гундаєв, В. О. Дзензерський, А. В. Донченко, Ю. В. Дьомін, В. Л. Дикань, Г. Д. Ейтутіс, К. Б. Жакупов, І. В. Ісопенко, Ю. Є. Калабухін, Р. Ф. Канівець, М. І. Капіца, М. В. Кареліна, М. Б. Кельріх, Д. М. Козаченко, С. М. Коржин, С. М. Корнілов, О. Ю. Кривич, А. Я. Куліченко, Л. Лінгайтис, Д. В. Ломотько, Т. В. Лисевич, І. Е. Мартинов, В. Г. Маслієв, В. М. Меланін, А. Р. Мілянйч, В. К. Міроненко, М. І. Міщенко, В. І. Мороз, К. В. Мотовілов, Л. А. Мурадян, Н. М. Науменко, Т. В. Нескуба, С. В. Панченко, В. М. Пасько, С. А. Покровський, О. М. Пшінько, В. Г. Равлюк, М. О. Радченко, О. М. Савчук, Р. К. Сатова, Н. Ф. Сіріна, Д. А. Сергєєв, О. Сладковський, М. М. Сосунов, В. П. Ткаченко, О. В. Устенко, А. П. Фалендиш, А. Худзикович, В. О. Шамагін, В. В. Шевченко, Д. І. Шикіна, А. В. Шилович, вчені з МГУПС, ПГУПС, ДЕУТ, УДУЗТ, СУНУ, КазАТК, ВГТУ та інші.

Показано, що свого часу у вагонному господарстві створено міцну виробничо-технічну базу для ремонту вагонів. Протягом порівняно невеликого терміну було побудовано значну кількість вагонних депо. Але детальний аналіз потокового вагоноремонтного виробництва дозволив зробити висновок, що всі вагонні депо, побудовані в той період, передбачають тільки «жорстку» технологічну структуру. Така структура складається з послідовно сполучених елементів (позицій), і вихід будь-якого елемента з ладу відбивається на роботі всієї потокової лінії. Зі

зростанням інтенсивності експлуатації вагонів, а також з виробництвом нових вагонів, що мають різні конструктивні відмінності, значно стала змінюватися й трудомісткість їх ремонту. А для «жорсткого» потоку необхідно, щоб виконання робіт на всіх позиціях завершувалося б одночасно. Збій такту на будь-якій позиції в таких умовах впливає на роботу всього потоку. Тому зусилля вагоноремонтної науки в питаннях організації виробництва було тривалий час здебільшого спрямовано на вдосконалення синхронізації робіт на позиціях «жорстких» потокових ліній.

Слід звернути увагу також і на те, що слідом за деяким підйомом після переходу на потоковий метод подальшого зростання не спостерігалось, навіть навпаки – деякі вагоноремонтні підприємства стали втрачати свої позиції, і він навіть пішов на спад. Це пов'язано з багатьма причинами, але насамперед з імовірнісним характером вагоноремонтного виробництва і тим, що так не відповідає йому, детермінованою потоковою формою його реалізації.

Перші потоки, використовувані для ремонту вагонів, успадкували основні ознаки потоків машинобудування 30-х років минулого століття, а насамперед – «жорсткий» тип потокової лінії з одночасним переміщенням усіх вагонів. Тому всі існуючі на сьогоднішній день на вагоноремонтних підприємствах потокові лінії для ремонту вагонів страждають одним істотним недоліком: підвищена чутливість всієї системи до порушення такту. Збій хоча б на одній з позицій призводить до збою всієї потокової лінії. Це виникає через великий розкид трудомісткостей ремонтних робіт на позиціях і неможливості завершувати ремонтні роботи на всіх позиціях в один і той же час. При роботі на таких потокових лініях виникає суперечність, яка полягає, з одного боку, у необхідності дотримання регламентованого такту для повного завантаження виконавців і обладнання, а з іншого – у постійній нерівномірності трудомісткостей виконуваних робіт, викликаних імовірнісною природою вагоноремонтного виробництва.

Таким чином, прийнята колись орієнтація на «жорсткий» потік, пов'язаний з обов'язковою синхронізацією часу виконання ремонтних робіт на позиціях, не виправдала надії. «Жорсткий» потік для ремонтного виробництва виявився недоцільним. Основна помилка тут бачиться в тому, що дослідники потокових методів ремонту вагонів основні зусилля спрямовували на вдосконалення тільки одного конкретного виду ремонтного потоку, а саме – поточно-конвеєрного (поточно-лінійного) методу, а не потоку як такого взагалі.

Водночас ремонт вагонів на потоці має свої специфічні особливості. До них можна віднести велику різноманітність конструктивних відмінностей вагонів навіть одного й того ж типу, різні умови й інтенсивності їх експлуатації, а також широкий діапазон «вікових» змін вагонів. Сукупність усіх цих факторів впливає на трудомісткість виконання ремонтних робіт на вагонах, і через неї сприяє прояву невизначеності ремонтного процесу, робить потокове вагоноремонтне виробництво занадто чутливим до порушення ходу технологічного процесу. Така ймовірнісна природа потокового вагоноремонтного виробництва вимагає певного до себе ставлення і обов'язково повинна бути врахована при розробці нових форм організації потоків.

Застосування гнучких потоків ремонту вагонів є одним з найбільш важливих шляхів підвищення ефективності вагоноремонтного виробництва. Для вагоноремонтного виробництва такі потоки є найбільш доцільними.

На підставі виконаного аналізу були сформульовані мета та завдання дисертаційної роботи.

У **другому розділі** на основі експериментальних даних досліджується трудомісткість різних видів робіт при деповському ремонті піввагонів та виконується аналіз імовірнісних факторів, що впливають на ефективність ремонту вагонів на потокових лініях.

Як об'єкти для дослідження трудомісткостей було обрано піввагони, які проходили деповський ремонт у вагонному депо на ст. Нижньодніпровськ–Вузол Придніпровської залізниці, яке є одним з найкращих депо в Україні. За кожним видом робіт на підставі виявлених дефектів визначалися групи однотипних технологічних операцій, встановлювалася кількість таких операцій у групі, по кожній операції визначалися необхідні обсяги ремонту й розраховувалася трудомісткість. Аналіз проводився як за трьома видами ремонтних робіт окремо: слюсарними, газорізальними та електрозварювальними, так і за сумарною та повною (враховувалися ще й регламентовані роботи) трудомісткостями. Для кожного вагона на підставі виявлених дефектів і нормативу часу на усунення кожного дефекту обчислювався необхідний обсяг ремонтних робіт. У результаті досліджень було встановлено, що трудомісткості ремонту вагонів (навіть одного і того ж типу) дуже сильно відрізняються один від одного. Це залежить від різних причин, і в першу чергу від моделі вагона, якості використаних матеріалів для його виготовлення, терміну його служби, умов експлуатації, якості попередніх ремонтів і технічних обслуговувань. Усі ці випадкові чинники, накладаючись один на одного, створюють величезну кількість комбінацій, результатом чого на виході є безліч випадкових значень трудомісткості ремонту вагонів.

Виконані дослідження наочно демонструють, що трудомісткості ремонту вагонів є випадковими величинами, що мають досить широкий розкид (рис. 1). Виходячи з даних табл. 1, можна зробити висновок, що трудомісткості слюсарних робіт на вагонах можуть відрізнятися один від одного в 4,1 разу (рис. 1, а), газорізальних робіт – в 34,5 разу (рис. 1, б), електрозварювальних робіт – в 6,4 разу (рис. 1, в). Для сумарної і повної трудомісткостей відбувається деяке вирівнювання величин. Проте й тут розкиди залишаються суттєвими. Для сумарної трудомісткості ремонту вагонів розкид становить – 3,74 разу (рис. 1, г), а для повної – 2,86 разу (рис. 1, д).

Визначено теоретичні закони розподілу трудомісткостей за різними видами робіт: для газорізальних це логарифмічно-нормальний, а для інших – нормальний. Такий розкид трудомісткостей ремонтних робіт пояснюється багатьма причинами.

На сьогодні загальний парк піввагонів в Україні налічує понад 80 тис. одиниць. У обігу на залізницях є цілий спектр різних моделей піввагонів. Слід мати на увазі, що генеральна сукупність піввагонів увесь час змінюється як кількісно, так і якісно.

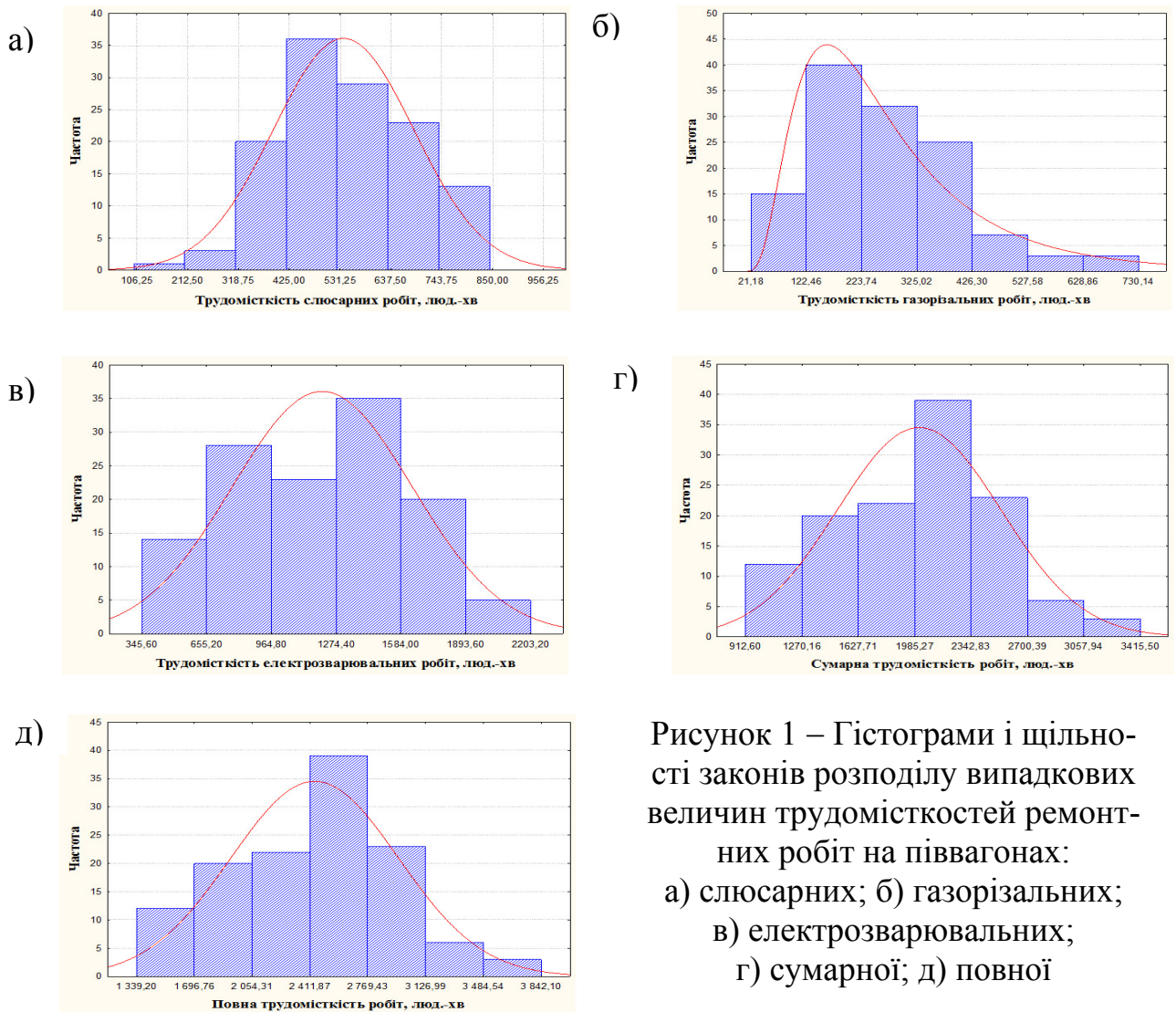


Рисунок 1 – Гістограми і щільності законів розподілу випадкових величин трудовістістей ремонтних робіт на піввагонах:
а) слюсарних; б) газорізальних;
в) електрозварювальних;
г) сумарної; д) повної

Таблиця 1 – Основні результати обчислення параметрів випадкових величин трудовістістей ремонтних робіт

Найменування параметра	Трудовістість ремонтних робіт на вагоноскладальній дільниці, люд.-хв				
	Слюсарні	Газорізальні	Електрозварювальні	Сумарна	Повна
Середнє $\bar{x}$	538,59	266,59	1203,03	2008,22	2434,82
Стандарт $\bar{s}$	146,87	138,22	428,25	516,52	516,52
Коефіцієнт варіації v	0,27	0,52	0,356	0,257	0,212
Мінімальне значення $x_{\min}$	204,60	21,18	345,60	912,60	1339,20
Максимальне значення $x_{\max}$	839,28	730,14	2203,20	3415,50	3842,10
Розкид R	634,68	708,96	1857,60	2502,90	2502,90
Медіана x_{med}	535,74	259,32	122,12	2075,64	2502,24
Мода x_{mod}	586,38	327,66	Множинне	Множинне	Множинне

Конструкції піввагонів дуже сильно відрізняються один від одного. Зрозуміло, що через різні конструктивні відмінності може змінюватися склад і обсяг ремонтних робіт, що не зможе не відбитися і на тривалості ремонту вагонів.

Таким чином, постановка в ремонт на звичайний «жорсткий» потік вагонів, що мають такий великий діапазон величин трудомісткостей, буде постійно викликати зрив регламентованого такту потокової лінії. Тому однозначно можна констатувати, що «жорстка» структура потоку, прийнята свого часу у всіх вагонних депо, які перейшли на потоковий метод ремонту вагонів, є далеко не кращим рішенням організації вагоноремонтного процесу.

Крім відмінностей в моделях на трудомісткість ремонту вагонів впливають терміни експлуатації вагонів та умови їх експлуатації. Одна справа, коли піввагони, нехай навіть однієї і тієї ж моделі, надходять у деповський ремонт перший раз після побудови, і зовсім інша справа, коли вони надходять в ремонт останній раз перед списанням. Природно, що в другому випадку обсяг ремонту і, звісно, його тривалість будуть набагато більшими. Між цими двома крайніми величинами ремонтів також існує цілий спектр обсягів ремонтних робіт, які значно відрізняються один від одного. Велике значення мають також кількість та якість раніше виконаних ремонтів і технічних обслуговувань. Ремонтувати деякі вагони дуже важко, а трудомісткість їх ремонту перевищує норму у багато разів. Класифіковано та визначено ще цілу низку факторів, що впливають на тривалість часу виконання ремонтних робіт на вагонах (рис. 2).



Рисунок 2 – Класифікація факторів, що впливають на тривалість знаходження вагонів на ремонтних позиціях

Усе це свідчить про те, що тривалість ремонту вагонів на позиціях завжди буде різною і тому доцільно мати такий тип потоку, який би допускав індивідуальне асинхронне переміщення вагонів.

У **третьому розділі** проведено структурно-параметричний аналіз та пошук раціональних варіантів гнучких потоків, що в рамках заданих умов зможуть потенційно забезпечити максимальну маневреність вагонів під час їх переміщення між ремонтними модулями потоку, що дозволить підвищити його пропускну спроможність, скоротити тривалість часу перебування вагонів у ремонті та збільшити зняття вагонів з одного ремонтного модуля.

Для підприємств нового покоління генеральний вагоноремонтний потік (ГВРП) доцільно скласти з трьох послідовно з'єднаних між собою дільниць, що розрізняються за технологічною ознакою: дільниця підготовки вагонів до ремонту (І), головна вагоноремонтна дільниця (ІІ) і малярна дільниця (ІІІ). Як показала практика, трудомісткості робіт на дільниці підготовки вагонів до ремонту і на малярній дільниці мають відносно стабільний характер. Найбільший розбіг трудомісткостей робіт, які виконуються при ремонті вагонів, припадає на головну вагоноремонтну дільницю. Тому саме на ній і повинен бути обов'язково використаний гнучкий потік ремонту вагонів. На інших дільницях можуть використовуватися «напівжорсткі» потоки, хоча, при наявності можливості, гнучкий потік можливо зробити наскрізним.

При проектуванні вагоноремонтних потоків може бути створена значна кількість різних варіантів структур, відмінних між собою за числом позицій і числом модулів на позиціях.

Зазвичай під структурою системи мається на увазі стійка впорядкованість у просторі та в часі елементів і зв'язків між ними. Як «елементи» вагоноремонтного потоку розглядатимемо технологічні модулі. Структура «жорсткого» («напівжорсткого») потоку ремонту вагонів визначається кількістю ремонтних колій, кількістю позицій на кожній колії й кількістю місць на одній позиції. Під структурою «гнучкого» вагоноремонтного потоку будемо розуміти кількість позицій, кількість модулів на кожній позиції і технологічні зв'язки між ними. Структура «гнучкого» потоку залежить від програми ремонту, обраного технологічного процесу і номінального річного фонду часу роботи підприємства.

На різних дільницях ГВРП через різні структурні компоновки передбачаються й різні системи переміщення вагонів. На дільниці підготовки вагонів до ремонту та малярній дільниці для переміщення вагонів уздовж позицій потоку можуть бути використані звичайні вантажоведучі конвеєри, що штовхають вагони по рейках. На головній вагоноремонтній дільниці повинні бути передбачені спеціальні транспортні агрегати, що переміщуються в транспортному прольоті й переставляють вагони між паралельно розташованими ремонтними модулями. У зв'язку з цим з'являються місця з'єднання дільниць – «вузли». «Вузлом» будемо називати ті позиції, які обслуговуються одночасно кількома транспортними системами. У нашому випадку є два таких вузли, які назовемо умовно вузол "А" і вузол "Б" (рис. 3). Вузол "А" розташований у місці з'єднання дільниці підготовки вагонів до ремонту з головною вагоноремонтною дільницею, а вузол "Б" – у місці з'єднання головної вагоноремонтної дільниці з малярною дільницею. У вузол "А" вагони подаються за допомогою вантажоведучих конвеєрів, а забираються звідти за допомогою транспортного агрегату. У вузлі "Б" все відбувається навпаки – вагони подаються в нього за допо-

могою транспортного агрегату, а забираються – за допомогою вантажоведучих конвеєрів.

Вузол "А" може бути останньою позицією дільниці підготовки вагонів до ремонту або першою позицією головної вагоноремонтної дільниці. Відповідно, вузол "Б" може бути останньою позицією головної вагоноремонтної дільниці або першою позицією малярної дільниці.

Можливі такі варіанти належності позицій вузлів дільницям:

Варіант 1. Позиція вузла "А" належить дільниці підготовки вагонів до ремонту, а вузла "Б" – малярній дільниці (рис. 3, а);

Варіант 2. Позиція вузла "А" належить дільниці підготовки вагонів до ремонту, а вузла "Б" – головній вагоноремонтній дільниці (рис. 3, б);

Варіант 3. Позиція вузла "А" належить головній вагоноремонтній дільниці, а вузла "Б" – малярній дільниці (рис. 3, в);

Варіант 4. Позиції вузлів "А" і "Б" належать головній вагоноремонтній дільниці (рис. 3, г).

Якщо вузол "А" належить до дільниці підготовки вагонів до ремонту, то будемо позначати його як "А_I", в іншому випадку – як "А_{II}". Для вузла "Б" можливі такі варіанти: "Б_{II}" і "Б_{III}".

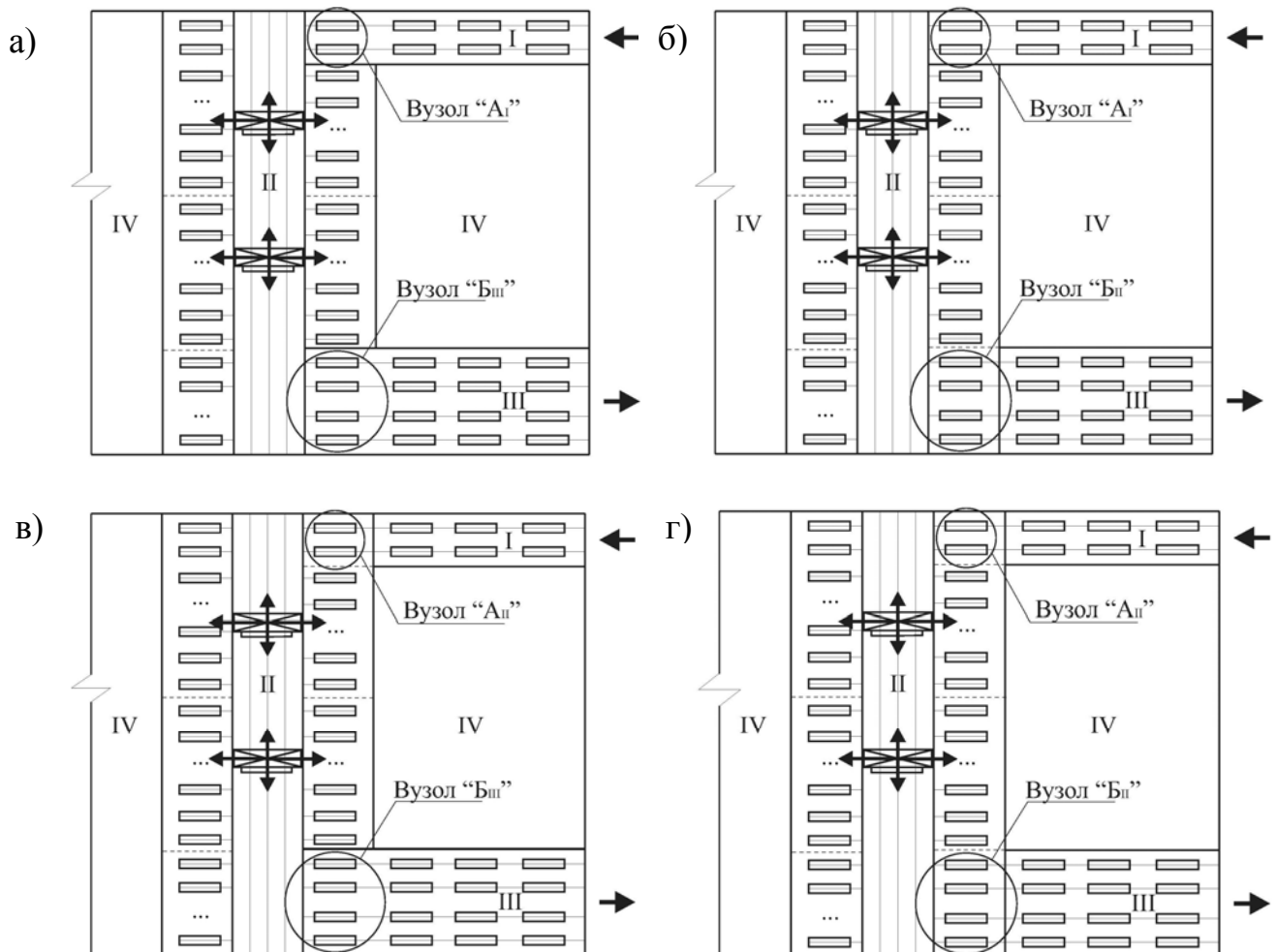


Рисунок 3 – Можливі варіанти належності позицій вузлів дільницям генерального вагоноремонтного потоку: I, II, III – дільниці ГВРП; IV – інші дільниці та відділення вагоноремонтного підприємства

Оскільки вузли з'єднання зв'язані з однієї сторони з вантажоведучими конвеєрами, то, отже, для можливості перестановки вагонів кількість модулів в них має збігатися з кількістю колій (конвеєрів) на відповідних дільницях. Залежно від належності цих вузлів різним дільницям змінюється гнучкість всього генерального вагоноремонтного потоку. Можливі варіанти належності вузлів дільницям ГВРП і відповідні їм формули розрахунку структурної гнучкості потоку наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Можливі варіанти належності вузлів дільницям генерального вагоноремонтного потоку та формули розрахунку структурної гнучкості

Номер варіанта	Найменування дільниці ГВРП			Формула розрахунку гнучкості
	Дільниця підготовки вагонів до ремонту	Головна вагоноремонтна дільниця	Малярна дільниця	
1	Вузол “А _I ”	–	Вузол “Б _{III} ”	$\Psi_0 = \Psi_I \cdot \Psi_{II} \cdot \Psi_{III}$
2	Вузол “А _I ”	Вузол “Б _{II} ”	–	$\Psi_0 = \Psi_I \cdot \Psi_{II}$
3	–	Вузол “А _{II} ”	Вузол “Б _{III} ”	$\Psi_0 = \Psi_{II} \cdot \Psi_{III}$
4	–	Вузол “А _{II} ”; Вузол “Б _{II} ”	–	$\Psi_0 = \Psi_{II}$

Загальна кількість можливих варіантів маршруту переміщення вагонів через ремонтні модулі гнучкого потоку може бути визначено за формулою

$$\Psi_{II} = \prod_{j=1}^m n_j, \quad (1)$$

де n_j – кількість ремонтних модулів на j -й позиції, $j=1, 2, 3, \dots, m$;

m – загальна кількість позицій гнучкого потоку.

Для вибору раціональних параметрів гнучких вагоноремонтних потоків, їх оптимальної структури було проведено пошук найкращих структурних варіантів організації гнучких вагоноремонтних потоків при різній кількості ремонтних позицій та різній кількості ремонтних модулів на потоці та визначено їх структурну гнучкість. У табл. 3 наведено результати аналізу, що відповідають тим варіантам структур потоків, при яких кількість можливих маршрутів переміщення вагонів є найбільшою.

У цьому розділі також наведено метод розрахунку основних параметрів мультифазних поліканальних багатопредметних асинхронних гнучких потоків, який може використовуватися для попередніх розрахунків на стадії розробки ТЕО підприємств для ремонту рухомого складу.

Крім того, на базі математичного апарату теорії графів та матриці взаємодії між підрозділами розроблено метод раціонального розміщення підрозділів вагоноремонтного підприємства, яке використовує гнучкий потік.

У четвертому розділі наведено різні математичні моделі та методи, які можуть бути використані для опису процесів, що відбуваються при ремонті вагонів на потоці. Дається їх порівняльна характеристика. Як відомо, моделювання є найбільш дієвим способом вивчення багатьох процесів і явищ. Якість результатів моделювання безпосередньо залежить від адекватності моделі досліджуваному

процесу. Можливо аналітичне дослідження процесів і дослідження процесів за допомогою імітаційного моделювання.

Таблиця 3 – Залежність максимальної кількості варіантів маршруту переміщення вагонів від кількості модулів і їх можливого розподілу між позиціями

Кількість модулів R	Кількість позицій на потоці m									Орієнтовна програма ремонту вагонів N
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Максимальна кількість можливих варіантів маршруту переміщення вагонів Ψ									
2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	674
3	2	1	–	–	–	–	–	–	–	1011
4	4	2	1	–	–	–	–	–	–	1335
5	6	4	2	1	–	–	–	–	–	1668
6	9	8	4	2	1	–	–	–	–	2002
7	12	12	8	4	2	1	–	–	–	2336
8	16	18	12	8	4	2	1	–	–	2670
9	20	27	18	9	8	4	2	1	–	3003
10	25	36	27	32	16	8	4	2	1	3337
11	30	48	54	48	32	16	8	4	2	3670
12	36	64	81	72	64	32	16	8	4	4004
13	42	80	108	108	96	64	32	16	8	4338
14	49	100	144	162	144	128	64	32	16	4671
15	56	125	192	243	216	192	128	64	32	5005
16	64	150	256	324	324	288	256	128	64	5337
17	72	180	320	432	486	432	384	256	128	5672
18	81	216	400	576	729	648	576	512	256	6006
19	90	252	500	768	972	972	864	768	512	6340
20	100	294	625	1024	1296	1458	1296	1152	1024	6673
21	110	343	750	1280	1728	2187	1944	1728	1536	7007
22	121	392	900	1600	2304	2916	2916	2592	2304	7341
23	132	448	1080	2000	3072	3888	4374	3888	3456	7674
24	144	512	1296	2500	4096	5184	6561	5832	5184	8009
25	156	576	1512	3125	5120	6912	8748	8748	7776	8344
26	169	648	1764	3750	6400	9216	1166	13122	11664	8676
27	182	729	2058	4500	8000	12288	1555	19683	17496	9010
28	196	810	2401	5400	1000	16384	2073	26244	26244	9342
29	210	900	2744	6480	1250	20480	2764	34992	39366	9677
30	225	100	3136	7776	1562	25600	3686	46656	59049	10010
31	240	110	3584	9072	1875	32000	4915	62208	78732	10345
32	256	121	4096	1058	2250	40000	6553	82944	104976	10674

Відомо, що потоки підпадають під клас задач, які можуть бути досліджені за допомогою систем масового обслуговування. Через складність реальних технологічних процесів, що відбуваються при ремонті вагонів на потоці, широкого застосування в аналітичній формі системи масового обслуговування не отримали. Водночас уже відомі імітаційні методи розв'язання задач систем масового обслуговування. У даній роботі для дослідження процесів функціонування вагоноремонтних потоків вперше були використані моделі теорії кусково-лінійних агрегатів. Кусково-лінійний агрегат (КЛА) є частковим варіантом стохастичної динамічної системи з дискретним втручанням випадку. Він ідеально підходить для опису функціонування процесів, що відбуваються при ремонті рухомого складу на потоці. Кожен окремий модуль або кожна позиція можуть бути представлені у вигляді КЛА. Під модулем у загальному випадку розуміється спеціалізоване місце для розміщення одного вагона. Всього розглядалося три різні групи модулів: РМ – ремонтний модуль; ТМ – транспортний модуль; ОМ – очікувальний модуль.

КЛА належить до категорії об'єктів, які можна зобразити у вигляді перетворювача інформації (рис. 4). Він функціонує в часі $t \in T$, може отримувати вхідні сигнали x зі значеннями з деякої множини X , посылати вихідні сигнали y зі значеннями з деякої множини Y і перебувати в певні моменти часу в деякому стані z з деякої множини Z .

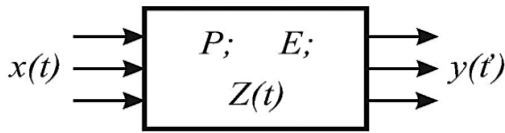


Рисунок 4 – Загальна схема кусково-лінійного агрегату

КЛА має вхід і вихід. Динаміці КЛА притаманний «подієвий» характер. Усі події, які сприймає КЛА, можна розділити на дві групи – зовнішні й внутрішні. Зовнішні події полягають в отриманні вхідного сигналу, а внутрішні – у досягненні траєкторіями КЛА певної підмножини станів $z^* \in Z$. Таким чином, для динаміки КЛА характерний «подієвий» принцип функціонування.

На вхід КЛА в дискретні моменти часу t_i надходять сигнали. В якості вхідних сигналів може бути інформація про те, що перед обслуговуючим каналом з'явилася вимога (вагон), яка потребує обслуговування або, наприклад, що вимога вже надійшла в обслуговуючий канал, і він може приступати до обслуговування. На вихід КЛА надходять вихідні сигнали. Вихідний сигнал $y(t')$ належить множині Y , $y(t') \in Y$. Вихідним сигналом може бути, наприклад, інформація про те, що канал закінчив обслуговування вимоги або, наприклад, вимога покинула канал. У нашому випадку вимога не завжди відразу ж покидає канал після обслуговування – мають бути вільними або один з наступних ремонтних модулів, або очікувальний модуль.

Усі сигнали відбуваються в дискретні моменти часу. У проміжку між сигналами КЛА перебуває в одному з можливих станів $z \in Z$. Стан КЛА в деякий момент часу $t \in T$ будемо позначати $z(t) \in Z$. При цьому вважатимемо, що перехід КЛА з одного стану, наприклад $z_1(t)$, в стан, наприклад $z_2(t)$, відбувається миттєво, тобто стрибкоподібно. Час стрибка t^* визначається параметрами вхідних сигналів $x(t) \in X$ і параметрами внутрішніх процесів, що відбуваються в самому КЛА.

Вся множина можливих станів КЛА являє собою фіксований набір окремих непересічних підмножин – багатогранник в z -вимірному евклідовому просторі. Стан КЛА $z(t)$ умовно можна зобразити у вигляді точки в багатовимірному просторі, яка має безліч координат. Зміна будь-якої координати миттєво змінює положення точки, і тим самим – стан всієї системи.

КЛА в проміжку між дискретними значеннями часу надходження сигналів може перебувати в одному з трьох можливих станів: 1) модуль перебуває у стані очікування надходження вимоги (вагона); 2) модуль перебуває у стані обслуговування вимоги; 3) модуль вже виконав обслуговування вимоги і перебуває в стані очікування, коли вона покине його.

Представимо ремонтну позицію у вигляді кусково-лінійного агрегату. КЛА функціонує таким чином. У випадкові моменти часу t_i перед КЛА з'являються вимоги на обслуговування. Кожна вимога характеризується параметром a . Якщо модуль вільний, то вимога надходить до модуля та починає зразу обслуговуватися. У загальному випадку, коли є кілька модулів, розташованих паралельно, то вимога

очікує, який з цих модулів звільниться раніше. Стан КЛА в момент часу $t \in T$ будемо позначати вектором $z(t) \in Z$, де Z – безліч станів КЛА. Перехід КЛА зі стану $z_1(t)$ в стан $z_2(t)$ і так далі відбувається за дуже нетривалий момент часу, практично рівний нулю, тобто стрибкоподібно. Момент стрибка визначається вхідними сигналами $x(t) \in X$ і внутрішніми параметрами самого КЛА.

В основу нормалізації загальної схеми процесу функціонування системи покладено такі принципи: 1) система функціонує в часі, і в кожен момент часу може перебувати в одному з можливих станів; 2) на вхід системи надходять сигнали; 3) система може подавати вихідні сигнали; вихідний сигнал в деякий момент часу визначається станами системи і вхідними сигналами; 4) стан системи в певний момент часу визначається попереднім станом системи, а також вхідними сигналами, які надійшли в цей момент часу і раніше.

КЛА в дискретні моменти часу $t_{\text{вих}}^*$ подає вихідні сигнали y . Вихідний сигнал y належить множині Y , $y \in Y$ і визначається станом модуля $z(t)$ за допомогою оператора виходу E . Представимо його у вигляді двох підоператорів E_1 і E_2 . Оператор E_1 визначає моменти видачі вихідних сигналів, а оператор E_2 визначає їх зміст.

При описі ремонтних позицій потоку у вигляді кусково-лінійних агрегатів будемо вважати, що основний стан відповідає кількості вимог (вагонів), що перебувають у системі. А вектор додаткових координат містить інформацію, яка необхідна для обчислення подальшого перебігу процесу $z(t)$.

Візьмемо за стан КЛА пару v, z_v , тобто $z = (v, z_v)$. Параметр v назвемо дискретною складовою стану, або основним станом, а z_v – вектором допоміжних координат. Дискретна складова v показує загальну кількість вимог (вагонів), що перебувають у системі (на обслуговуванні й в очікуванні обслуговування), $v = (0, 1, 2, \dots, k)$. Максимальна величина цього параметра в загальному випадку визначається кількістю обслуговуючих каналів n на позиції і місткістю зони очікування перед позицією l ; $k = (n + l)$. Параметр v може змінюватися з одиничною швидкістю в бік зменшення або збільшення. Вектор z_v може мати такі координати: $z_v = (\xi, \zeta)$, де $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ і $\zeta = (\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_l)$, а також

ξ_1 – час, що залишився до закінчення обслуговування вимоги першим каналом;

ξ_2 – час, що залишився до закінчення обслуговування вимоги другим каналом;

.....
 ξ_n – час, що залишився до закінчення обслуговування вимоги n -м каналом;

ζ_1 – час, що залишився до початку обслуговування першої вимоги в черзі;

ζ_2 – час, що залишився до початку обслуговування другої вимоги в черзі;

.....
 ζ_l – час, що залишився до початку обслуговування l -ї вимоги в черзі.

У момент часу, коли ξ_k стане рівним нулю ($k = 1, 2, \dots, n$), тобто обслуговування вимоги k каналом закінчено, відбувається зміна стану системи (стрибок). У цей момент дискретний параметр зменшується на одиницю $v' = v - 1$ (забезпечена вимога покидає систему). КЛА посилає вихідний сигнал про те, що обслуговуючий канал вільний. Аналогічно, коли ζ_l стане рівним нулю (перша вимога з черги почала обслуговуватися), також відбувається зміна стану системи (стрибок).

Перед кожним РМ j -ї фази є черга, що складається з вимог, які потрібно обслуговувати. Специфіка такого підходу полягає в тому, що не самі вимоги посиляють сигнали, а їх посиляють відповідні технологічні модулі, у яких знаходяться вимоги, що вже пройшли обслуговування в попередній $(j-1)$ -й фазі. Коли РМ звільняється від вимоги, він подає вихідний сигнал $y_1(t)$, який свідчить про те, що він готовий прийняти до обслуговування нову вимогу (рис. 5). Вхідний сигнал $x(t)$ надходить в КЛА в момент прибуття чергової вимоги на обслуговування. У цей же момент КЛА посиляє вихідний сигнал $y_2(t)$, який свідчить про те, що РМ зайнятий. Тривалість обслуговування вимоги $\tau_{\text{обсл}}$ є випадковою величиною з заданим законом розподілу $f(\tau)$. У формулі стану КЛА вона надає додаткову координату z_v – час, що залишився до закінчення обслуговування. У той момент, коли вимогу буде обслуговано, КЛА подає вихідний сигнал $y_3(t)$, який сповіщає про те, що вимога вже обслугована (але канал ще зайнятий). У цей момент дискретний параметр v не змінюється, оскільки вимога ще не залишила систему. Тільки після того, як вимога залишить модуль, дискретний параметр зменшиться на одиницю $v = v - 1$.

Схема функціонування ОМ відрізняється від РМ практично тільки тим, що він не подає сигнали $y_3(t)$ та $\tau_{\text{обсл}} = 0$ (рис. 6).



Рисунок 5 – Схема функціонування ремонтного модуля як кусково-лінійного агрегату

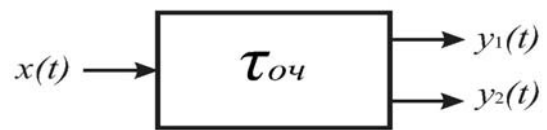


Рисунок 6 – Схема функціонування очікувального модуля як кусково-лінійного агрегату

У ОМ вимога надходить у тому випадку, якщо РМ j -ї фази закінчив обслуговування вимоги, у черзі до нього вже стоїть нова вимога, а ніякий РМ наступної $(j+1)$ -ї фази ще не звільнився. Тому з цього РМ j -ї фази забезпечена вимога надходить у ОМ для короткочасного очікування, поки не звільниться один з РМ $(j+1)$ -ї фази, а на звільнене місце надходить вимога, що пройшла обслуговування в РМ $(j-1)$ -ї фази. Кожен ОМ може по черзі приймати для «обслуговування» вимоги, що перебувають в будь-якій стадії технологічного процесу. Надходження вимог в ОМ є вимушеною, а не обов'язковою умовою.

Стан ОМ визначається параметром v , який набуває двох значень: $v=1$, коли в ОМ є вимога, і $v=0$, коли вимоги в ньому немає (канал вільний). ОМ сприймає вхідні сигнали й посиляє вихідні сигнали. Вхідний сигнал він отримує в момент надходження в нього вимоги. У цей же момент він посиляє вихідний сигнал про те, що він зайнятий. Можна вважати, що тривалість перебування вимоги в ОМ є випадковою величиною $\tau_{\text{оч}}$, залежною від зовнішніх причин. Вимога буде перебувати в ОМ доти, поки не звільниться необхідний РМ.

Звернемо увагу на те, що ні РМ, ні ОМ самі не визначають, яка з вимог буде надходити до них на обслуговування. Цю функцію цілком виконують ТМ на осно-

ві надходження до них сигналів від РМ і ОМ. У випадку, коли сигнал одного модуля збігається в технологічному аспекті із сигналом іншого модуля, то ТМ приймає вимогу на обслуговування. Обслуговування полягає в переміщенні вимоги з РМ в РМ, або з РМ в ОМ, або з ОМ в РМ. Одним словом, ТМ, формалізований у вигляді КЛА, повинен з усієї множини сигналів, що надходять на його вхід, відшукати якусь пару сигналів від модулів, також представлених у вигляді КЛА, між якими виконувалася б певна умова. Таким чином, запропоновано метод дослідження за допомогою математичної моделі теорії кусково-лінійних агрегатів, яка адекватно відображає процес функціонування гнучких вагоноремонтних потоків.

При вирішенні технічних, технологічних і організаційних завдань постійно виникає необхідність вибору конкретних варіантів з числа можливих. Як правило, вибір здійснюється з урахуванням технічних, організаційних та економічних критеріїв. І, незважаючи на багатофакторність досліджуваних задач, доцільно звести їх розв'язок до вирішення завдання векторної оптимізації за двома основними показниками. Причому вибір цих основних показників або параметрів може здійснюватися методом експертних оцінок. Наприклад, при розгляді завдань, пов'язаних з удосконаленням технології ремонту рухомого складу залізниць, це можуть бути такі параметри, як час знаходження в ремонті (час простою) і собівартість ремонту. Застосування методології, що базується на використанні векторної оптимізації, при обґрунтуванні гнучкої технології ремонту вагонів на потоці є також актуальною науково-прикладною проблемою для залізничного транспорту, особливо в умовах ринкових відносин та обмеженості матеріальних і фінансових ресурсів. Далі запропоновано математичний опис алгоритму розв'язання задачі векторної оптимізації за двома показниками при обґрунтуванні обраної технології ремонту вагонів.

Розглядається задача векторної оптимізації за двома показниками

$$\begin{aligned} F_1(\gamma) &= \sum_{\theta \in \gamma} f_1(\theta); \\ F_2(\gamma) &= \sum_{\theta \in \gamma} f_2(\theta), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\gamma = [\theta_{1i_1}, \theta_{2i_2}, \dots, \theta_{mi_m}]$, причому кожна компонента селектора набуває дискретні значення з відповідних множин

$$\Xi_j = \{\theta_{j1}, \theta_{j2}, \dots, \theta_{jk_j}\}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Позначимо через Γ набір селекторів γ . Очевидно, що множина Γ складається з кінцевого числа варіантів селекторів γ в числі

$$|\Gamma| = \prod_{j=1}^m k_j, \quad (4)$$

і розглядається задача векторної оптимізації, яку символічно можна записати таким чином

$$\begin{pmatrix} F_1(\gamma) \\ F_2(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (5)$$

за умови $\gamma \in \Gamma$.

Інженерно-економічний сенс сформульованої задачі полягає в тому, що деякий технологічний процес ремонту вагонів на потоці розбитий на m послідовних позицій (фаз). У кожній фазі є набір операцій Ξ_j , $j = \overline{1, m}$, у кількості k_j . Кожній операції θ_{ji} зіставляється два числа $f_1(\theta_{ji})$, $f_2(\theta_{ji})$. Наприклад, витрати коштів і часу на реалізацію операції θ_{ji} .

Тоді селектор γ представляє один з можливих варіантів реалізації процесу, а бажання зробити $F_1(\gamma)$ і $F_2(\gamma)$ якомога меншими в математичному плані приводить до задачі векторної оптимізації (5).

Зауважимо, що розв'язати задачу (5) означає знайти також множину $\Gamma^* \subseteq \Gamma$, що будь-яке $\gamma \in \Gamma^*$ є ефективним, а будь-яка пара γ_1 і γ_2 з Γ^* між собою непорівнянні.

Не обмежуючи спільності розгляду, вважаємо, що в кожній фазі операції впорядковані таким чином, що

$$\begin{aligned} f_1(\theta_{j1}) &< f_1(\theta_{j2}) < \dots < f_1(\theta_{jk_j}); \\ f_2(\theta_{j1}) &> f_2(\theta_{j2}) > \dots > f_2(\theta_{jk_j}). \end{aligned} \quad (6)$$

Теорема. Для того щоб селектор γ був ефективним, необхідно й достатньо, щоб при $\lambda \geq 0$ значення операції в будь-якій фазі вибиралося за такої умови:

$$f_1(\theta_{ji_0}) + \lambda f_2(\theta_{ji_0}) = \min_{1 \leq i \leq k_j} (f_1(\theta_{ji}) + \lambda f_2(\theta_{ji})), \quad (7)$$

$$j = \overline{1, m}$$

Доведення. На початку розглянемо необхідність, тобто вважаємо, що γ є ефективним селектором, тоді якщо $\tilde{\gamma}$ варіація селектора γ , то

$$\begin{pmatrix} F_1(\tilde{\gamma}) - F_1(\gamma) > 0 \\ F_2(\tilde{\gamma}) - F_2(\gamma) < 0 \end{pmatrix} \text{ або } \begin{pmatrix} F_1(\tilde{\gamma}) - F_1(\gamma) < 0 \\ F_2(\tilde{\gamma}) - F_2(\gamma) > 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

З урахуванням (2) в кожній фазі зі співвідношення (8) за умови, що $\tilde{\gamma}$ відрізняється від γ операцій в j -й фазі отримаємо

$$\begin{pmatrix} f_1(\theta_{ji}) - f_1(\theta_{ji_0}) > 0 \\ f_2(\theta_{ji}) - f_2(\theta_{ji_0}) < 0 \end{pmatrix} \text{ або } \begin{pmatrix} f_1(\theta_{ji}) - f_1(\theta_{ji_0}) < 0 \\ f_2(\theta_{ji}) - f_2(\theta_{ji_0}) > 0 \end{pmatrix}$$

Незалежно від того, який з цих випадків реалізується, завжди можна вказати таке число $\lambda > 0$, що

$$f_1(\theta_{ji}) - f_1(\theta_{ji_0}) \geq -\lambda (f_2(\theta_{ji}) - f_2(\theta_{ji_0})) \quad (9)$$

або

$$f_1(\theta_{ji}) + \lambda f_2(\theta_{ji}) \geq f_1(\theta_{ji_0}) + \lambda f_2(\theta_{ji_0}) \quad (10)$$

для будь-якого $1 \leq i \leq k_j$, але це і означає, що наявне (7)

Достатність. Нехай має місце (7), тобто має місце (10), з якого отримуємо (9), що тягне за собою співвідношення (8) і, тим самим маємо, що γ – ефективний селектор.

Висновок. 1) Перебираючи $0 \leq \lambda$, отримуємо параметричне визначення ефективних селекторів.

2) При формуванні набору операцій в будь-якій фазі повинні виконуватися співвідношення (6), які являють собою непорівнянність операцій.

Однак, умови (6) можна розглядати як необхідні умови формування набору операцій в тій чи іншій фазі.

Може виявитися, що деяка операція не бере участь у побудові ефективних селекторів, для з'ясування цієї ситуації корисною буде наступне.

Лема. Нехай є послідовність чисел

$$\begin{aligned} a_1 &< a_2 < \dots < a_m \\ b_1 &> b_2 > \dots > b_m \end{aligned}$$

на яких визначена функція

$$\psi(\lambda) = \min_{1 \leq i \leq m} (a_i + \lambda b_i), \lambda \geq 0.$$

Тоді, щоб у визначенні цієї функції брали участь усі a_j і b_j , необхідно і достатньо, щоб

$$\frac{a_{j+1} - a_j}{b_j - b_{j+1}} < \frac{a_{j+2} - a_{j+1}}{b_{j+1} - b_{j+2}}, \quad j = \overline{1, m-2}.$$

Доведення. Розглянемо сукупність функцій

$$\psi_j(\lambda) = a_j + \lambda b_j, \quad j = \overline{1, m}.$$

Тоді функція $\psi(\lambda)$ є огинаючою функцій $\psi_j(\lambda)$ (рис. 7). Очевидно, що умова $\lambda_1 < \lambda_2$ є необхідною і достатньою, щоб у визначенні $\psi(\lambda)$ брали участь усі три функції.

Якщо виявиться, що $\lambda_2 < \lambda_1$, то приходимо до ситуації, зображеної на рис. 8. Тоді функція ψ_2 у визначенні $\psi(\lambda)$ при $\lambda \geq 0$ участі не бере.

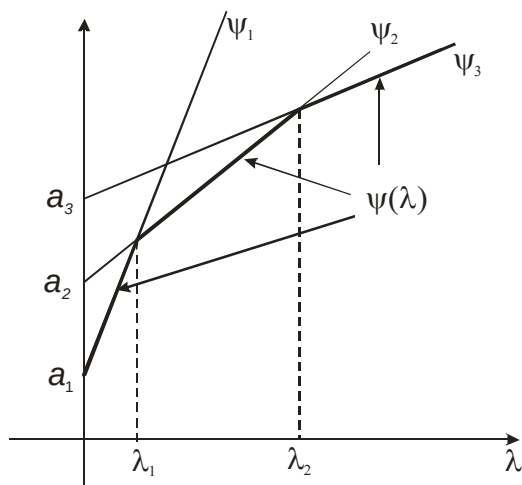


Рисунок 7 – Залежність $\psi(\lambda)$ для $m = 3$

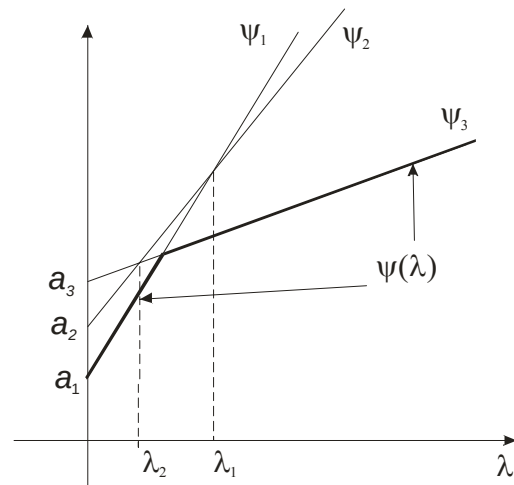


Рисунок 8 – Залежність $\psi(\lambda)$ $\lambda_2 < \lambda_1$, ψ_2 у визначенні $\psi(\lambda)$ при $\lambda \geq 0$ участі не бере

Таким чином, ця лема дозволяє визначити такі a_j і b_j , які не беруть участь у визначенні функцій $\psi(\lambda)$ і вони можуть бути виключені. Стосовно операцій у деякій фазі, вважаючи

$$a_i = f_1(\theta_{ji}); \quad b_i = f_2(\theta_{ji}), \quad i = \overline{1, k_j},$$

за допомогою цієї лема можемо вказати номери операцій, які можна виключити з розгляду.

Приклад. Нехай розглядається $m=5$ фаз, витрати коштів по кожній фазі являють собою

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 8 & 10 & 20 & 50 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 9 & 15 & 0 \end{bmatrix}, \text{ а витрати часу такі } T = \begin{bmatrix} 10 & 6 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2,5 \\ 1,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2,5 & 2,1 & 1,5 & 0 \end{bmatrix}.$$

У першій фазі $k_1=3$ операції, у другій $k_2=2$, у третій $k_3=5$, у четвертій $k_4=1$ і в п'ятій $k_5=4$ операції. Таким чином всього можна побудувати $|\Gamma|=120$ селекторів.

Відповідно до умов лема друга операція в третій фазі не бере участь, тому що порушуються умови лема.

Відобразивши в просторі функціоналів множину селекторів Γ , за формулами (2) отримаємо 120 точок (рис. 9), де по горизонталі відкладається сумарний час, а по вертикалі відповідні витрати коштів для того чи іншого селектора $\gamma \in \Gamma$.

Скориставшись теоремою і висновком з неї, множина варіантів, ефективних і непорівнянних між собою, зображено на рис. 10. Поєднуючи рис. 9 і рис. 10, переконуємося, що запропонований алгоритм являє собою розв'язання задачі векторної оптимізації (рис. 11).

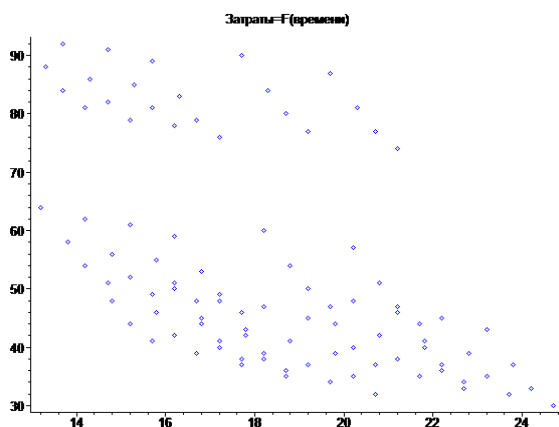


Рисунок 9 – Подання селекторів з множини Γ в просторі функціоналів

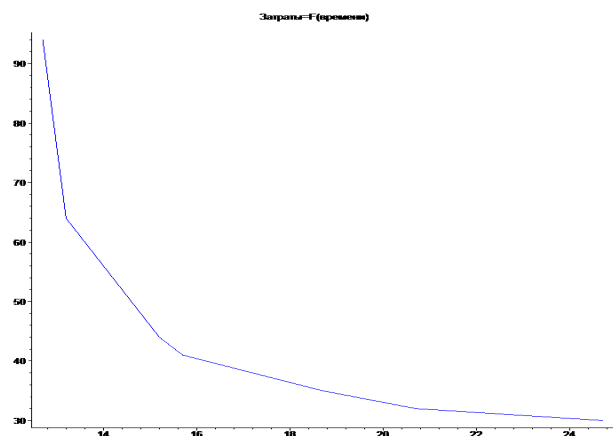


Рисунок 10 – Взаємозв'язок між витратами і часом за множиною Γ^* - розв'язання задачі векторної оптимізації

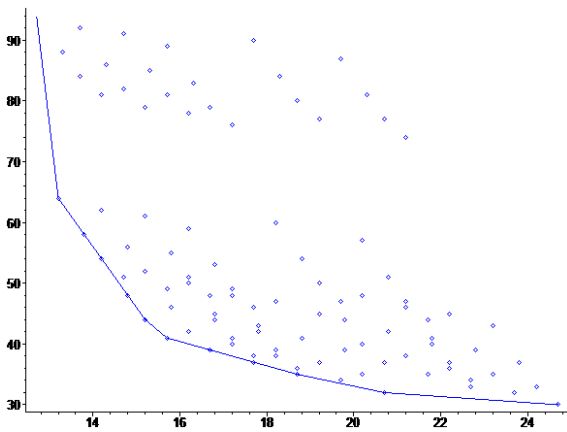


Рисунок 11 – Розв’язання задачі векторної оптимізації стосовно до всіх можливих селекторів

Таким чином, запропоновано математичний опис алгоритму розв’язання задачі векторної оптимізації за двома показниками стосовно наукового обґрунтування гнучкої технології ремонту вантажних вагонів.

У п’ятому розділі запропоновано метод збору та обробки експериментальних даних про трудомісткість ремонту вагонів на позиціях потоку. Для того щоб мати можливість змодельовати роботу потоку в часі, необхідно мати випадкові тривалості часу здійснення комплексу технологічних операцій по кожній позиції.

На першому етапі були повністю обстежені піввагони, що проходили деповський ремонт. Для кожного піввагона було складено докладну дефектну відомість, що включає навіть найдрібніші дефекти. Причому відомості склалися не тільки перед ремонтом, але й корегувалися під час виконання самого ремонту. По кожному дефекту були зафіксовані якісні та кількісні характеристики. Наприклад, геометричні розміри пошкодженої обшивки кузова (скільки було дефектних місць, стільки й конкретних характеристик).

На другому етапі, на підставі всіх зібраних дефектів і необхідних технологічних операцій щодо їх усунення, був складений загальний докладний перелік всіх можливих видів робіт, які будуть виконуватися при ремонті цих вагонів. Уся інформація була занесена в електронну таблицю. Кожному стовпцю таблиці відповідав конкретний вагон, а кожному рядку – певна технологічна операція. У кожному клітинку таблиці залежно від виду робіт було внесено або вже нормоване значення часу виконання операції, або формула, що дозволяє обчислити цю величину. Таким чином було сформовано експериментальну базу даних про наявність можливих дефектів.

На третьому етапі для кожного вагона по кожній конкретній технологічній операції були визначені трудовитрати. Цей етап зайняв дуже тривалий період часу, оскільки є досить трудомістким. Для вже згадуваної пошкодженої конкретної обшивки спочатку треба було розрахувати геометричні розміри площі зрізаного металу, потім визначити загальну довжину зрізу. Потім треба було визначити геометричні розміри накладки і загальну довжину зварювального шва. І тільки після цього на підставі типових нормативів часу можна було розрахувати трудові витрати оперативного часу на виконання газорізальних, електрозварювальних, слюсарних і малярських робіт. Повні трудові витрати визначалися на підставі додаткових коефіцієнтів до оперативного часу.

На четвертому етапі весь перелік операцій був розподілений між шістьма ремонтними спеціалізованими позиціями, розташованими по ходу технологічного процесу.

На п'ятому етапі для кожної ремонтної позиції була сформована своя статистична база трудовитрат часу, значення яких і з'явилися надалі вихідними даними для побудови ймовірнісних моделей при проведенні імітаційного експерименту. Були побудовані гістограма і криві щільності розподілу випадкової величини часу виконання ремонтних робіт по кожній з 6 позицій потоку. На рис. 12 наведено порівняльні значення середнього часу виконання робіт на позиціях потоку.

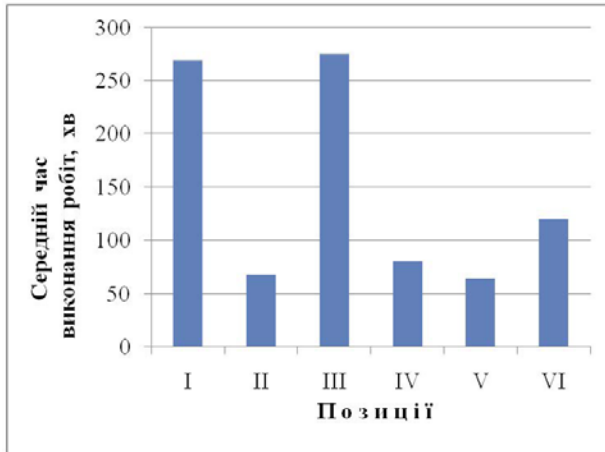


Рисунок 12 – Порівняльні значення середнього часу виконання робіт на позиціях потоку

Враховуючи, що фактичні закони розподілу часу виконання робіт на позиціях мають складний характер і не всі можуть бути точно апроксимовані через відомі закони, для подальшого застосування були використані інтегральні функції розподілу випадкових величин, які потім з'явилися вихідним матеріалом при моделюванні роботи потоку.

У шостому розділі представлені імітаційні моделі функціонування вагоноремонтних потоків, які виконані на базі математичного апарату теорії кусково-лінійних агрегатів та пов'язані в єдину технологічну систему. Наведено блок-схеми алгоритмів імітаційного

моделювання мультифазних поліканальних багатопредметних асинхронних гнучких потоків. Описано роботу окремих операторів і наведено розрахункові формули. На підставі алгоритмів імітаційного моделювання розроблена спеціальна імітаційна програма. При розробці програми використовувалося середовище додатків Microsoft Visual Studio 2010, а текст самої програми написаний на алгоритмічній мові Visual Basic. Ця імітаційна програма дозволяє проводити моделювання технологічних процесів на потоках з будь-якою структурою.

У цьому розділі також представлені результати імітаційного моделювання гнучких потоків з різною структурою. Для того щоб простежити тенденцію зміни показників роботи потоку зі зміною його структури й зробити порівняння між ними, був використаний метод «розширення вузьких місць». Суть цього методу полягає в покроковому додаванні ще одного модуля до тієї позиції, яка має найбільше завантаження і таким чином «гальмує» рух потоку. Починалося моделювання потоку при одному модулі на кожній позиції.

Після додавання чергового модуля до тієї з позицій, яка має найбільший коефіцієнт завантаження, здійснювалося повторне моделювання роботи потоку. Потім знову змінювалася структура потоку шляхом додавання ще одного модуля вже до іншого «вузького місця», і так далі. Після додавання додаткового модуля до позиції, продуктивність її збільшується і пропускна спроможність зростає. Якщо зростає пропускна спроможність колишнього «вузького місця», то, зрозуміло, що зростає і пропускна спроможність усього потоку. Однак вона зростає до тих пір, поки знову не з'явиться «вузьке місце», яке також буде стримувати рух потоку.

Далі робимо те ж саме. Таким чином, змінюючи поступово структуру потоку і моделюючи його роботу, можна підібрати варіант, що відповідає заданій програмі ремонту.

У табл. 4 наведено результати моделювання при різних структурах потоку, а в табл. 5 показана порівняльна пропускна спроможність потоків різних типів.

Таблиця 4 – Результати моделювання різних структурних варіантів потоку

Номер варіанта	Всього модулів	Пропускна спроможність	Зняття вагонів з одного модуля	Структурна гнучкість	Показники руху вагонів по потоку			
					Всього «обгонів» по всіх позиціях	Рухалися з «випередженням»	Рухалися з «відставанням»	Рухалися рівномірно
1	6	1398	233	1	0	0	0	1398
2	7	1686	241	2	228	228	228	1230
3	8	2325	291	4	665	610	501	1214
4	9	2604	289	6	953	806	680	1118
5	10	2682	268	9	1056	863	706	1113
6	11	2876	261	18	1433	1105	870	901
7	12	3694	308	36	2776	1773	1136	785
8	13	4099	315	48	3532	2098	1333	668
9	14	4286	306	60	3955	2229	1447	610
10	15	4674	312	80	4751	2361	1631	682
11	16	4965	310	160	5655	2612	1771	582
12	17	5926	349	320	8701	3200	2141	585
13	18	6249	347	384	9584	3431	2236	582
14	19	6377	336	480	10037	3437	2326	614
15	20	6975	349	720	12254	3845	2498	632
16	21	7357	350	840	13410	4067	2628	662
17	22	7518	342	1008	14342	4131	2797	590
18	23	8741	380	1512	19703	4946	3206	589
19	24	9172	382	2268	21386	5252	3348	572
20	25	9233	369	2592	21241	5219	3402	612
21	26	9781	376	3888	24749	5594	3569	618
22	27	10403	385	4536	27697	5937	3847	619
23	28	10687	382	6048	29799	6074	3978	635
24	29	11138	384	6804	32299	6379	4150	609
25	30	11496	383	7776	34216	6547	4310	639
26	31	11864	383	8640	36597	6836	4455	573
27	32	12095	378	9720	37686	6884	4608	603
28	33	12216	370	10692	39027	7069	4585	562
29	34	13586	400	14256	47666	7903	5100	583
30	35	13735	392	15840	48847	8105	5091	539
31	36	14191	394	19800	52365	8246	5349	596
32	37	14640	396	24750	56174	8535	5536	569
33	38	15012	395	27000	59648	8818	5652	542

Таблиця 5 – Порівняльна пропускна спроможність потоків різних типів

Традиційний потік		Гнучкий потік		Зростання пропускної спроможності	
Кількість модулів	Пропускна спроможність	Кількість модулів	Пропускна спроможність	Вагон	%
6	1398	-	-	-	-
12	2796	12	3694	898	32,1
18	4194	18	6249	2055	49,0
24	5592	24	9172	3580	64,0
30	6990	30	11496	4506	64,5
36	8388	36	14191	5803	69,5

Для прикладу на рис. 13 показана структурна схема 24-модульного гнучкого потоку, який має пропускну спроможність 9172 вагони на рік, а зняття вагонів з одного ремонтного модуля становить – 382 (табл. 4, вар. 19).

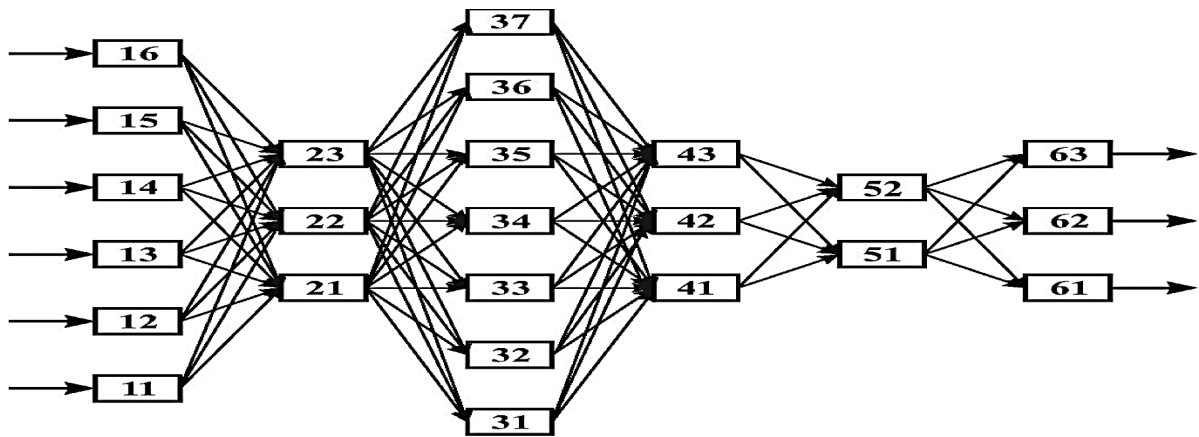


Рисунок 13 – Структурна схема варіанта гнучкого потоку, який складається з 24 ремонтних модулів

Дослідження показали, що в результаті поетапної зміни структури потоку в ній починають з'являтися нові можливості, що позитивно впливають на перебіг технологічного процесу при функціонуванні потоку й дозволяють «згладжувати» ймовірнісну природу ремонтного виробництва. У результаті таких перетворень значно зростає пропускна спроможність потоків і скорочується час простою вагонів у ремонті.

На підставі даних, отриманих в результаті імітаційного моделювання, можна зробити висновок, що переваги гнучких потоків для ремонту вагонів починають проявлятися вже на перших стадіях нарощування додаткових модулів на позиціях. Але найбільш яскраво переваги гнучких потоків проявляються при значній кількості модулів, оскільки для ефективного їх функціонування потрібен певний «простір», треба щоб була можливість для «маневру». На графіку (рис. 14) показано, як зростає структурна гнучкість потоку в залежності від кількості ремонтних модулів.



Рисунок 14 – Графік залежності структурної гнучкості потоку від кількості ремонтних модулів

До нових можливостей гнучких потокових технологій належать, наприклад, такі, як індивідуальне переміщення вагонів, «обгони» між вагонами, вибір варіанта маршруту переміщення. Традиційні поточкові лінії такими можливостями не володіють, що робить їх дуже чутливими до різних випадкових чинників, які надають великий вплив на хід протікання технологічного процесу ремонту вагонів, що в остаточному підсумку відбивається на їх техніко-економічних показниках. Найбільш доцільна величина програми деповського ремонту повинна бути в діапазоні від 6000 до 9000 вагонів на рік. Критерієм ефективності функціонування потоку є показник зняття вагонів з одного ремонтного модуля за рік.

У **сьомому розділі** досліджено фактори, які впливають на зростання продуктивності праці на підприємствах вагонного господарства та розраховано економічний ефект від впровадження вагоноремонтних підприємств із застосуванням гнучкого потоку. Річний економічний ефект може бути визначений за формулою

$$E = (Z_B - Z_G) N_G, \quad (11)$$

де E – економічний ефект від використання гнучкої технології ремонту вагонів; Z_B і Z_G – наведені витрати на ремонт вагонів по базовому та гнучкому варіантах; N_G – програма ремонту вагонів за гнучким варіантом.

Щоб точно визначити суму капітальних вкладень в новий об'єкт, потрібно повністю розробити проект депо. Враховуючи, що проекти нових депо останнім часом практично не розроблялися, розрахунок зробимо за спрощеним методом. При порівнянні варіантів вагоноремонтних дільниць, що використовують традиційний потік або гнучкий потік, будемо враховувати лише ті додаткові витрати, які, власне, й забезпечують організаційно-технологічну гнучкість.

Будемо вважати, що поточні витрати на ремонт одного вагона (витрати матеріалів, запчастин, енергоресурсів і т. п.) не залежать від прийнятої організації ремонту і визначаються тільки його технічним станом.

Відомо, що при гнучкому потоці зростає вартість будівництва депо. Визначимо, наскільки це зростання виправдовує збільшення пропускної спроможності потоку.

Додаткові капітальні витрати на будівництво вагоноремонтної дільниці визначаються таким чином $K_{\Gamma} = K_{БМР} + K_{ТО}$, де $K_{БМР}$ – додаткові капітальні витрати на будівельно-монтажні роботи; $K_{ТО}$ – додаткові капітальні витрати на придбання технологічного обладнання.

При порівнянні техніко-економічних показників будемо виходити з одного і того ж числа ремонтних модулів на потоці, наприклад, 24. При цьому укрупнена площа одного ремонтного місця (модуля) при традиційному варіанті організації потоку дорівнює 180 м^2 . При організації гнучких потоків з урахуванням появи додаткових площ для переміщення транспортних агрегатів, площа, яка припадає на один модуль, буде становити приблизно 280 м^2 . Таким чином, на один ремонтний модуль вагоноремонтної дільниці, що працює за гнучкою технологією, необхідна додаткова площа, рівна 100 м^2 ($280 - 180 = 100$). Для розміщення 24 модулів необхідна додаткова площа, рівна $2\,400 \text{ м}^2$ ($24 \times 100 = 2\,400$). Виходячи з вартості 1 м^2 площі підприємств подібного типу, рівній 500 дол., вартість додаткової площі складатиме $1\,200\,000$ ($500 \times 2\,400$) дол. Додаткова вартість двох транспортних агрегатів, які будуть використані для переміщення вагонів, складатиме приблизно $200\,000$ дол. Тоді загальні додаткові капітальні витрати на будівництво вагоноремонтної дільниці складуть $K_{\Sigma} = 1\,200\,000 + 200\,000 = 1\,400\,000$ дол. Різниця в поточних витратах на технічне обслуговування та ремонт звичайних вантажоведучих конвеєрів і транспортних агрегатів буде відрізнятися не набагато, тому ними можна знехтувати.

Використовуючи результати імітаційного моделювання, порівняємо пропускні спроможності традиційного потоку і гнучкого. Для традиційного (базового) потоку при 6 ремонтних модулях пропускна здатність становить 1398 вагонів на рік. Для потоку, що складається з 24 ремонтних модулів (чотири ремонтні колії по шість позицій), пропускна здатність становитиме в чотири рази більше $N_{\text{б}} = 1\,398 \times 4 = 5\,592$ вагонів на рік. Для 24-модульного гнучкого потоку пропускна спроможність становить $N_{\Sigma} = 9\,172$ вагона на рік (табл. 5).

Таким чином, при збільшенні базової вартості традиційного вагонного депо ($20,0\text{--}25,0$ млн дол.), у зв'язку з використанням гнучкого ремонтного потоку, на $1,4$ млн дол. ($5\text{--}7\%$ від базової вартості депо), пропускна спроможність вагоноремонтної дільниці зросте до 64% ($50\text{--}70\%$ в залежності від структури потоку).

Внутрішню норму дохідності можна охарактеризувати як ставку дисконту, за якою чиста поточна вартість дорівнює нулю. Розрахунок цього показника здійснюється вирішенням рівняння

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + R_{IRR})^t} - \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1 + R_{IRR})^t} = 0, \quad (12)$$

де R_{IRR} – внутрішня норма доходу; CF_t – грошовий потік інтервалу t ; I_t – інвестиції інтервалу t ; T – тривалість життєвого циклу інвестицій.

Проект є ефективним якщо внутрішня норма доходу вище ставки дисконту, тобто мінімальної прийнятної для інвестора норми доходу при вкладенні капіталу в розглянутий проект. Розрахунки показали, що величина внутрішньої норми доходу при гнучкому потоці значно (на $83,5\%$ або на $11,2$ процентних пунктів) вища,

ніж при традиційному потоці, що свідчить про суттєво більшу економічну ефективність запропонованої технології.

Таким чином, економічно обґрунтовано впровадження на підприємствах вагонного господарства методів ремонту рухомого складу за запропонованим технічним рішенням з використанням гнучких поточкових технологій.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі набули подальшого розвитку наукові основи створення гнучких поточкових технологій ремонту рухомого складу, які представлені у вигляді понятійно-термінологічного апарату, методологічного імперативу і методологічного інструментарію. При цьому вирішена важлива науково-прикладна проблема, яка наявна при поточковому ремонті рухомого складу залізничного транспорту й пов'язана із суперечністю між регламентованим тактом поточної лінії та значними коливаннями часу виконання ремонтних робіт на позиціях, що постійно призводить до збою такта поточної лінії та вимушеного простою технологічного обладнання й виконавців на позиціях. Ця проблема може бути вирішена за допомогою створення гнучких поточкових технологій, але такі системи є новим напрямком у ремонті рухомого складу, які ще ні теоретично, ні практично не були вивчені й гостро вимагали розробки методів їх створення та дослідження. У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень були отримані нові дані та запропоновані нові рішення, завдяки яким зникає вищезазначена суперечність та з'являється можливість більш ефективного функціонування поточкових вагоноремонтних технологій, оскільки за рахунок зміни організаційно-структурних рішень потоків істотно зростає їх пропускна спроможність, скорочується простій вагонів у ремонті та збільшується зняття вагонів з одного ремонтного місця. На основі виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Виконано комплексний аналіз наукових досліджень і технічних рішень з організації поточкового методу ремонту рухомого складу, який свідчить про те, що поточковий метод – це не просто одна з форм організації технологічного процесу, а закономірний результат еволюції виробничих систем. На сьогодні альтернативи поточковому методу виробництва немає. Потік найкращим чином дозволяє об'єднати в єдине ціле і розподілити в часі й в просторі засоби праці, предмети праці й саму працю, створюючи при цьому комбінації, що дозволяють забезпечувати найвищі техніко-економічні показники виробництва. При цьому специфіка вагоноремонтного виробництва має свої особливості та пов'язана головним чином з невизначеністю тривалості технологічного процесу. У роботі доведено, що повинні бути використані такі технологічні рішення, які дозволяють адаптувати поточковий метод до ймовірнісної природи ремонтного виробництва.

2. Проведено експериментальні дослідження з визначення параметрів ремонту вагонів, проаналізовано статистичний матеріал з трудомісткості деповського ремонту піввагонів за основними видами робіт та підготовлено вихідні дані для моделювання ремонтних процесів на потоці. Результати проведених досліджень свідчать про те, що трудомісткості ремонту вагонів є випадковими величинами, які мають досить широкий розкид. Так, трудомісткості газорізальних робіт на піввагонах можуть відрізнятися одна від одної в 34,5 разу, трудомісткості електрозварю-

вальних робіт – в 6,4 разу, трудомісткості слюсарних робіт – в 4,1 разу.

3. Проведено комплексний аналіз інших можливих причин, що впливають на коливання часу виконання ремонтних робіт на позиціях потоку, крім трудомісткості. До цих причин можна віднести насамперед людський фактор: працездатність виконавців, їх професійні якості, психоемоційний стан, а також організаційно-технічні та організаційно-технологічні фактори виробництва. Наявність цих факторів також підтверджує доцільність асинхронного такту при переміщенні вагонів на потоці.

4. Виконано структурно-параметричний аналіз варіантів побудови гнучких вагоноремонтних потоків з урахуванням отримання максимальної структурної гнучкості для певного варіанта. Запропоновано прийоми раціонального з'єднання ділень генерального вагоноремонтного потоку між собою та наведено формули розрахунку його структурної гнучкості. Тим самим доведено перевагу гнучких вагоноремонтних потоків у аспекті їх здатності мати значну кількість можливих сценаріїв переміщення вагонів уздовж усіх позицій потоку. Якщо традиційні вагоноремонтні потоки мають тільки один маршрут переміщення вагонів, то гнучкі потоки можуть мати декілька тисяч можливих маршрутів переміщення вагонів, що суттєво впливає на пропускну спроможність гнучких потоків.

5. На підставі матриці взаємодії підрозділів і моделей теорії графів розроблено метод раціональної компоновки підрозділів вагоноремонтного підприємства, що буде позитивно впливати на зниження транспортних витрат при переміщенні вагонів та комплектуючих вузлів між ділянками.

6. На основі математичних моделей теорії кусково-лінійних агрегатів, які відображають поведінку різних модулів, алгоритмічно описано процес функціонування потоків для ремонту рухомого складу, що, на відміну від раніше застосовуваних аналітичних моделей теорії масового обслуговування, максимально наближає модель до реального процесу й тим самим дозволяє не тільки одержати більш достовірний результат, а й спрогнозувати майбутні показники функціонування ремонтного потоку.

7. Імітаційні моделі розроблено в імовірнісному виконанні, коли простежується рух кожного окремого вагона через всі позиції потоку, що, на відміну від відомих спрощених моделей, які були розроблені в квазірегулярному виконанні, коли визначалися усереднені показники по кожній позиції, а потім уже розраховувалися показники всього потоку, дозволяє отримати додаткові показники функціонування потоку.

8. Підготовлено вихідні дані для моделювання, які являють собою інтегральні функції розподілу випадкової величини часу виконання комплексів ремонтних робіт на позиціях потоку.

9. Поглиблено досліджено процеси функціонування різних структурних варіантів гнучких потоків для ремонту рухомого складу. Доведено, що в єдиному гнучкому потоці можна як успішно ремонтувати різні типи вагонів, так і здійснювати різні види ремонтів, що дозволяє значно розширити номенклатуру ремонтів виробів і робить виробництво менш залежним від конкретних об'єктів ремонту, на відміну від спеціалізованих депо, які ремонтують конкретний

тип вагонів одним видом ремонту.

10. Наведено алгоритм розв'язання задачі векторної оптимізації за двома показниками при розробці гнучкої технології ремонту. Це дає можливість суттєво підвищити ефективність вибору рішення при ремонті, яке дозволить мінімізувати час простою в ремонті та вартість ремонту взагалі.

11. Удосконалено принцип роботи й конструкцію транспортного агрегату для переміщення вагонів між позиціями гнучкого ремонтного потоку, що дозволить підвищити ефективність транспортних операцій і підвищити безпеку технологічного процесу ремонту вантажних вагонів.

12. Набули подальшого розвитку алгоритми проектування та функціонування технологічних процесів ремонту вагонів на гнучких потоках, а також розроблені на їх основі імітаційні програми в частині урахування додаткових показників та аналітичні методи розрахунку основних параметрів гнучкого виробництва.

13. Техніко-економічні розрахунки показують, що капітальні вкладення при застосуванні гнучкої потокової вагоноремонтної технології залежно від кількості ремонтних модулів збільшуються всього на 5–7 % від загальної вартості об'єкта, а пропускна спроможність при цьому підвищується на 50–70 %. Доведено, що не тільки технічні, а й економічні переваги гнучких поточкових технологій очевидні. Загальний щорічний економічний ефект від впровадження розроблених автором технологій на одному вагоноремонтному підприємстві дозволить отримувати щорічно додатковий прибуток у розмірі 35 млн грн при програмі ремонту 9100 вагонів.

14. Запропонована цілісна концепція гнучкого вагоноремонтного виробництва, яка може бути покладена в основу створення перспективних вагоноремонтних підприємств нового покоління. Рекомендовано при проектуванні, будівництві та реконструкції вагоноремонтних підприємств обов'язково використовувати тільки такі ремонтні системи, які базуються на гнучких поточкових технологіях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Мямлин, В. В. Теоретические основы создания гибких поточных производств для ремонта подвижного состава : монография / В. В. Мямлин. – Днепропетровск : ЧФ «Стандарт-Сервис», 2014. – 380 с.

2. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 24. – С. 44–48.

3. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С.15–17.

4. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.

трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 18–22.

5. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 28–33.

6. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 27. – С. 36–41.

7. Мямлин, В. В. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 55–62.

8. Особенности технического обслуживания и ремонта подвижного состава за рубежом / В. В. Мямлин, А. В. Кутько, С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал // Вісник СУНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 5 (147), Ч. 2. – С. 86–96.

9. Мямлин, В. В. Ретроспективный анализ методов организации ремонта грузовых вагонов в депо и пути их дальнейшего развития / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 34. – С. 51–60.

10. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів / В. О. Мельничук, В. В. Мямлін, І. В. Ісопенко, С. В. Мямлін // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк : ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 22. – С. 101–108.

11. Мямлин, В. В. Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов / В. В. Мямлин, А. А. Босов, С. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 36. – С. 54–57.

12. Мямлин, В. В. Роль поточних методів при організації вагоноремонтного виробництва і їх вплив на ріст продуктивності праці / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 32–43.

13. Мямлин, В. В. Моделирование работы потока для ремонта вагонов как мультифазной поликанальной многопредметной системы массового обслуживания / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 47–57.

14. Мямлин, В. В. Анализ трудоёмкостей отдельных видов работ при депоковом ремонте полувагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 28–36.

15. Мямлин, В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток – следующий уровень в организации ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2012. – № 1. – С. 8–11.

16. Мямлин, В. В. Комплексное исследование причин, влияющих на колебание времени выполнения работ при депоковом ремонте полувагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 24–34.

17. Мямлин, В. В. Компоновка позиций гибкого вагоноремонтного потока и способ перемещения изделий между ними при помощи транспортного агрегата / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин, А. Н. Михальчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 205–213.

18. Мямлин, В. В. Переход на адаптивный поток – реальный путь повышения эффективности ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2013. – № 12. – С. 20–24.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

19. Мямлин, В. В. Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования / В. В. Мямлин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – № 3 (51). – С. 124–135.

Публікації у наукових виданнях інших держав:

20. Мямлин, В. В. Разработка гибких поточных линий для ремонта вагонов и методы их расчёта / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – Вып. 6. – С. 53–58.

21. Мямлин, В. В. Гибкие потоки для ремонта вагонов и особенности имитационного моделирования их работы / В. В. Мямлин // Трансп. Росс. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 57–60.

22. Мямлин, В. В. Структуры гибких вагоноремонтных участков и их влияние на величину возможных вариантов перемещения вагонов между позициями потока / В. В. Мямлин // Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщ. – 2013. – Вып. 4 (52). – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2013. – С. 77–86.

23. Myamlin, V. V. Searching of the ways of definition of the rational configuration of divisions of the car-repair facilities on the basis of the flexible stream on the design stage / V. V. Myamlin // ТЕКА. Commiss. of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 4. – P. 167–173.

Додаткові праці:

24. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хоз-во». Ремонт вагонов. – Москва : ОИ ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – Вып. 1. – С. 1–11.

25. Myamlin, V. V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system / V. V. Myamlin // TRANSBALTICA 2009: Proc. of the 6-th Intern. Sc. Conf. / Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. – Vilnius : Technica, 2009. – P. 173–178.

26. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2010. – № 6. – С. 12–15.

27. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия подсистем асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2010. – № 7. – С. 19–22.

28. Мямлин, В. В. Структурные схемы перспективных вагоноремонтных предприятий с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2010. – № 11 – С. 15–18.

29. Мямлін, В. В. Свідोцтво про реєстрацію авторського права на твір № 55741. Комп'ютерна програма «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов» / В. В. Мямлін; Зареєстр. 24.07.2014.

Праці апробаційного характеру:

30. Мямлин, В. В. Моделирование работы гибких поточных линий для ремонта вагонов как многофазных многоканальных систем массового обслуживания / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 22.05–23.05.2008). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2008. – С. 51–52.

31. Мямлин, В. В. Перспективы проектирования современных грузовых депо с использованием гибких технологий ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 22.05–23.05.2008). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2008. – С.52–53.

32. Мямлин, В. В. Повышение эффективности поточного метода ремонта вагонов путём использования специальных архитектурно-технологических решений, обеспечивающих гибкую связь между позициями / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск, 09.10–10.10.2008). – Брянск, 2008. – С. 76–78.

33. Мямлин, В. В. Применение теории сложных систем к исследованию работы поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Транспортные связи. Проблемы и перспективы: докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, Украина, 29.05–30.05.2008). – Днепропетровск, 2008. – С. 8.

34. Мямлин, В. В. Поиски методов оптимального проектирования вагоноремонтных предприятий с поточными методами ремонта / В. В. Мямлин // Внедрение наукоёмких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте: тезисы докл. IV науч.-практ. Междунар. конф. (Крым, Ялта, 09.06–13.06.2008). – Ялта, 2008. – С. 14.

35. Мямлин, В. В. Использование математической схемы агрегата для формализации процесса функционирования ремонтной позиции гибкой поточной линии для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2008. – С. 172–173.

36. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток – следующий этап на пути совершенствования поточно-конвейерных методов ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин // Трансбалтика 2009 : тезисы Междунар. научной конф. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2009. – С. 37–38.

37. Мямлин, В. В. Разработка гибких поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: тезисы докладов VI Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 08.07–12.07.2009). –

Санкт-Петербург : ПГУПС, 2009. – С. 235–236.

38. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов как агрегативная система / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 69-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 21.05–22.05.2009). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2009. – С. 37–38.

39. Мямлин, В. В. Варианты организации перспективных вагоноремонтных предприятий, использующих гибкий поток для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // тезисы 70-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04–16.04. 2010). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2010. – С. 72–73.

40. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток – следующая ступень на пути эволюции поточных методов ремонта грузовых вагонов в депо / В. В. Мямлин // Интеграция Украины в международную транспортную систему: тезисы II Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27.05–28.05.2010). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2010. – С. 70–72.

41. Мямлин, В. В. Повышение надёжности работы поточных линий для ремонта вагонов за счёт придания гибкости их структуре / В. В. Мямлин // Проблемы безопасности на транспорте : матер. V Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2010. – С. 128–129.

42. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного вагоноремонтного производства за счёт применения асинхронных гибких потоков / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 70-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04 –16.04.2010). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2010. – С. 73–74.

43. Мямлин, В. В. Предложения по реконструкции грузового депо на ст. Н/Д-Узел с переводом его на гибкий поток ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : тезисы докладов 71-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04 –16.04.2011). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2011. – С. 76–77.

44. Мямлин, В. В. Современные тенденции развития ремонта грузовых вагонов на потоке / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 71-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04–16.04. 2011). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2011. – С.78–79.

45. Мямлин, В. В. Гибкий асинхронный многопредметный поток – следующий этап на пути совершенствования деповского ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 06.07–10.07.2011). – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2011. – С. 54–56.

46. Технологическое сопровождение ремонта и технического обслуживания пассажирских вагонов нового поколения / С. В. Мямлин, А. В. Кутько, Ю. В. Кебал, В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 06.07–10.07.2011). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – С. 79–81.

47. Мямлин, В. В. Повышение эффективности ремонта вагонов за счёт совершенствования организации поточного производства / В. В. Мямлин // Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов: тезисы докл. II Междунар. партн. конф. (Ялта, 19.05–20.05.2011). – Ялта, 2011. – С. 59.

48. Мямлін, В. В. Удосконалення технології ремонту вантажних вагонів / В. В. Мямлін, С. В. Мямлін, Ю. В. Кебал // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології : матеріали V Міжнар. науково-практ. конф. Сер. «Техніка, технологія». – Київ : ДЕГУТ, 2011. – С. 107–108.

49. Мямлин, В. В. Имитационное моделирование мультифазных поликанальных многопредметных асинхронных гибких потоков ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 72-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 19.04 – 20.04.2012). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – С. 58–59.

50. Мямлин, В. В. Исследование трудоёмкостей работ на вагонооборочном участке при деповском ремонте полувагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 72-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 19.04–20.04.2012). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – С. 41–42.

51. Мямлин, В. В. Повышение надёжности работы вагоноремонтных потоков за счёт формирования их гибкости / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 92–93.

52. Мямлин, В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток – реальный механизм повышения эффективности ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-техн. конф. (Харьков, 24.04 – 25.04.2012). – Харьков : УкрГАЗТ, 2012. – С. 219–220.

53. Мямлин, В. В. Адаптивный поток ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Проблемы подвижного состава : пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов: тезисы докл. III Междунар. партн. конф. (Ялта, 21.05–25.05.2012). – Ялта, 2012 – С. 64.

54. Мямлин, В. В. Главная задача в совершенствовании промышленных методов ремонта вагонов – адаптация потока к каждому отдельному вагону / В. В. Мямлин // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.: тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф.: Вагони нового покоління – із ХХ в ХХІ сторіччя. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139. – С. 311–312.

55. Мямлин, В. В. Теоретические основы совершенствования технологии ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Подвижной состав ХХІ века : идеи, требования, проекты: тезисы докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 03.07–07.07.2013). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – С. 205–207.

56. Мямлин, В. В. Использование транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого вагоноремонтного потока / В. В. Мямлин //

Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : тезисы докл. 73-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 23.05–24.05.2013). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – С. 53–54.

57. Мямлин, В. В. Основные технологические решения многофункционального производственного комплекса по ремонту и изготовлению грузовых вагонов на базе вагонного депо Гянджа (Азербайджан) / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 73-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 23.05–24.05.2013). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – С. 55–57.

58. Мямлин, В. В. Анализ различных структур гибких вагоноремонтных потоков / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2014). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 65–67.

59. Мямлин, В. В. Использование теории графов для рациональной компоновки участков вагоноремонтного предприятия / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2014). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 67–69.

60. Мямлин, В. В. Оптимизация структуры гибкого вагоноремонтного потока при помощи моделирования путём «расширения узких мест» / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2014). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 69–71.

61. Мямлин, В. В. Влияние структурной гибкости вагоноремонтного потока на его пропускную способность / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 75-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2015). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2015. – С. 33–35.

62. Мямлин, В. В. Исследование количества «обгонов» между вагонами в гибких вагоноремонтных потоках при помощи имитационного моделирования / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 75-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2015). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2015. – С. 42–44.

АНОТАЦІЯ

Мямлін В. В. Розвиток наукових основ створення гнучких потокових технологій ремонту рухомого складу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2016.

Дисертацію присвячено вирішенню важливої науково-прикладної проблеми, яка пов'язана з суперечністю між регламентованим тактом «жорсткої» потокової лінії й значними коливаннями трудомісткості ремонтних робіт на об'єктах. Запропоновано методологію створення гнучких вагоноремонтних потоків, а також ком-

плексно обґрунтовано і науково підтверджено їх перевагу в порівнянні з «жорсткими» потоковими лініями, чим закладено основи теорії гнучкого вагоноремонтного виробництва. Розроблено спосіб раціонального з'єднання між собою окремих дільниць генерального вагоноремонтного потоку і введено показник структурної гнучкості. Здійснено пошук раціональних структурних варіантів організації гнучких вагоноремонтних потоків при різній кількості ремонтних позицій на потоці й різній кількості ремонтних модулів на позиціях та визначено їх структурну гнучкість. На базі математичного апарату теорії кусково-лінійних агрегатів розроблено імітаційну модель функціонування модулів гнучких потоків для ремонту рухомого складу. Поглиблено досліджено процеси функціонування гнучких потоків для ремонту вагонів при різних структурних варіантах їх реалізації. При збільшенні капітальних вкладень всього на 5–7 % пропускна спроможність потоків зростає на 50–70 %. Запропоновані автором технічні та технологічні рішення впроваджено у виробництво і навчальний процес, про що свідчать відповідні акти впровадження.

Ключові слова: технологія ремонту, рухомий склад, гнучкий потік, вагоноремонтне підприємство, імітаційне моделювання.

АННОТАЦІЯ

Мямлин В. В. Развитие научных основ создания гибких поточных технологий ремонта подвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной проблемы, которая имеет место при индустриальном ремонте подвижного состава железнодорожного транспорта и связана с противоречием между регламентированным тактом «жесткой» поточной линии и значительными колебаниями трудоемкости ремонтных работ на объектах.

Эта проблема может быть решена за счет принятия специальных организационно-технических решений, которые смогут придать транспортно-технологическую гибкость производству по ремонту подвижного состава, благодаря чему у вагоноремонтных потоков появится возможность функционировать более эффективно, так как существенно возрастет их пропускная способность, сократится простой вагонов в ремонте и увеличится съем вагонов с одного ремонтного места. Поэтому в работе предложена методология создания таких гибких вагоноремонтных потоков, а также комплексно обосновано и научно подтверждено их преимущество по сравнению с «жесткими» поточными линиями, чем заложены основы теории гибкого вагоноремонтного производства.

В работе проведен ретроспективный анализ научных разработок и практических решений в области организации ремонта подвижного состава как в СНГ, так и за рубежом. Особое внимание обращено на поточные методы

производства в других отраслях промышленности. Представлена широкая база данных по трудоемкостям деповского ремонта полувагонов, выполнен их анализ и получены кривые законов распределения плотности времени выполнения ремонтных работ. Эти данные послужили исходным материалом при проведении имитационного моделирования вагоноремонтных потоков.

Разработаны методы рационального соединения между собой отдельных участков генерального вагоноремонтного потока и введён показатель структурной гибкости потока. Осуществлен поиск рациональных структурных вариантов организации гибких вагоноремонтных потоков при разном количестве ремонтных позиций на потоке и разном количестве ремонтных модулей на позициях и определена их структурная гибкость. Расчеты показали, что количество возможных сценариев перемещения вагонов вдоль позиций гибких потоков может достигать нескольких тысяч, в отличие только от одного сценария при традиционных потоках.

На основании матрицы взаимодействия подразделений и моделей теории графов предложен метод формирования структурно-логистического комплекса основных технологических участков вагоноремонтного предприятия, которое использует гибкий поток, что позволит сократить транспортные пути для перемещения отдельных узлов, деталей и вагонов в целом.

На основании комплексного анализа возможных причин представлен алгоритм решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта.

На базе математического аппарата теории кусочно-линейных агрегатов разработана имитационная модель функционирования модулей гибких потоков для ремонта подвижного состава, что в отличие от ранее используемых аналитических моделей теории массового обслуживания позволяет приблизить имитационную модель к реальному процессу, и тем самым получить более достоверный результат.

Углубленно исследованы процессы функционирования гибких потоков для ремонта вагонов при различных структурных вариантах их реализации. Имитационные модели разработаны в вероятностном исполнении, когда прослеживается движение каждого отдельного вагона через все позиции потока, что значительно отличает их от существующих моделей, которые были разработаны в квазирегулярном исполнении, когда просто определялись усреднённые показатели по каждой отдельной позиции, а через них уже рассчитывались показатели всего потока. На основании составленных алгоритмов моделирования были разработаны программы для моделирования различных структурных вариантов гибких потоков.

Доказано, что в едином гибком потоке можно успешно ремонтировать как разные типы вагонов, так и производить разные виды ремонтов, что позволяет значительно расширить номенклатуру ремонтируемых изделий и делает производство менее зависимым от конкретных объектов ремонта.

Усовершенствован принцип работы и конструкция транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого ремонтного потока.

Предложены аналитические методы расчета основных параметров поточного

вагоноремонтного производства гибридного типа в части ремонта в едином потоке различных типов вагонов, и выполнения различных видов ремонта.

Предложена методология создания гибкого вагоноремонтного производства, которая может быть положена в основу проектирования перспективных вагоноремонтных производств нового поколения – производств с более широкими возможностями и значительно лучшими технико-экономическими показателями.

На основании выполненных технико-экономических расчетов показаны преимущества гибких поточных технологий по сравнению с «жесткими» потоками. При увеличении капитальных вложений всего на 5–7 % пропускная способность потоков возрастает на 50–70 %.

В работе делается вывод о том, что для вагоноремонтного производства, имеющего ярко выраженный вероятностный характер объемов ремонтных работ на объектах, гибкие поточные технологии являются наиболее целесообразной формой организации процесса ремонта вагонов и поэтому их необходимо активно внедрять в практику вагоноремонтного производства. Предложенные автором технические и технологические решения внедрены в производство и в учебный процесс, о чем свидетельствуют соответствующие акты внедрения.

Ключевые слова: технология ремонта, подвижной состав, гибкий поток, вагоноремонтное предприятие, имитационное моделирование.

ABSTRACT

Myamlin V. V. Development of scientific bases of the creation of flexible flow technology repair of the rolling stock. – The manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Doctor of technical science on speciality 05.22.07 – a rolling stock of railways and train tractions. – Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2016.

Dissertation is devoted to the solution of important scientific and applied problems, which is related to the contradiction between the regulated tact "hard" production line and significant fluctuations in the complexity of re-repair work on objects. The methods for creating flexible car-flows, as well as a comprehensive and scientifically substantiated confirmed their advantage over the "hard" production lines than the foundations of the theory of flexible wagon production. The methods of rational connection between the individual sections of a general car repair stream is introduced and-exponent of structural flexibility. In its search for rational structural options for flexible car-flows at different positions in the amount of repair flow and different number of repair units on the positions and determine their structural flexibility. On the basis of the mathematical apparatus of the theory of piecewise linear units we developed a simulation model of the flow of flexible modules for the repair of rolling stock. In-depth study the processes of functioning of the flexible thread to repair cars at different structural options for their implementation. With an increase in capital investments by 5-7%, capacity increased by 50-70%. Proposed by the author technical and technological solutions implemented in the production and in the educational process, as evidenced by the introduction of the relevant acts.

Keywords: repair technology, rolling stock, flexible thread, repair plants, simulation.

МЯМЛІН ВЛАДИСЛАВ ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 658.527:629.48

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ СТВОРЕННЯ ГНУЧКИХ
ПОТОКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку «10» травня 2016 р.

Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 1,90. Обл.-вид. арк. 2,00.

Зам. № 142. Тираж 120 пр.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010