

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

ДАЦУН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК. 629.4.083:001.76

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ФОРМУВАННЯ  
ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Пузир Володимир Григорович**,  
Український державний університет залізничного транспорту, професор кафедри.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Капіца Михайло Іванович**,  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, кафедра локомотивів, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор  
**Ткаченко Віктор Петрович**,  
Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра тягового рухомого складу залізниць, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор  
**Полянський Олександр Сергійович**,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології машинобудування і ремонту машин, професор кафедри.

Захист відбудеться «23» квітня 2021 р. об 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий «20» березня 2021 р.

В.о. ученого секретаря  
спеціалізованої вченої ради



О.М. Огар

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Залізничний транспорт відіграє істотну роль у функціонуванні економіки України. Від якості роботи залізниці безпосередньо залежить розвиток економіки, здатність держави захищати національний суверенітет і безпеку, забезпечення прав громадян на свободу пересування.

Реформування економіки України, інтеграція її в систему світових економічних відносин поставили перед залізничним транспортом складні задачі, пов'язані з адаптацією до роботи в ринкових умовах, із забезпеченням виконання зростаючих вимог до якості транспортних послуг і з підвищенням економічної ефективності діяльності підприємств, в тому числі і локомотивного господарства.

Локомотивне господарство залізниць України є найбільш фондомістким в галузі. В даний час стан основних засобів локомотивного господарства характеризується високим ступенем фізичного і морального зносу. На їх утримання витрачається більше 30% від витрат на ремонт основних засобів залізниць України.

Довготривале недофінансування галузі поряд із загальним погіршенням економічної ситуації в країні призвели також до тотального зношування всієї інфраструктури ремонту.

Означені особливості призводять до ситуації, коли традиційні підходи із підтримання технічного стану локомотивів перестають виконувати свої функції (технічний стан локомотивів погіршується, а витрати на їх утримання зростають). Реалізація заходів із оновлення рухомого складу, реорганізації ремонтних баз та поширення послуг сервісу локомотивів лиш посилюють існуючі протиріччя.

Виробничі процеси ремонту локомотивів реалізуються згідно встановленої стратегії, технології та організації робіт. Стратегія та технологія ремонту обумовлюють здійснення заходів із підтримання справного технічного стану локомотивів на тактичному і стратегічному рівнях. На сьогоднішній день вони носять плановий та регламентний характер. Їх недоліки пов'язані із витратами під час виконання та подальшого негативного впливу надлишкових ремонтних робіт без урахування фактичного технічного стану вузла. Крім того локомотиви, що комплектуються в процесі ремонту вузлами та агрегатами із різним ресурсом характеризуються майже постійною інтенсивністю потоку відмов у експлуатації. Планова стратегія в таких умовах є системою із накопиченням несправностей, що підтверджується значною кількістю непланових ремонтів. Дослідженнями встановлено, що більше 60% дефектів локомотива з'являється після виконання обслуговувань та ремонтів.

Організаційна складова виробництва має забезпечувати раціональне поєднання в просторі і в часі всіх матеріальних і трудових елементів виробництва з метою досягнення встановлених результатів. Підприємства, що

здійснюють ремонт локомотивів та їх вузлів різняться за рівнем технічного оснащення, забезпеченням виробничими площами, персоналом, документацією. Необхідність оперативного реагування на зміни обсягу та характеру ремонтних робіт спонукає до пошуку нових форм організаційної взаємодії на основі віртуальних технологій.

Впровадження сучасних підходів до формування стратегії, технології та організації ремонту можливе за рахунок застосування високоінтелектуальних інформаційних технологій, що дозволить оперувати великими масивами даних про технічний стан вузлів локомотивів та технічний рівень підрозділів ремонтних виробництв.

Таким чином дослідження, що спрямоване на розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів, здійснюване на принципах системного підходу та з урахуванням фактичного технічного стану елементів локомотивів і рівня ремонтних виробництв є актуальною науковою проблемою, яка має велике значення для залізничного транспорту України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), планів імплементації Директив ЄС у сфері залізничного транспорту, схваленими розпорядженням КМУ від 26.11.2014 № 1148-р, основних аспектів стратегії АТ «Укрзалізниця» на 2019-2023 роки, а також науково-дослідних робіт за темами, в яких автор брав безпосередню участь як керівник чи відповідальний виконавець: «Розробка проекту опису технологічного процесу управління ремонтом та діагностикою електровозів в АСУ локомотивним господарством» (№ держреєстрації 0107U009675); «Розробка та впровадження системи якості ISO 9001 на підприємствах Придніпровської залізниці» (№ держреєстрації 0107U009977); «Дослідження та визначення оптимального набору параметрів, режимів їх отримання і обробки для відображення технічного стану локомотивів з метою забезпечення побудови автоматизованої системи їх діагностування і організації ремонту по пробігу» (№ держреєстрації 0108U007035); «Дослідження конструкцій кабін машиніста електровозів щодо можливості застосування мікропроцесорного управління із забезпеченням сучасних ергономічних вимог та електричної безпеки локомотивних бригад» (№ держреєстрації 0110U005627); «Розробка проекту технології інформаційної взаємодії лінійного, рівня залізниці та Укрзалізниці в частині інформації про технічний стан і паспортні дані» (№ держреєстрації 0110U000210); «Розробка технічних вимог на пристрої контролю якості ремонту ТРС при їх взаємодії із засобами АСУ Т» (№ держреєстрації 0110U005625); «Розробка дослідного зразка спеціалізованого стенду для випробувань плунжерних пар ПНВТ тепловозів при взаємодії із технічними засобами АСУ Т» (№ держреєстрації 0110U005626); «Розробка концепції та основних положень системи обслуговування та ремонту

електровозів 2ЕЛ5 та 2ЕС5К за фактичним технічним станом» (№ держреєстрації 0112U008331)

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є покращення технічного стану локомотивів шляхом формування інтелектуалізованої системи ремонту, що базується на принципах системного підходу та враховує фактичний технічний стан вузлів локомотивів і рівень ремонтних виробництв.

У зв'язку з цим в роботі поставлені та вирішені наступні наукові задачі:

- здійснити аналіз технічного стану локомотивів, причин транспортних подій та їх наслідків, концептуальних підходів до організації ремонту локомотивів;
- розробити концепцію адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів на основі OWL-онтології, що дозволить оптимізувати процеси організації і технології ремонту;
- розробити модель функціонування виробничої системи ремонту локомотивів з метою визначення кількісної оцінки взаємного впливу її складових;
- розробити метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів, з урахуванням їх технічного стану та рівня ремонтного виробництва;
- розробити комплексний показник для оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва;
- оцінити ступінь впливу різних технологічних процесів на справність відремонтованих вузлів в експлуатації;
- розробити модель для дослідження технології ремонту вузла локомотива;
- удосконалити метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів з урахуванням їх індивідуальних технологічних можливостей;
- удосконалити метод визначення технічного рівня локомотиворемонтного виробництва шляхом розробки структури інтелектуалізованої експертної системи з метою реалізації адаптивного інтелектуалізованого підходу до організації ремонту локомотивів;
- визначити економічну доцільність впровадження адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів.

*Об'єкт дослідження* - процес ремонту локомотивів.

*Предмет дослідження* - методи та моделі формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів.

**Методи дослідження.** Аналіз стану безпеки руху на залізничному транспорті, обсягів перевезень, причин транспортних подій та їх наслідків проводився із застосуванням методів математичної статистики та теорії ймовірності. Розроблення концепції адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів на основі OWL-онтології проводилось із застосуванням методів об'єктно-орієнтованого аналізу і моделювання інформаційних систем, онтологічного аналізу. Визначення кількісної оцінки взаємного впливу

складових виробничої системи ремонту локомотивів проводилось методами когнітивного аналізу і моделювання. Формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів та віртуальних підприємств з ремонту локомотивів проводились на основі методів нечіткої логіки. Оптимізація бази правил нечіткого класифікатора вузлів локомотивів проводилась із використанням генетичних алгоритмів. Розроблення комплексного показника для оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва проводилось на основі методів експертних оцінок, регресійного аналізу. Оцінка ступеню впливу різних технологічних процесів на справність відремонтованих вузлів в експлуатації проводилась із застосуванням методів булевої алгебри та логіко-ймовірнісного аналізу надійності систем. Дослідження технології ремонту вузлів локомотива проводилось на основі методів теорії ігор.

**Наукова новизна отриманих результатів.** В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів на принципах системного підходу з урахуванням фактичного технічного стану елементів локомотивів та технічного рівня ремонтних виробництв.

З цією метою вперше:

- розроблено концепцію адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів на основі OWL-онтології, що дозволяє встановлювати її взаємозв'язки та базується на сформованих моделях і методах, які забезпечують об'єктивність і обґрунтованість вибору альтернативних рішень;

- розроблено когнітивну модель функціонування виробничої системи ремонту локомотивів з представленням кількісної оцінки взаємного впливу її складових, зокрема: технічного стану локомотива до та після ремонту, технічного рівня виробництва, процесу ремонту локомотива із застосуванням експертних оцінок. Це дозволяє реалізувати нечіткий підхід до аналізу, моделювання і прийняття рішень в умовах слабоструктурованої системи;

- розроблено метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів, який реалізує адаптивний інтелектуалізований підхід шляхом застосування нечіткої класифікації на основі технічного стану вузлів локомотивів та рівня ремонтного виробництва;

- розроблено комплексний показник технічного рівня локомотиворемонтного виробництва у вигляді потрійної адитивної згортки, що враховує кількісну оцінку впливу типу технологічних процесів, виду вузлів локомотивів та компонентів ремонтного виробництва;

- визначено кількісну оцінку ступеню впливу різних технологічних процесів на справність відремонтованих вузлів в експлуатації із застосуванням моделі розвитку подій і обчислення показників структурної значимості її елементів.

- розроблена теоретико-ігрова модель ремонту вузла локомотива, що дозволяє досліджувати формування технологій його ремонту в залежності від

фактичного технічного стану за критеріями максимального виграшу та мінімального ризику.

Доопрацьовано:

- метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів за принципом доповнення технологічних можливостей підприємств-агентів;

- метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва та його окремих підрозділів, шляхом розробки структури інтелектуалізованої експертної системи що узагальнює та формалізує оцінки технічного стану виробництва та дозволяє реалізовувати адаптивний інтелектуалізований підхід до організації ремонту локомотивів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що широке використання розроблених теоретичних положень під час організації ремонту локомотивів буде сприяти підвищенню їх технічного стану та зменшенню витрат на ремонт, а саме:

- розроблена концепція інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів дозволить підвищити оперативність управління ремонтом, знизити вплив людського фактору на прийняття управлінських рішень підвищити якість ремонту та технічний стан локомотивів;

- розроблений комплексний метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва та кількісна оцінка ступеню впливу різних технологічних процесів на справність відремонтованих вузлів дозволяють об'єктивно оцінювати значимість невідповідностей виробництва, впорядковувати усунення невідповідностей згідно пріоритетності та можуть бути використані під час технічних аудитів виробництва;

- розроблений метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів дозволяє знижувати витрати на їх утримування та підвищувати їх надійність в експлуатації шляхом усунення надлишкових технологічних впливів під час проведення технічних обслуговувань та ремонтів.

- розроблена теоретико-ігрова модель ремонту вузла локомотива дозволяє визначати індивідуальну технологію ремонту вузла, обґрунтовувати фактичні витрати на ремонтні роботи, тим самим сприяти їх зниженню.

- доопрацьований метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів дозволяє ситуативно розширювати можливості ремонтних виробництв в залежності від потреб ринку, що сприяє підвищенню якості ремонтних робіт та збільшенню прибутковості виробництв.

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження у виробничий процес виробничих підрозділів Департаменту локомотивного господарства АТ Укрзалізниці, ТОВ «Полтавський ремонтний завод залізничної техніки» а також у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при підготовці фахівців усіх освітніх програм спеціальності «Залізничний транспорт» з дисциплін «Основи технології ремонту

локомотивів», «Організація обслуговування ВРС та управління якістю», «Технологія ремонту локомотивів», «Основи автоматики та автоматизації виробничих процесів у локомотивному господарстві», «Системи діагностування рухомого складу». Практичне використання результатів роботи підтверджено актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок здобувача визначається наступним: [1] розроблення процесної моделі ремонту електричних машин локомотивів; [2] визначення характеру впливу атестаційної діяльності на покращення показників безпеки руху; [3] формулювання критеріїв досягнення цілей локомотивного депо в області управління якістю; [4] формалізація процесу виникнення помилки при випробуваннях паливної апаратури; [5] аналіз факторів, що впливають на якість роботи дільниці експлуатації локомотивного депо; [7] визначення критеріїв оцінки системи ремонту локомотивів; [8] розроблення структурної схеми автоматизованого комплексу випробування форсунок; [9] визначення характеристик тепловізійних засобів контролю стану тягових двигунів локомотивів; [10] аналіз видів, причин і наслідків дефектів колісних пар локомотивів в експлуатації; [11] формування основних напрямків застосування сучасних стратегій для удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів; [12] визначення оптимальних міжремонтних періодів для вузлів, відмови яких впливають на безпеку руху; [14] постановка оптимізаційної задачі визначення маршрутів експертної групи; [16] дослідження технологічного процесу визначення параметрів вузлів рухомого складу з метою встановлення видів ймовірних помилок людини; [22] визначення критичних значень показника відповідності ремонтного виробництва; [23] визначення критеріїв оцінки технічного стану форсунок; [24] формулювання та вирішення задачі визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного підприємства за обраними критеріями; [26] визначення та оцінка впливу основних факторів на технічний рівень локомотиворемонтного виробництва; [27] розробка алгоритму ідентифікації елемента електричної машини локомотива; [28] розроблення теоретико-ігрової моделі формування адаптивної технології ремонту вузлів локомотивів; [29] ранжування факторів можливості виконання рейсу локомотивом за ступенем впливу; [30] визначення інформативності методів виявлення станів, що знижують рівень функціональної надійності персоналу.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на: 74 - 80 Міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК) «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2012-18 рр.); міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) «Експлуатаційна надійність рухомого складу» (Омськ, 2013 р.); VI - IX міжнародних наукових конференціях «Transport Problems»



(Катовіце, 2014-17 рр.); I, II, III МНПК «Перспективи розвитку сервісного обслуговування локомотивів» (Москва, 2014, 2015, 2018 рр.); II - V МНТК «Локомотиви XXI вік» (Санкт-Петербург, 2014-17 рр.); МНПК «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Лозова, 2015 р. Лиман 2019); III МНТК «Технологічне забезпечення ремонту і підвищення динамічних якостей залізничного рухомого складу» (Омськ, 2015 р.); МНПК «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (Трускавець, 2016 р.); XII Науково-практичній конференції (НПК) «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків, 2016 р.); XVI НПК «Перспективи впровадження технічних заходів безпеки руху на залізницях України» (Хмельник, 2016р.); 29, 30 МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 2016, 2017 рр.); III всеукраїнській НПК «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика» (Маріуполь, 2017 р.); МНК «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (Париж, 2017 р., Салоу, 2019 р.); МНТК «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 2018 р.); VIII, IX МНПК «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» (Одеса, 2018, 2019 рр.); 79 МНПК «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2019 р.); 9<sup>th</sup> international scientific conference - IRMES 2019 (Kragujevac, 2019); International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies BulTrans-2019 (Sozopol, 2019 р.); 1 МНТК «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець-Харків, 2020 р.); X МНПК «Проблеми безпеки на транспорті» (Гомель, 2020 р.); XV Міжнародна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження» (Дніпро, 2020 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 67 наукових праць, з яких: 24 наукових статті у фахових виданнях, затверджених МОН України, та 6 статей у виданнях інших держав (14 статей включено до міжнародних наукометричних баз, 6 з них включені до бази Scopus); 1 патент на корисну модель та 36 праць апробаційного характеру.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 354 сторінки, у тому числі 265 сторінок основного тексту. Основний текст роботи викладений на 265 сторінках, та містить 63 рисунки, 25 таблиць, список використаних джерел включає 299 найменувань, 8 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність, подано загальну характеристику роботи, наведено дані про апробацію.

**У першому розділі** виходячи із мети дисертаційної роботи виконаний аналіз технічного стану локомотивів, загального рівня локомотиворемонтних підприємств залізниць, основних концептуальних підходів до організації ремонту локомотивів.

Проведений аналіз стану локомотивів залізниць показав що майже весь інвентарний парк не відповідає необхідним характеристикам експлуатаційної роботи. За даними АТ «Укрзалізниця» зношеність парку електровозів складає 94%, тепловозів - 99%. Це викликає збільшення витрат на їх утримання та зниження показників експлуатаційної надійності. Значна кількість локомотивів вибуває з експлуатації з причин раптових відмов обладнання, що призводить до виникнення транспортних подій різного ступеню тяжкості. Аналіз причин транспортних подій по локомотивному господарству вказує на те, що в більшості випадків вони викликані неякісним деповським технічним обслуговуванням чи ремонтом.

Аналіз локомотиворемонтних підприємств залізниць показує, що їх технічна база залишається на рівні 60 - 80 років минулого століття, більшість технологічного обладнання характеризується високим ступенем морального та фізичного зношування. Також виявлено що поряд із старінням і зношенням основних фондів, ремонтні підприємства базуються на підходах до стратегії, технології та організації ремонту, що формувались в середині минулого століття, та не відповідають сучасним реаліям.

Стратегія та технологія ремонту локомотивів утворювались в умовах планової економіки, базуючись на «статичних» принципах: постійна структура парку локомотивів, наявність незнижуваного запасу оборотних матеріалів та запчастин, стабільні умови експлуатації. Розвиток стратегії, що базується на таких принципах відбувався за рахунок нарощування ремонтних потужностей із збільшенням витрат ресурсів пропорційно росту кількості ремонтів. Необхідність зменшення експлуатаційних витрат обумовила високу актуальність робіт з удосконалення стратегії ремонту локомотивів. Цій проблемі присвячено наукові дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців під керівництвом Бабаніна О.Б., Боднара Б.Є., Бутько Т.В., Воробйова А.А., Горського А.В., Грищенка О.В., Давидова Ю.А., Ісаєва І.П., Капиці М.І., Крашенініна О.С., Осяєва А.Т., Павловича Є.С., Рахматуліна М.Д., Стрекопитова В.В., Устенка О.В., Фалендиша А.П., Фуфрянського Н.А., Четвергова В.А., Eisenberger D., Fink O., Lin J., McDermott R. Ряд вчених у своїх дослідженнях зазначали суттєвий вплив стану ремонтної бази як на технічний стан локомотивів так і на стратегію їх ремонту. Технологія ремонту вузлів і агрегатів локомотивів формувалась до активного розвитку та поширення методів і засобів оцінки технічного стану об'єктів. Застосування встановленої технології ремонту до вузлів з різним технічним станом призводить до підвищення витрат часу і коштів на ремонт, сприяє збільшенню зносу деяких деталей в подальшому внаслідок зношення в процесі припрацювання після розбирання-збирання.

Довгий час ремонт локомотивів залізниць України проводився відомчими підприємствами з типовою організаційно-виробничою структурою. Основні вимоги до них викладені в ряді державних та галузевих нормативних документів розробки 70-80-х років минулого століття і були, що цілком слушно, орієнтовані на умови планової економіки в період екстенсивного її розвитку. В теперішній період реалізація традиційних підходів до організації ремонту може характеризуватися низьким або навіть негативним ефектом внаслідок нинішніх особливостей локомотивного господарства.

В теперішніх умовах лібералізації залізничного ринку, локомотиворемонтні підприємства державного і приватного сектору будуть орієнтуватися на задоволення потреб замовників та працювати в умовах конкуренції, коротких термінів поставок, жорстких вимог до продукції, постійного браку коштів, частих змін попиту на продукцію. Це спонукає до пошуку нових підходів до формування стратегії, технології та організації ремонту локомотивів.

На підставі проведеного аналізу сформульована мета та задачі дисертаційної роботи.

**У другому розділі** розроблена концепція адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів. Проведено дослідження виробничої системи ремонту локомотивів.

Під інтелектуалізованою системою (ІС) ремонту локомотивів слід розуміти виробничу систему, в якій визначення керуючих впливів на процеси формування стратегії технології та організації ремонту здійснюється в інтелектуальній підсистемі за участю особи що приймає рішення (ОПР).

В процесі розробки концепції ІС ремонту локомотивів, була сформована архітектура інформаційної взаємодії основних стейкхолдерів процесу ремонту (рис. 1).

Інформаційна підтримка прийняття рішень з використанням ІС здійснюється наступним чином. До ІС надходить інформація з глобальних баз щодо вимог нормативної документації з ремонту локомотивів. За вимогою, може бути надана інформація про наявність та технічний стан множини ремонтних підприємств  $E_a^n$  необхідної спрямованості. Також ІС може отримати наявну інформацію про технічний стан локомотивів чи вузлів, що надійшли в ремонт з інших підприємств.

Інформація про технічний рівень власного ремонтного виробництва та технічний стан вузлів локомотивів власного парку також поступає до ІС. Математичне обґрунтування рішень щодо формування стратегії, технології та організації ремонту відбувається відповідними модулями із використанням моделей і методів прийняття рішень. Результатом їх роботи є рекомендації, що надаються ОПР, яка в свою чергу враховує їх під час формування керуючих впливів за стратегічним  $C_s$ , технологічним  $C_t$  та організаційним  $C_o$  напрямками.

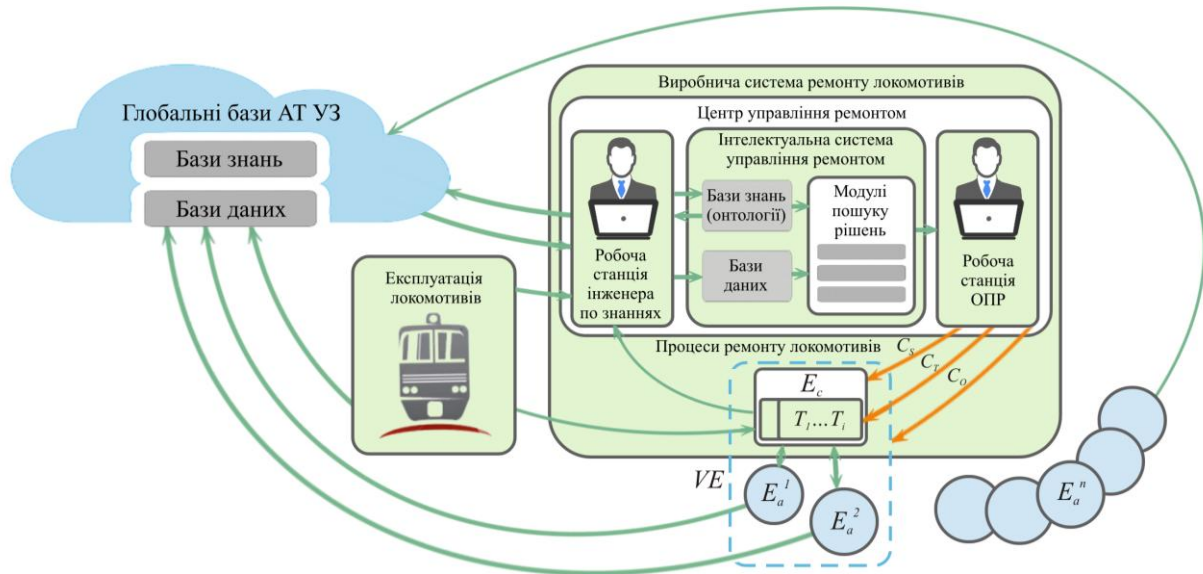


Рис. 1. Концептуальний склад адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів

Ефективність функціонування ІС багато в чому залежить від повноти і несуперечності знань, а також від властивостей моделі подання знань в базі знань. Можливості онтології інтегрувати різні види знань, а також велика кількість алгоритмічних і програмних засобів роботи з ними визначає доцільність її використання в якості основного засобу роботи з базами знань.

Онтологія являє собою модель предметної області у вигляді деякої мережевої структури, в якій семантика кожного поняття визначається через його відносини з іншими поняттями. Причому в багатьох відносинах існує ставлення типу «клас - підклас» (*is-a*), що впорядковує поняття предметної області в ієрархію - таксономію понять. До відносин загального типу також відноситься і ставлення «ціле - частина» (*part-of*). В загальному випадку онтологію предметної області представляють впорядкованою трійкою:

$$O = \langle X, R, F \rangle, \quad (1)$$

де  $X$  – множина концептів (понять, термінів) предметної області;

$R$  – множина відношень між концептами;

$F$  – множина функцій інтерпретації  $X$  та/або  $R$ .

Онтологія локомотиворемонтного виробництва, представлена у вигляді таксономічної ієрархії класів, що описані шляхом OWL-діаграми наведена на рис. 2. На верхньому рівні ієрархії онтології розташовано концепти: виробниче середовище, персонал, обладнання та інструмент, запасні частини та матеріали, управління та документація.

Застосування онтологій дозволяє описувати складні системи, які містять велику кількість елементів і зв'язків, для функціонування яких, потрібні великі

обсяги інформації і знань, що підвищує якість формалізації предметної області і точність рекомендованих рішень.

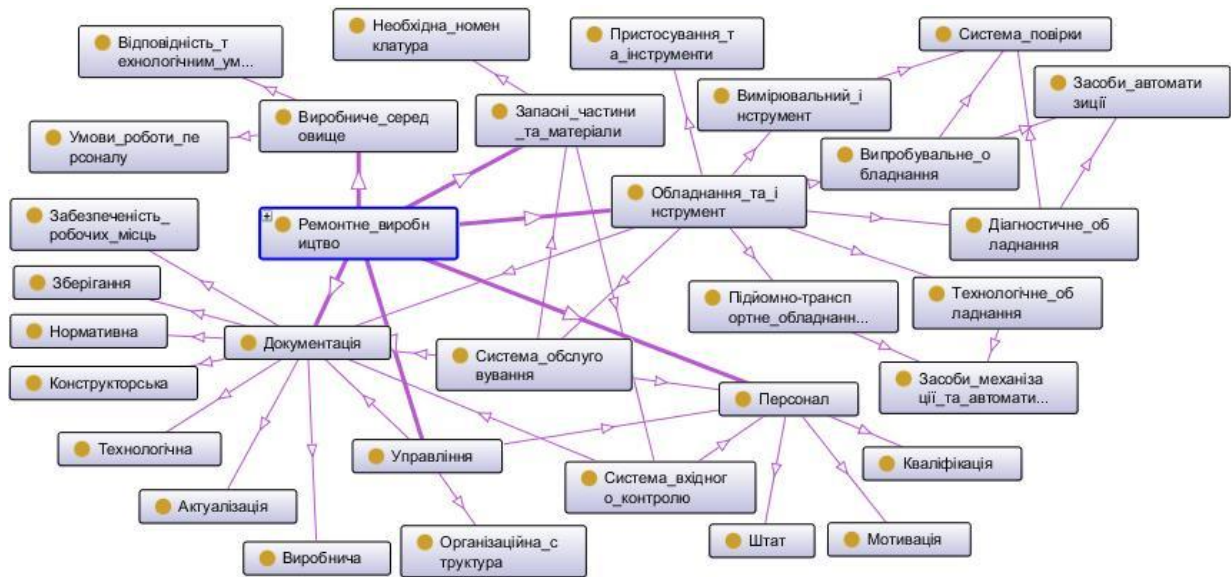


Рис. 2. Онтологія локомотиворемонтного виробництва, побудованої в середовищі Protégé

З метою визначення кількісної оцінки взаємного впливу складових виробничої системи ремонту, її функціонування представлялось з точки зору процесного підходу (рис. 3а). Це дозволило виявити основні групи чинників, що обумовлюють функціонування процесу ремонту: входи, виходи, управління та ресурси. Представлення відношень між цими елементами дозволяють розглядати їх сукупність як систему. Її елементи характеризуються різними кількісними та якісними показниками, що ускладнює формалізацію їх взаємного впливу. Системи з такими характеристиками є слабоструктурованими, їх аналіз та моделювання традиційними методами пов'язаний зі складністю і низькою ефективністю.

В даний час для дослідження слабоструктурованих систем активно використовується нечітке когнітивне моделювання. Когнітивна модель має вигляд:

$$C_m = \langle G(C, R), \Psi, X(0) \rangle, \quad (2)$$

де  $G(C, R)$  – когнітивна карта;

$C = \{c_i\}$  – множина елементів системи (концептів);

$R = \{r_{ij}\}$  – множина причинно-наслідкових зв'язків між елементами множини  $C$ ;

$\Psi = \{\psi_i\}$  – множина шкал для задавання значень елементів множини  $C$ ;

$X(0)$  – вектор початкових значень елементів системи.

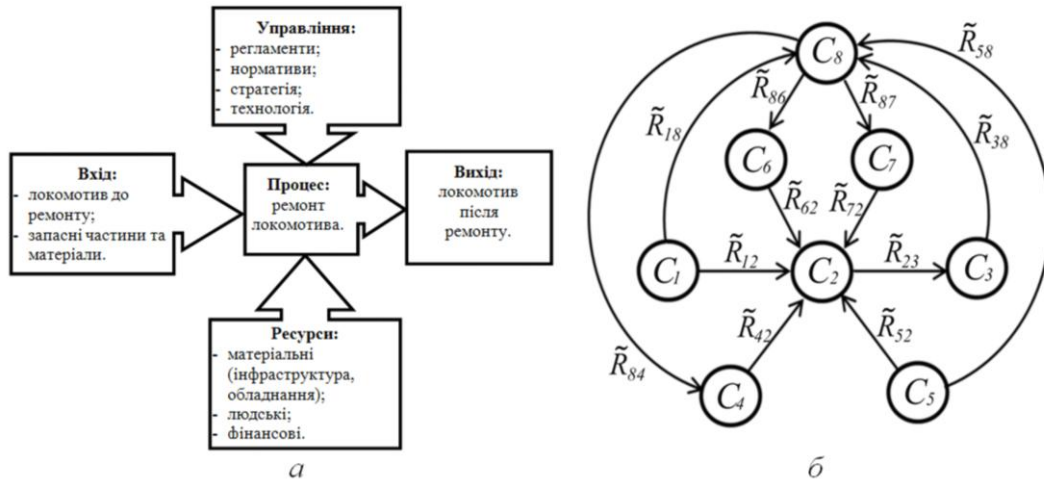


Рис. 3. Застосування процесного та системного підходу для представлення функціонування виробничої системи ремонту локомотивів: *a* - процес ремонту локомотива; *б* - нечітка когнітивна карта функціонування виробничої системи ремонту локомотивів

Кожен концепт  $C_i$ ,  $i=1, \dots, P$  описується відповідною лінгвістичною змінною  $\langle \tilde{C}_i, T_i, D_i \rangle$ , де  $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_j}^i\}$  – терм-множина лінгвістичної змінної,  $m_j$  – число типових станів концепту,  $D_i$  – базова множина  $\tilde{C}_i$ . Для опису кожного терму  $T_k^i$  будується терм-множина з відповідною функцією приналежності. Зв'язки між типовими станами кожної пари концептів задаються нечіткими змінними, що описуються відповідними нечіткими множинами.

Під час побудови когнітивної моделі враховувались наступні елементи системи: стан локомотива, що надходить в ремонт  $C_1$ , процес ремонту локомотива  $C_2$ , стан локомотива після ремонту  $C_3$ , організаційно-виробнича структура ремонтного виробництва  $C_4$ , технічний рівень виробництва  $C_5$ , стратегія ремонту  $C_6$ , технологія ремонту  $C_7$ , система управління ремонтом  $C_8$  (рис. 3б). Зважаючи на різну природу концептів, для параметричної ідентифікації когнітивної карти були застосовані експертні методи, зокрема засновані на парних порівняннях. Для формалізації експертних оцінок використовувалась шкала Сааті. Отримані результати порівнянь перевірялись на узгодженість шляхом обчислення індексу та відношення узгодженості.

Аналіз системних показників когнітивної моделі дозволив виявити концепти, які здійснюють найбільш сильний вплив на систему. Зокрема, було визначено: концепти «Стан локомотива до ремонту» і «Технічний рівень виробництва», зі значеннями 0,22 та 0,27 відповідно є найбільш значущими. Причому ці концепти характеризуються максимальними значеннями показника централізації впливу. Система здійснює максимальний вплив на концепти «Ремонт локомотива» та «Стан локомотива після ремонту» (рис. 4).

Для дослідження поведінки системи в динаміці, проводилось моделювання в спеціалізованому програмному середовищі СППР за рядом розроблених сценаріїв (табл. 1). Результати динамічного моделювання



показують, що зміна технічного стану локомотива в процесі ремонту зі значень «Середній» та «Вище середнього» до «Високий» можливо на підприємстві, що характеризується технічним рівнем «Високий» (рис. 5).

Під час ремонту локомотивів, якість виконаних робіт істотно залежить від ряду факторів, що визначаються технічним рівнем виробництва. Ці фактори розрізняються за своєю природою і ступенем впливу на ремонтне виробництво,

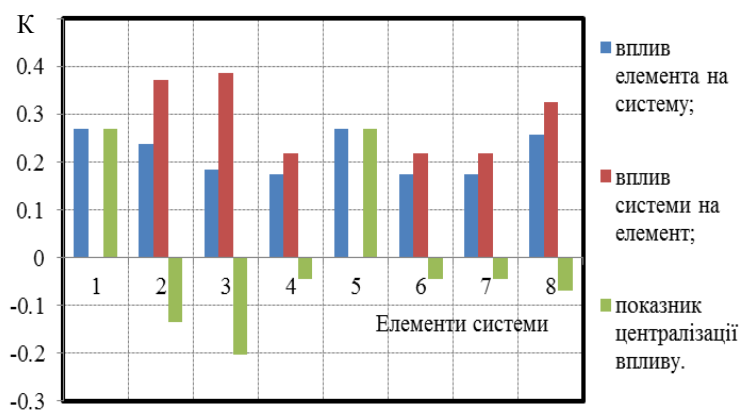


Рис. 4. Співвідношення системних показників когнітивної моделі

що ускладнює їх однозначну оцінку або вимірювання. При визначенні технологічних можливостей ремонтного виробництва існує необхідність оцінки їх фактичного рівня. Однією із перших задач визначення технічного рівня є формалізація факторів, що впливають на нього.

Таблиця 1 - Сценарії динамічного моделювання системи ремонту локомотивів.

Сценарії	$C_1$	$C_5$	Сценарії	$C_1$	$C_5$
1.1	Низький	Високий	2.1	Середній	Низький
1.2	Нижче середнього		2.2		Нижче середнього
1.3	Середній		2.3		Середній
1.4	Вище середнього		2.4		Вище середнього
1.5	Високий		2.5		Високий

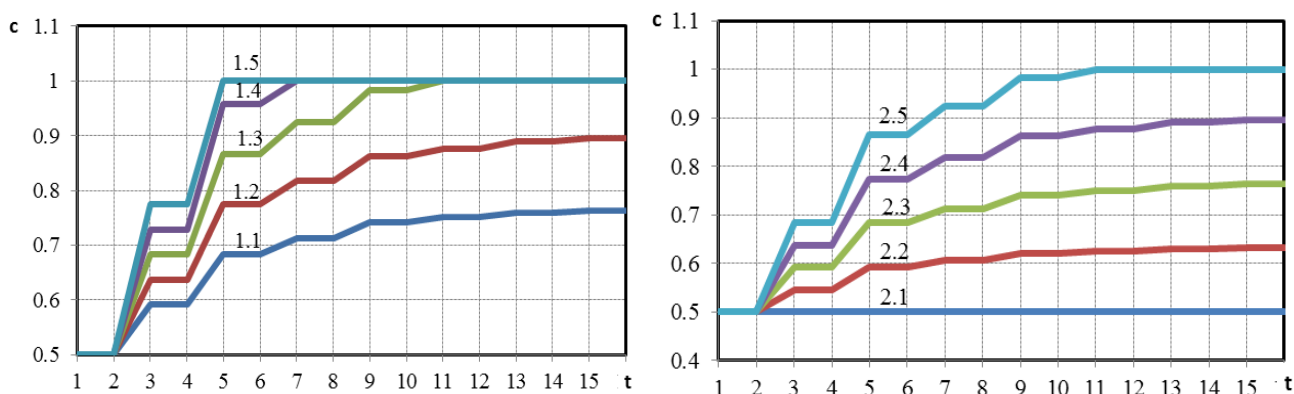


Рис. 5. Динаміка зміни значень елемента  $C_3$  за різних сценаріїв

Для визначення та структурування факторів використовувалась онтологія у вигляді OWL-діаграми, що була побудована в середовищі Protégé. В результаті було визначено, що на виробництво з ремонту локомотивів впливають фактори: документація, управління, матеріали та запасні частини, персонал, виробниче середовище, обладнання та інструмент. Властивості означених факторів не дозволяють однозначно їх оцінити чи виміряти точними методами. Визначення ступеню їх впливу на виробництво проводилось за результатами експертної оцінки з використанням методів: аналізу ієрархій (1), фон Неймана-Моргенштерна (2), ранжування (3) та Черчмена-Акоффа (4) (рис 6).

Як видно отримані результати узгоджуються. Однак за кінцевий результат прийняті значення, що отримані методом аналізу ієрархій, як ті, що найбільш відповідають експонентному закону багатоваріантності. Їх аналіз показує, що найбільший коефіцієнт впливу мають компоненти: «Персонал» (0,35), «Обладнання та інструмент» (0,26), «Матеріали та запасні частини» (0,18).

**В третьому розділі** розроблено комплексний показник технічного рівня локомотиворемонтного виробництва, що враховує кількісну оцінку впливу типу технологічних процесів, виду вузлів локомотивів та основних компонентів виробництва.

Під час оцінки рівня локомотиворемонтного виробництва, виявлення невідповідностей здійснюється експертами. Невідповідності формулюються і реєструються у вигляді експертних тверджень типу: «установка для перевірки обмоток якорів електричних машин на замикання в непрацездатному стані», «опресовування системи охолодження дизеля проводиться без підігріву води» і т.д. Природно, що різні невідповідності ремонтного виробництва не можуть здійснювати однаковий вплив на якість ремонту. Невідповідності у ремонті вузлів, які впливають на безпеку руху, мають більш суттєве значення, ніж невідповідності у ремонті вузлів допоміжних або резервованих систем. Аналіз результатів обстеження локомотиворемонтних виробництв українських залізниць дозволив виявити, що всі експертні твердження невідповідностей ремонтного виробництва мають схожу структуру і можуть бути представлені у вигляді вектора:  $\bar{X} = (x_1, x_2, x_3)$ , що включає:  $x_1$  - вид виявленої невідповідності,

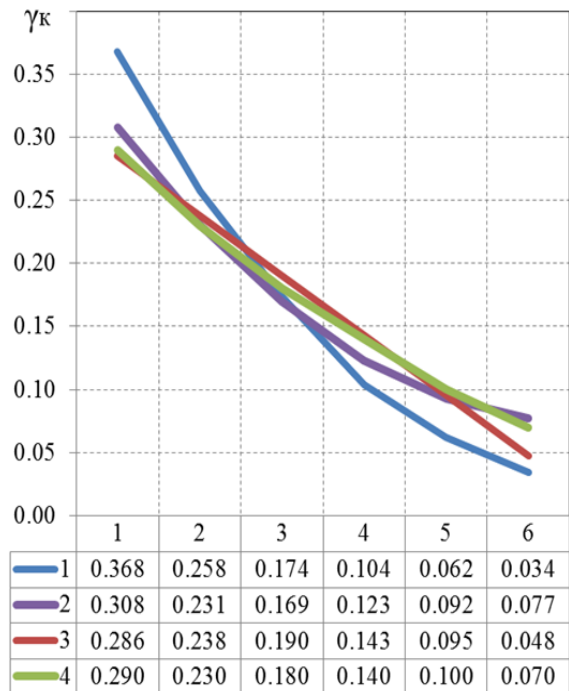


Рис. 6. Експертна оцінка вагових коефіцієнтів компонентів виробництва отриманих різними методами



$x_2$ - вид вузла, при ремонті якого виявлена невідповідність та  $x_3$  - тип технологічного процесу, при виконанні якого виявлено невідповідність.

Для отримання кількісних оцінок складових невідповідностей необхідно застосовувати методи, які могли б враховувати вплив цих складових на кінцевий результат діяльності.

З урахування досвіду експертів з атестації локомотиворемонтних виробництв, проведена класифікація основних невідповідностей виробництва. Залежно від ступеню впливу на технологічний процес, вони виділялись в три групи: від невідповідностей з мінімальним негативним впливом (викликають незначні порушення технологічного процесу) до невідповідностей з максимальним негативним впливом (невиконання технологічного процесу) (табл. 2). Кожній групі невідповідностей експертним шляхом призначався показник впливу на технологічний процес.

Таблиця 2 – Приклад розподілу невідповідностей локомотиворемонтного виробництва за ступенем впливу на технологічний процес

Основні компоненти виробництва	Характеристика невідповідності / показник впливу на технологічний процес		
	Виконання технологічного процесу з незначними порушеннями / 0,05	Виконання технологічного процесу з суттєвими порушеннями / 0,2	Невиконання технологічного процесу / 0,75
Обладнання та інструмент	Порушення термінів обслуговування обладнання.	Невідповідність стану обладнання та інструменту вимогам	Відсутність необхідного обладнання чи інструменту

Для визначення ступеню впливу окремих технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів локомотивів на їх справність після ремонту, виробничий процес ремонту представлявся формалізованою моделлю розвитку подій шляхом побудови та аналізу «дерева відмов» (FaultTreeAnalysis – FTA ).

Якщо подію випуску з ремонту несправного вузла представити в якості головної події ( $y$ ), а порушення технологічних процесів ремонту – базисними подіями ( $x_1 - x_8$ ), то відповідне дерево відмов матиме вигляд (рис. 7). Де  $x_1$  – порушення технологічного процесу обкатування та випробування вузла;  $x_2$  – порушення технологічного процесу комплектування та збирання вузла;  $x_3$  – порушення технологічного процесу контролю якості ремонту (відновлення) вузла;  $x_4$  – порушення технологічного процесу ремонту (відновлення) вузла;  $x_5$  – порушення технологічного процесу дефектації вузла;  $x_6$  – порушення технологічного процесу розбирання вузла;  $x_7$  – порушення технологічного процесу передремонтної оцінки вузла;  $x_8$  – порушення технологічного процесу очищення вузла.

Під час формалізації дерева відмов, зв'язок між станом елементів та станом системи описується функцією працездатності системи (ФПС) в

матричній формі. Спрощення матриці ФПС у диз'юнктивно-нормальній формі (ДНФ) проходило з використанням операторів алгебри логіки:

$$y(x_1, \dots, x_8) = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 x_4 \vee x_1 x_3 x_5 x_6 \vee x_1 x_3 x_5 x_7 \vee x_1 x_3 x_5 x_8. \quad (3)$$

За відсутності статистичних даних по ймовірностях базисних подій, вплив елемента на стан системи визначався за його вагою, що базується на логічній моделі, відповідає показнику структурної значимості та визначається як:

$$g_{x_i} = \frac{k_1^{(i)} - l_0^{(i)}}{2^{m-1}}, \quad (4)$$

де  $k_1^{(i)}$  – число кон'юнкцій, що містять  $x_i$  в функції, записаній в досконалій диз'юнктивно-нормальній формі (ДДНФ);

$l_0^{(i)}$  – число кон'юнкцій, що містять заперечення  $\bar{x}_i$  в тій же функції.

$m$  – загальне число елементів в системі.

Для розрахунку ваги технологічних процесів ремонту за (4), ДНФ функції (3) перетворювалась ДДНФ виду:

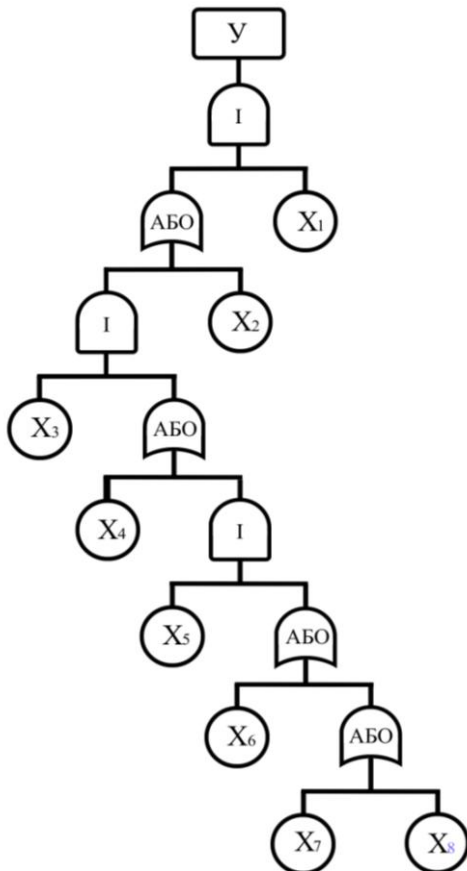


Рис. 7. Дерево відмов виробничого процесу ремонту

$$y(x) = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_4} \overline{x_5} \overline{x_6} \overline{x_7} \overline{x_8} + x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 \quad (5)$$

Розрахунок вагомості за (4), та за даними ДДНФ (5) показав, що технологічні процеси ремонту різняться за ступенем впливу на справність вузла локомотива після ремонту (табл. 3). Тобто отримані дані вагомості технологічного процесу ремонту можна прийняти як показник, що визначає ступінь впливу технологічного процесу ремонту на справність вузла після випуску з ремонту.

Для оцінки альтернатив по векторному критерію застосовуються перетворення, що переводять багатокритеріальну задачу в однокритеріальну. З усіх існуючих підходів переводу векторного критерію в скалярний вид, в роботі був обраний метод зваженої суми. Його застосування

для вирішення поставленого завдання може забезпечити більшу об'єктивність відносно інших методів з компенсуючим ефектом.

Таблиця 3 - Значення вагомості технологічних процесів ремонту вузлів локомотивів

Назва технологічного процесу ремонту вузла	Позначення	Вагомість
Обкатування та випробування	$x_1$	0,68
Комплектування та збирання	$x_2$	0,32
Контроль якості ремонту (відновлення) вузла	$x_3$	0,18
Ремонт (відновлення)	$x_4$	0,07
Дефектація	$x_5$	0,055
Розбирання	$x_6$	0,008
Передремонтна оцінка вузла	$x_7$	0,008
Очищення вузла	$x_8$	0,008

З огляду на обраний спосіб скаляризації критеріїв невідповідностей, обчислені вагові коефіцієнти показників, загальна вага невідповідності виробництва з ремонту локомотивів набуде вигляду потрійної адитивної згортки:

$$K_d = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^p \alpha_j \gamma_k \lambda_i x_i, \quad (6)$$

де  $\alpha_j$  – коефіцієнт вагомості значимості вузла локомотива, під час ремонту якого допускається невідповідність;

$\lambda_i$  – показник, що характеризує ступінь впливу невідповідності на технологічний процес ремонту;

$\gamma_i$  – коефіцієнт вагомості компонента ремонтного виробництва.

$x_i$  – коефіцієнт вагомості технологічних процесів ремонту, при яких допускаються невідповідності;

$p$  – кількість невідповідностей, що були допущені на ремонтній позиції за певним компонентом.

Отриманий показник може змінюватись в межах від 0 до 1. Отже для визначення комплексного показника технічного рівня локомотиворемонтного виробництва можна використовувати вираз:

$$K_c = 1 - K_d = 1 - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^p \alpha_j \gamma_k \lambda_i x_i. \quad (7)$$

Визначений показник характеризує загальний рівень відповідності ремонтного виробництва встановленим вимогам, причому, чим вище його значення, тим вище ступінь відповідності.

За показником (7) проводилась оцінка технічного рівня локомотиворемонтних виробництв залізниць. Аналіз результатів оцінки показує, що обстежені виробництва різняться за технічним рівнем, а комплексний показник  $K_c$  лежить в межах 0,6-0,87 (табл. 4).

Для визначення зв'язку отриманого показника з технічним станом локомотивів, застосовувався питомий показник, що відображає витрати на ремонт локомотивів. Зважаючи на різний термін експлуатації та технічний стан локомотивів різних серій, витрати приводились у вигляді питомого показника (коефіцієнту перевитрат  $S_{ПВ}$ ):

$$S_{ПВ} = \frac{S_{П}}{S_{Ф}}, \quad (8)$$

де  $S_{П}$  – планові витрати на утримання локомотива на рік, тис. грн.;

$S_{Ф}$  – фактичні витрати на утримання локомотива на рік, тис. грн.

Таблиця 4 - Значення показника технічного рівня локомотиворемонтних виробництв українських залізниць

		Локомотиворемонтні виробництва									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_c$ виробництва з ремонту	тепловозів	0,61	0,64	0,67	0,7	0,71	0,77	0,79	0,83	0,84	0,86
	електровозів	0,6	0,62	0,66	0,68	0,71	0,73	0,79	0,81	0,82	0,87

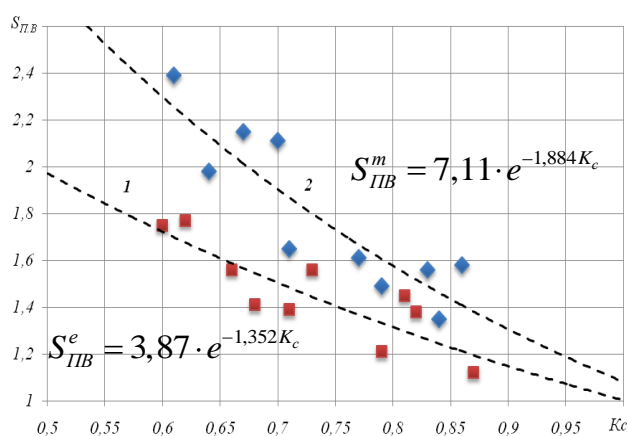


Рис. 8. Визначення залежностей відносних витрат на ремонт локомотивів від показника технічного рівня локомотиворемонтних виробництв: 1 – ремонтне виробництво електровозів; 2 – ремонтне виробництво тепловозів

Отримані рівняння регресії для ремонтних виробництв вказують на тісний зв'язок між  $K_c$  та  $S_{ПВ}$ . (рис. 8). Статистична значимість рівнянь перевірена за допомогою коефіцієнту детермінації та критерію Фішера. Коефіцієнти детермінації склали значення 0,79 та 0,73 відповідно. Тобто рівняння регресії пояснюють 79% та 73% варіації коефіцієнту перевитрат на ремонт локомотивів варіацією показника технічного рівня виробництва.

**В четвертому розділі,** розроблено метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів, теоретико-ігрова модель ремонту вузла локомотива.

Локомотив являє собою складну технічну систему, що складається із сукупності підсистем і елементів. Їх надійність має різні характеристики внаслідок відмінності умов експлуатації, режимів роботи, конструкційних особливостей. Диференційований підхід до обслуговування таких систем і вузлів реалізує методологія, орієнтована на надійність (Reliability-Centered Maintenance - RCM). При її впровадженні, після аналізу технічного стану парку за кожною одиницею обладнання закріплюється один з чотирьох видів обслуговування: реактивний (напрацювання на відмову без технічного обслуговування), превентивний (планово-попереджувальний), прогнозний (заснований на діагностиці та контролі стану обладнання), проактивний (заснований на пошуку і усуненні причини відмови).

Закріплення за кожним видом обладнання індивідуальної стратегії ремонту можна розглядати як задачу віднесення об'єктів до одного з раніше виділених класів, тобто завдання класифікації.

Ключовим моментом RCM є оцінка ризиків відмов обладнання, частоти їх виникнення, можливості виявлення передвідмовного стану. З огляду на неповноту і неоднозначність цих даних, великою складністю стає застосування традиційних математичних методів для вирішення цього завдання. При труднощах чіткого визначення вхідних ознак найбільшу ефективність показують методи нечіткої логіки. Вони дозволяють як формалізувати вхідні нечіткі ознаки так і класифікувати об'єкти за вхідними ознаками.

Нечіткий класифікатор являє собою систему нечітких правил, які описують  $m$  класів в наявному наборі вихідних даних і нечітку систему виведення для їх переробки з метою отримання результату класифікації.

В якості вхідних змінних класифікатора приймалися нечіткі характеристики вузлів і агрегатів локомотивів, кожен з яких описується кінцевою сукупністю ознак  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ . Кожній ознаці  $a_j$  відповідає множина його чітких значень і множина лінгвістичних термів  $T = \{T_{1j}, \dots, T_{m_j}\}$ , ( $1 \leq j \leq m$ ,  $m_j$  - число термів ознаки  $a_j$ ).

Для класифікатора визначення стратегії ремонту агрегатів і вузлів локомотивів лінгвістичні змінні наведені у табл. 5. Як варіанти рішень (вихідна змінна) вводилась кінцева множина стратегій ремонту  $R$ : планово-попереджувальна ( $TBM$ ), за технічним станом ( $CBM$ ), за відмовою ( $RTF$ ).

Для побудови функцій належності (ФН) нечітких змінних великою точністю характеризуються методи засновані на використанні експериментальних даних. З огляду на невеликі вибірки експериментальних даних використовувався метод побудови ФН, заснований на їх нечіткій кластеризації. Він передбачає, що нечіткі кластери є нечіткими множинами  $A_k$ , що утворюють нечітке покриття вихідної множини об'єктів кластеризації  $A$ , для якого виконується умова:

$$\sum_{k=1}^c \mu_{A_k}(a_i) = 1 \quad (\forall a_i \in A), \quad (9)$$

де  $c$  - загальна кількість нечітких кластерів  $A_k(k \in \{2, \dots, c\})$ , яка вважається попередньо заданою.

Таблиця 5 - Параметри лінгвістичних змінних нечіткого класифікатора

Лінгвістичні змінні	Терми
<b>S</b> – Значимість відмови	<b>LW</b> – Низька (знижено якість функціонування),
	<b>NS</b> – Не значна (затримка виконання завдання без виходу з ладу)
	<b>SG</b> – Значна (збитки без травмування людей)
	<b>HG</b> – Висока (високі збитки із травмуваннями та загибеллю людей)
<b>O</b> – Частота виникнення відмови	<b>RR</b> – Низька (малоймовірна)
	<b>PS</b> – Можлива (можливо кілька випадків за термін служби)
	<b>FQ</b> – Висока (виникає постійно)
<b>D</b> – Можливість виявлення передвідмовного стану (ПВС)	<b>LW</b> – Низька (визначення ПВС проблематично),
	<b>MD</b> – Середня (ПВС може виявлятися непрямими методами)
	<b>HG</b> – Висока (ПВС виявляється прямими методами, кількома способами).

Для кожного нечіткого кластера розраховуються значення центрів:

$$\gamma_k^j = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m \cdot x_j^i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m} \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall p_j \in P), \quad (10)$$

де  $m$  - деякий параметр, що зветься експоненціальною вагою і рівний деякому дійсному числу ( $m > 1$ ).

Цільова функція являє собою суму квадратів зважених відхилень координат об'єктів кластеризації від центрів нечітких кластерів  $\gamma_k^j$ :

$$f(A_k, \gamma_j^k) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (\mu_{A_k}(a_i))^m \sum_{j=1}^q (x_j^i - \gamma_j^k)^2 \rightarrow \min. \quad (11)$$

Нечітка кластеризація експериментальних даних проводилася за допомогою функції *fcm* пакета *Fuzzy Logic Toolbox* системи MATLAB (рис. 9 а). Параметри оптимізованих ФН відповідають розподілу вихідних експериментальних даних (рис. 9 б). Аналіз отриманих поверхонь рішень нечіткого класифікатора, показує, що в результаті параметричної ідентифікації ФН, область рішень, отримала більш чітке розділення на стратегії ремонту (рис. 10 б).

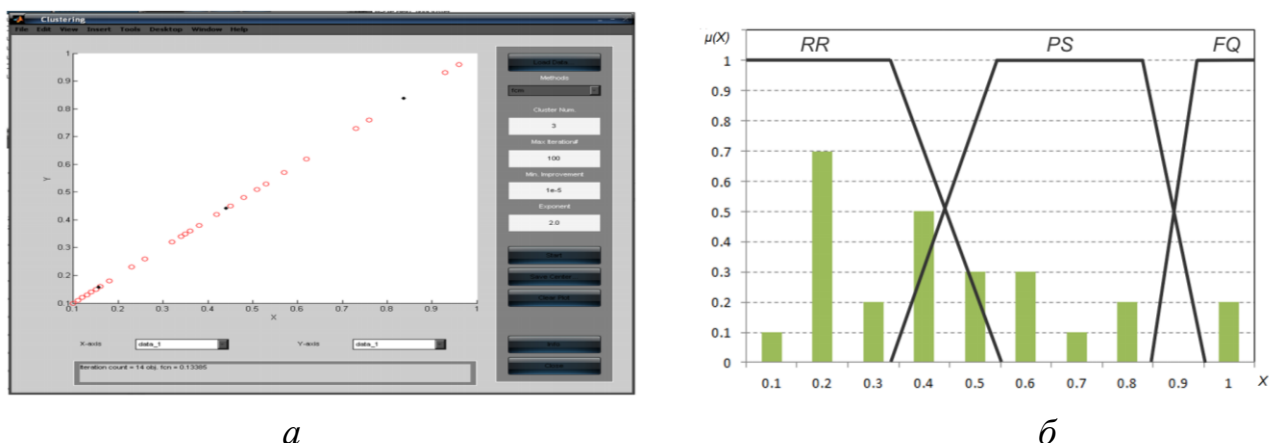


Рис. 9. Побудова ФН нечіткого класифікатора за експериментальними даними: *а* - кластеризація експериментальних даних в пакеті *Fuzzy Logic Toolbox*; *б* - ФН нечіткої змінної *O* на гістограмі розподілення статистичних даних

Оптимізація баз знань проводилась із застосуванням генетичних алгоритмів за Пітсбургським алгоритмом. В локомотивному депо були зібрані експериментальні (експертні) дані про взаємозв'язок входів та виходів залежності, що досліджується:  $\{(s_1, o_1, d_1, r_1), \dots, \{s_m, o_m, d_m, r_m)\}$ .

Масив даних в випадковому порядку було розділено на 2 групи: 2/3 даних – навчальна вибірка, 1/3 даних – тестова вибірка. В якості цільової функції бралась функція мінімізації середньоквадратичної помилки між значеннями навчальної вибірки і даними класифікатора

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=1, M} (K - \bar{K})^2} \rightarrow \min \quad (12)$$

В результаті, початкова база правил нечіткого класифікатора була адаптована до реальних умов конкретного локомотивного депо (рис. 10 в).

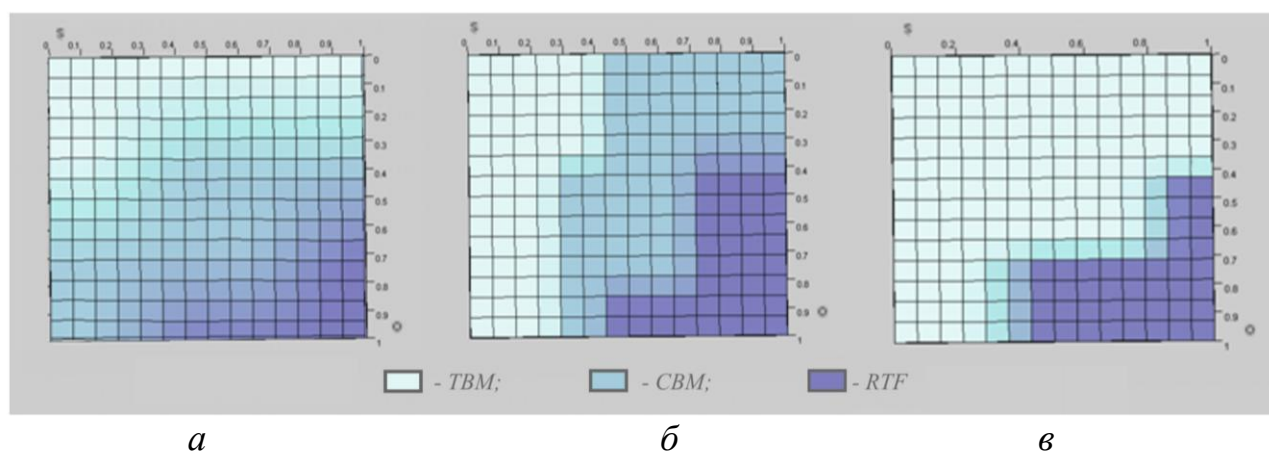


Рис. 10. Поверхні рішень нечіткого класифікатора на різних етапах розробки: *а* - початковий класифікатор; *б* - після оптимізації ФН вхідних змінних; *в* - після оптимізації бази знань

Оптимізація бази знань дозволила зменшити кількість правил з 36 до 13 та адаптувати класифікатор до умов реального ремонтного виробництва. Отриманий результат відповідає нинішньому технічному стану локомотивного парку і низькому рівню оснащення, в першу чергу діагностичним обладнанням, ремонтних підприємств. Точність класифікації визначалась за тестовою вибіркою експериментальних даних і склала 96,8%.

З метою дослідження технології ремонту, в умовах її застосування до вузлів що відрізняються за технічним станом розроблялась відповідна модель.

З огляду на те, що функції розподілу ймовірностей параметрів технічного стану вузлів можуть бути відомі, прийняття рішення про вибір технології виконується в умовах ризику. В таких ситуаціях завдання прийняття рішень можна формулювати у термінах теорії ігор, представляючи їх як «гру з природою», до якої залучено два учасника. Перший з них свідомий гравець  $A$ , що має  $S_C = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , ( $m \geq 2$ ) – множину чистих альтернативних стратегій, з яких він може свідомо вибирати найбільш вигідну за певним критерієм оптимальності. Другий гравець (природа  $Q$ ) – це умови в яких гравцю  $A$  доводиться приймати рішення відносно вибору стратегії. Природа невизначеним та випадковим чином знаходиться в будь який момент часу в одному із  $n \geq 2$  альтернативних станів ймовірності яких невідомі.

У процесі ремонту відповідно до визначеної технології, існує можливість приймати послідовні рішення щодо технологічних впливів на об'єкт ремонту. Для цього доцільно застосовувати графічний метод - «дерево рішень», що дозволяє зв'язати точки прийняття рішення, можливі стратегії  $A_i$ , їх наслідки з можливими факторами, умовами зовнішнього середовища. В якості вихідних даних використовувалася технологія ремонту паливних форсунок дизелів тепловозів. Визначення необхідного обсягу технологічних впливів для інших випадків проводилося в процесі побудови дерева рішень (Рис. 11).

Аналіз побудованого дерева рішень показав, що для ремонту паливних форсунок тепловозів, в залежності від їх стану може застосовуватися як мінімум чотири варіанти технологій (стратегій). При цьому визначальними критеріями будуть: справність форсунки в цілому, розрегулювання форсунки, несправності окремих елементів форсунки. Ймовірності цих станів як правило відомі в ремонтному виробництві.

В якості критерію оцінки технологічного процесу приймалися витрати на його реалізацію. Їх обчислення дозволяють визначати вигравш  $a_{ij}$  гравця  $A$  що обрав одну із стратегій  $A_i$ . Множина вигравшів гри представляється у вигляді матриці, номери рядків якої відповідають номерам стратегій гравця  $A$ , а номери стовпців – номерам стану природи  $Q$ .

Аналіз матриці вигравшів дозволяє визначити гарантований вигравш, який визначається нижньою  $a = \max(a_i)$  і верхньою  $b = \min(b_j)$  ціною гри. Їх визначення показують, що  $a \neq b$ , сідлова точка відсутня, а ціна гри знаходиться в межах -  $250 \leq y \leq 122$ . Отже поставлена задача не має рішень в чистих стратегіях.



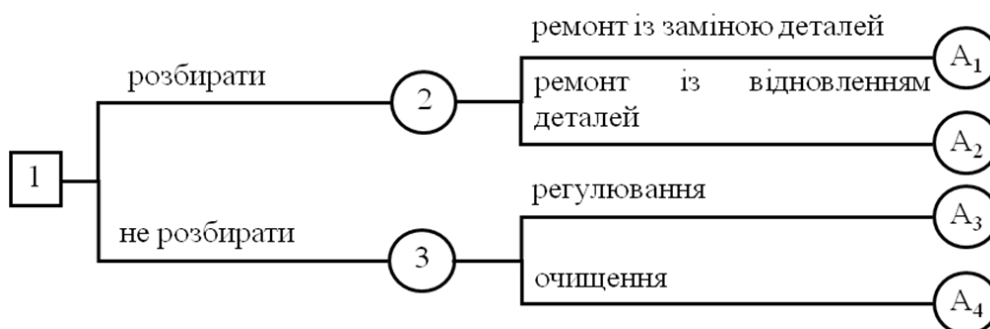


Рис.11. Дерево рішень технологій ремонту вузла локомотива

Також було визначено, що жодна з чистих стратегій гравця не являється ні домінуючою, ні домінованою. Застосовувана в даний час технологія (стратегія  $A_1$ ) характеризується найбільшими витратами і доцільна тільки для одного стану форсунок - з пошкодженнями та відмовами деталей. З огляду на те, що в ремонт можуть надходити вузли з різним технічним станом, доцільно застосовувати гнучкі, адаптивні технології ремонту.

Відповідно до теорії корисності, стратегію  $A_i$  обирають із сукупності  $A_i (i = 1 \dots n)$ , якщо вона максимізує очікувану вартість його функції корисності. Очікувана вартість реалізації кожної альтернативи визначалась як середньозважений виграш  $\bar{a}_c$  з урахуванням ймовірностей  $w_i$  всіх можливих станів природи  $Q_j$ . Оптимальною стратегією є та, для якої середньозважений (виграш) максимальний. Оцінка стратегій щодо ризику проводилася шляхом обчислення середньозваженого ризику  $\bar{r}_c$ .

Порівняння критеріїв  $\bar{a}_c$  та  $\bar{r}_c$  для стратегій  $A_{1-4}$  дозволяє визначити доцільність їх застосування для різних ймовірностей станів (рис. 12).

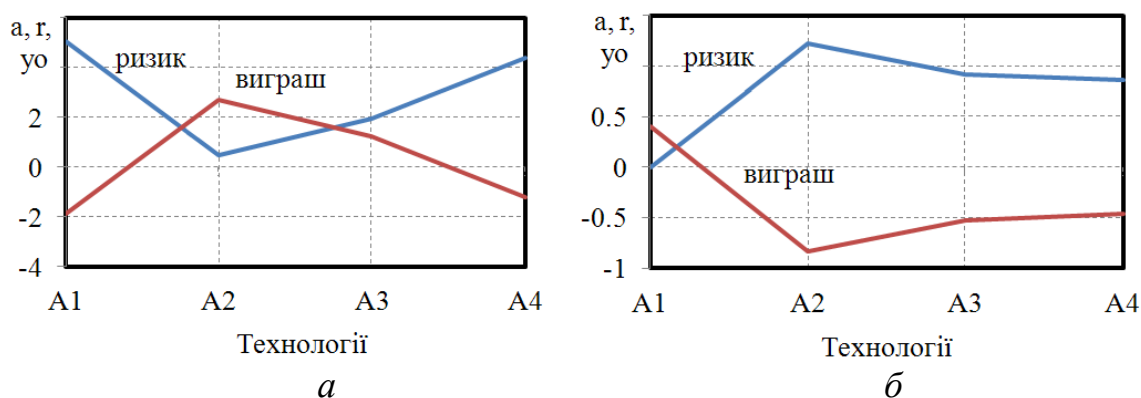


Рис. 12. Порівняння критеріїв  $\bar{a}_c$  та  $\bar{r}_c$  для технологій  $A_{1-4}$ : *а* - відповідно до фактичного розподілу ймовірностей станів; *б* - домінування стану «Пошкодження та несправності деталей»

Для фактичного розподілу ймовірностей стану паливних форсунок найбільшим вирашем з мінімальними ризиками є технологія ремонту розбирання та ремонтом шляхом відновлення деталей  $A_2$  (рис. 12 а). Моделювання ситуації домінування різних станів форсунки дозволяє визначати оптимальну технологію ремонту. Так у випадку домінування стану «Пошкодження та несправності деталей» (рис. 12 б), оптимальною буде технологія  $A_1$  – розбирання та ремонт із заміною деталей. Це підтверджує необхідність індивідуального підходу при визначенні технології ремонту вузлів локомотивів.

**В п'ятому розділі**, розроблено методи формування віртуальних підприємств з ремонту локомотивів та оцінки їх технічного стану.

Основними системними якостями віртуальних підприємств є нелінійність розвитку, стійкість зв'язків, цілісність і структурність. Нелінійність віртуальних підприємств обумовлена виникненням синергетичного ефекту функціонування системи як результату спільної дії підсистем і елементів, що входять до неї. Це виражається в тому, що системі притаманні не тільки якості кожної її складової, а й ряд принципово нових властивостей, системних якостей, породжених взаємодією цих частин. Дослідження інтеграційних процесів складних систем в даний час показують, що отримання синергетичного ефекту є їх основною економічною метою.

Одним з основних етапів ефективного формування віртуального підприємства є відбір і об'єднання виконавців і партнерів, що володіють ключовими компетенціями для виконання конкретного замовлення, відповідно до цілей і завдань проекту.

Для забезпечення позитивного синергетичного ефекту при формуванні віртуального підприємства з ремонту локомотивів необхідно намагатись щоб технологічні можливості агентів доповнювались.

Підхід, в якому реалізується пошук підприємств - агентів з високим ступенем відповідності вимогам (відповідно високим значенням коефіцієнта відповідності) буде викликати дублювання компетенцій  $K^{дубл}$ , а значить частина обладнання, виробничих площ або персоналу буде використовуватися неефективно, що буде викликати негативний синергетичний ефект. Випадки об'єднання підприємств з незначними можливостями можуть привести до нестачі необхідної компетенції  $K^H$  віртуального підприємства, що не дозволить повною мірою виконувати поставлені завдання. Однак участь підприємств різного ступеня підготовки, але з умовою доповнення компетенцій буде викликати позитивний синергетичний ефект.

Коефіцієнт відповідності ремонтного виробництва  $K_c$  є комплексним показником і його розрахунок проводиться за рядом компонентів ремонтного виробництва  $k_i$ : персонал, обладнання та інструмент, технологія, матеріали і запасні частини, виробниче середовище, технологічна документація, керівництво виробництвом. Виходячи з цього, в процесі вибору підприємств-агентів для віртуального підприємства з ремонту локомотивів обов'язковим є

врахування рівня відповідності підприємств за окремими компонентами (Рис. 13).

Складність вирішення такої задачі полягає у тому що оцінка технічного рівня окремих ремонтних підрозділів виконується на основі експертної інформації та лінгвістичних оцінок. Застосування цих оцінок під час вибору підприємств-агентів може приводити до спотворених чи неадекватних результатів. В роботі для вирішення цієї задачі був застосований метод багатокритеріального аналізу на основі нечіткої теорії прийняття рішень, що не потребує кількісних оцінок та процедур скаляризації. Найбільш частою передумовою створення віртуального ремонтного підприємства є випадок, коли локомотиворемонтне виробництво  $X_0$  стикається з потребою ремонту певного вузла локомотива, не маючи відповідних технологічних можливостей.

Якщо позначити число з інтервалу  $[0, 1]$  як  $\mu_{Q_j}(X_i)$ , яким підприємство  $X_i \in X$  оцінюють за критерієм  $Q_j \in Q$ , то чим більше число  $\mu_{Q_j}(X_i)$ , тим краще підприємство  $X_i$  за критерієм  $Q_j$ ,  $j = 1, k, i = 1, n$ . Тоді критерій  $Q_j$  можна представити у вигляді нечіткої множини,  $\tilde{Q}_j$  на універсальній множині підприємств  $X$ :

$$\tilde{Q}_j = \left\{ \frac{\mu_{Q_j}(X_1)}{X_1}, \frac{\mu_{Q_j}(X_2)}{X_2}, \dots, \frac{\mu_{Q_j}(X_n)}{X_n} \right\}, \quad (13)$$

де  $\mu_{Q_j}(X_i)$  - ступінь належності елемента  $X_i$  до нечіткої множини  $\tilde{Q}_j$ .

Визначення ступенів належності нечіткої множини (13) здійснювалось методом парних порівнянь. Для кожної пари підприємств експерт за критерієм  $\tilde{Q}_j, (i = \overline{1, n})$  визначав перевагу одного варіанту перед іншим, з точки зору необхідності доповнення технологічних можливостей підприємства-центра  $X_0$ . За принципом Беллмана-Заде, найкращою буде альтернатива, що в найбільшому ступеню одночасно задовольняє всім критеріям. Нечітке рішення представляє собою перетин нечітких множин часткових критеріїв:

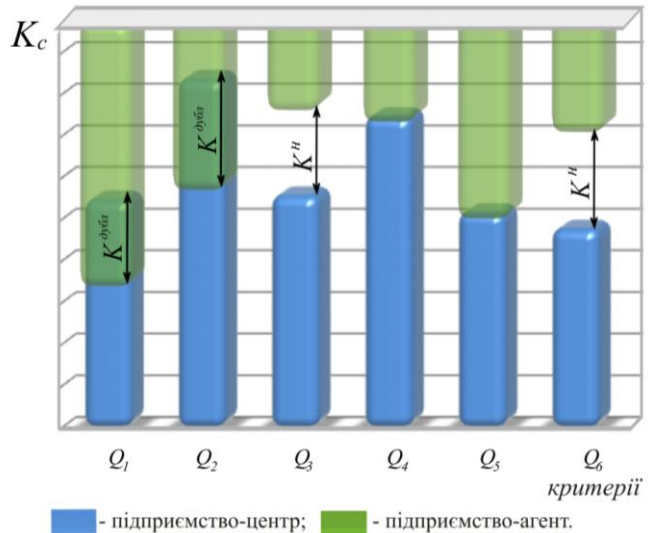


Рис. 13. Формування віртуального об'єднання підприємств з різними рівнями відповідності за окремими критеріями (компонентами)

$$\tilde{D} = \tilde{Q}_1^{\gamma_1} \cap \tilde{Q}_2^{\gamma_2} \cap \dots \cap \tilde{Q}_k^{\gamma_k} = \left\{ \frac{\min_{j=1,k}(\mu_{Q_j}^{\gamma_j}(X_1))}{X_1}, \frac{\min_{j=1,k}(\mu_{Q_j}^{\gamma_j}(X_2))}{X_2}, \dots, \frac{\min_{j=1,k}(\mu_{Q_j}^{\gamma_j}(X_n))}{X_n} \right\}, \quad (14)$$

де:  $\gamma_i$  – коефіцієнт відносної важливості критерію  $Q_j$ .

Показник ступеню  $\gamma_i$  концентрує функцію належності нечіткої множини  $\tilde{Q}_j$  у відповідності до важливості критерію  $Q_j$ . У відповідності із нечітким рішенням (14) найкращою альтернативою буде підприємство із максимальним значенням функції належності:

$$D = \operatorname{argmax}(\mu_{Q_1}(X_1), \mu_{Q_2}(X_2), \dots, \mu_{Q_k}(X_n)). \quad (15)$$

Утворення віртуального підприємства  $X_0$ - $X_i$  з підприємством-агентом, що матиме максимальне значення функції належності  $\mu_{Q_j}(X_i)$  дозволить виконати необхідне замовлення, а доповнення їх технологічних можливостей дасть змогу отримати максимальний синергетичний ефект.

Формування віртуальних виробництв потребує об'єктивної інформації відносно технічного рівня підприємств, що можуть бути залучені до таких об'єднань. Основним шляхом отримання такої інформації на сьогоднішній день є проведення експертних обстежень в рамках технічного аудиту підприємств. Основним недоліком цього підходу є високий ступінь суб'єктивності експертних оцінок.

Для визначення технічного рівня локомотиворемонтних виробництв пропонується метод, що дозволить максимально усувати суб'єктивну складову. Він передбачає що робота експертної групи буде здійснюватись із використання сучасних засобів інтелектуалізації інформаційних технологій, які повинні не просто забезпечити швидку обробку великої кількості даних, а формалізувати експертні твердження шляхом організації ефективного діалогу з експертом (аудитором).

Інтелектуалізована експертна система (ІЕС) повинна вирішувати такі завдання, як накопичення і аналіз даних, що надходять; моніторинг даних - їх інтерпретація в реальному масштабі часу; підтримка прийняття рішень у вигляді своєчасного надання необхідної інформації та рекомендацій.

Онтологія є засобом, що забезпечує концептуальний рівень представлення знань, необхідних при розробці ІЕС. Зокрема використання онтології дає можливість сформувати структуру ІЕС, описати набір компонентів і їх взаємозв'язків, сформувати список вирішуваних завдань з прив'язкою до даних і програмним компонентів, а також забезпечити гнучкий інтерфейс з урахуванням потреб конкретного користувача.

Перед початком обстеження, в центрі управління ремонтом підприємства-центра, формується мета та програма обстеження виробництва (або виробництв). Формування програми здійснюється на базі онтології ремонтного

виробництва. Під час обстеження ремонтного виробництва, експерти здійснюють збір вихідних фактів, що обумовлюють його технічний рівень, та вводять їх в систему шляхом діалогу через інтерфейс користувача. Після отримання вихідної інформації, машина виводу починає перегляд бази знань і послідовно зіставляє опис завдання із записами БЗ з метою формалізації отриманої інформації (рис. 14).

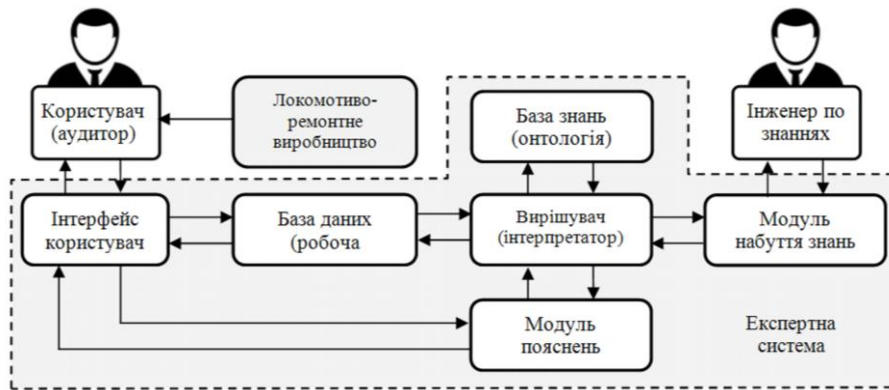


Рис 14. Структурна схема інтелектуалізованої експертної системи оцінки технічного рівня локомотиворемонтних виробництв

Формалізована інформація надходить до центру управління ремонтом, де відображається в локальній базі знань підприємства, а за необхідності і в глобальній базі знань.

В результаті обстеження виробництв, підприємство-центр отримує об'єктивну інформацію щодо технічного рівня як власного виробництва так і виробництв потенціальних підприємств-агентів. Ця інформація в подальшому використовується модулями СППР для надання рекомендацій ОПР щодо можливих варіантів організації віртуальних виробництв у відповідності до задач, що постають перед ремонтним виробництвом.

Розрахунки економічної доцільності від впровадження елементів адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів показали, що величина економії коштів залежить від технічного рівня ремонтного підприємства. Для підприємств, технічний рівень яких відповідає значенням 0,8-0,85, економія коштів на проведення ПР-3 локомотива складе 8%, для підприємств з технічним рівнем 0,9-0,95 – 9,25%.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів, що базується на принципах системного підходу та враховує фактичний технічний стан вузлів локомотивів і рівень ремонтних виробництв. Це дозволить зменшити витрати на ремонт вузлів локомотивів та підвищити їх надійність в експлуатації.

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1 Локомотивний парк залізниць зношений майже на 99%. Його утримання пов'язано із значними матеріальними втратами та погіршенням показників безпеки руху. Кількість транспортних подій в локомотивному господарстві залишається на значному рівні і навіть має тенденцію до зростання в окремі періоди. Їх основними причинами є неякісний ремонт (49-56%), дії локомотивних бригад (20-24%) та технічні причини (12-16%). Для організації ремонту застосовуються підходи, що морально застаріли та не відповідають сучасним викликам. Покращення технічного стану локомотивів можливе шляхом формування інтелектуалізованої системи ремонту, що обумовлює визначення процесу організації і технології ремонту.

2 Запропоновано концепцію адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів, що базується на OWL-онтології, включає моделі і методи, які забезпечують об'єктивність визначення оптимальних процесів організації і технології ремонту локомотивів. Показано, що об'єднання інформаційних потоків про технічний стан локомотивів та рівень локомотиворемонтного виробництва надає можливість ОПР автоматизованого вибору варіантів організаційних рішень.

3 Розроблено когнітивну модель функціонування виробничої системи ремонту локомотивів, що дозволило визначити кількісну оцінку взаємного впливу її складових. Було визначено, що технічний стан локомотива до ремонту та технічний рівень виробництва мають найбільший коефіцієнт впливу на систему (0,268) та характеризуються максимальними значеннями показника централізації впливу. Система здійснює максимальний вплив на ремонт локомотива та стан локомотива після ремонту з коефіцієнтами 0,372 та 0,386 відповідно.

4 Розроблено метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів, що передбачає застосування адаптивної інтелектуалізованої системи на основі нечітких алгоритмів, яка враховує технічний стан вузлів локомотивів та рівень ремонтного виробництва і дозволила досягти точності класифікації 96,8%.

5 Запропоновано комплексний показник технічного рівня виробництва, що враховує кількісну оцінку впливу типу технологічних процесів, виду вузлів локомотивів та компонентів ремонтного виробництва. За результатами експериментальних спостережень більш як 60 об'єктів визначено, що показники технічного рівня локомотиворемонтних підприємств залізниць знаходяться в межах 0,6 – 0,87.

6 В процесі визначення кількісної оцінки ступеню впливу різних технологічних операцій на справність відремонтованих вузлів в експлуатації показано, що найбільший коефіцієнт впливу мають технологічні процеси, які виконуються на заключних етапах ремонту: «обкатка і випробування» – 0,68; «комплектування та збирання» – 0,32; «контроль якості ремонту (відновлення)

вузла» – 0,18. Процеси, виконання яких буде перевірятися на заключних етапах, мають меншу вагу: «ремонт (відновлення)» – 0,07; «дефектація» – 0,055.

7 Дослідження розробленої теоретико-ігрової моделі ремонту вузла локомотива показали, що завдання формування оптимальної технології ремонту не може бути вирішено в чистих стратегіях. Для отримання найбільшого виграшу з мінімальними ризиками необхідно застосувати адаптивні інтелектуалізовані технології ремонту, які враховують фактичний технічний стан кожного вузла.

8 Удосконалено метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів, що базується на принципі доповнення технологічних можливостей виробництв-агентів. Максимальної ефективності віртуальне локомотиворемонтне виробництво може досягти за умови формування його за принципом Белмана-Заде, що не допускає компенсацію нестачі рівня одних критеріїв надлишком інших.

9 З метою реалізації адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів удосконалений метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва, що базується на структурі інформаційно-керуючої системи яка узагальнює та формалізує експертні оцінки технічного стану виробництва.

10 Розрахунки економічної доцільності від впровадження адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів показали, що величина економії коштів залежить від технічного рівня ремонтного підприємства. Для підприємств, технічний рівень яких відповідає значенням 0,8-0,85, економія коштів на проведенні ПР-3 локомотива складе 8%, для підприємств з технічним рівнем 0,9-0,95 – 9,25%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні наукові праці:

1. Палян С.Р., Дацун Ю.М., Клименко О.В. Застосування процесного підходу при створенні елементів системи управління якості локомотиворемонтних підприємств Укрзалізниці. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 81. С. 91-96.
2. Сергієнко М.І., Пузир В.Г., Дацун Ю.М. Атестація локомотиворемонтних виробництв як складова забезпечення безпеки руху. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 82. С. 5-8.
3. Пузир В. Г., Дацун Ю.М., Палян С.Р. Формування цілей при розробленні системи управління якістю локомотивного депо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2008. Вип. 96. С. 19-23.
4. Дацун Ю.М., Щербаков О.О. Визначення факторів, що впливають на якість ремонту паливної апаратури дизелів тепловозів. *Збірник наукових праць*

*Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 107. С. 192 – 197.

5. Дацун Ю.М., Крамчанін І.Г. Розробка програми обстеження дільниці експлуатації локомотивного депо при атестації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 108. С. 179 – 183.

6. Дацун Ю.М. Дослідження впливу температури опресувальної рідини на випробування плунжерних пар паливних насосів дизелів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. Вип. 117. С. 114 – 120.

7. Грейф К.И. Дацун Ю.Н. Анализ существующей системы ремонта локомотивов на предприятиях ОАО «РЖД». *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. Вип. 123. С. 201 – 204.

8. Пузир В.Г. Дацун Ю.М. Ласинович Б.Б. Розроблення технологічного обладнання для випробувань і діагностування форсунок тепловозних дизелів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 132. С. 11 – 16.

9. Дацун Ю.М., Таранов А.О. Застосування тепловізійних методів при контролі стану тягових двигунів локомотивів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 135. С. 260-265.

10. Дацун Ю.М., Філатов А.М. Дослідження відмов колісних пар тепловозів в експлуатації із застосуванням FMEA-методології. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 147. С. 87 – 91.

11. Пузир В.Г., Дацун Ю.М. Застосування сучасних стратегій при удосконаленні системи технічного обслуговування і ремонту. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 149. С. 75 – 80.

12. Дацун Ю. М., Колесніченко Г. О. Визначення порядку діагностування буксових вузлів електровозів на основі даних про їх пошкодження в експлуатації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2015. Вип. 158(2). С. 16-20.

13. Дацун Ю.М. Дослідження складових організаційно-технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі когнітивних карт. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. №160. С. 105-111.

14. Дацун Ю.М. Кіцелюк А.Ю. Визначення оптимальних маршрутів експертної групи при обстеженні локомотиворемонтних виробництв. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. №164. С. 51-55.



15. Дацун Ю.М. Оцінка критеріїв формування віртуального підприємства з ремонту локомотивів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2017. №3 (233). С. 64 – 67.

16. Дацун Ю. М., Саркісян К. М., Мірошніченко О. В., Ісаєв Д. С. Аналіз впливу людського фактору на процеси визначення параметрів вузлів рухомого складу під час технічного обслуговування. *Збірник наукових праць державного університету інфраструктури та технологій*. 2020. №36. С. 15-23

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

17. Дацун Ю.Н. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе методов нечеткой логики. *Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2015. №1 (218). С. 77 – 80.

18. Дацун Ю.М. Дослідження роботи нечіткого класифікатора визначення стратегій технічного обслуговування та ремонту вузлів локомотивів. *Залізничний транспорт України*. 2015. №5. С. 51-54.

19. Дацун Ю. М. Визначення ступеню впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2016. №1/7 (79). С 56-61 (видання індексується у базі Scopus)

20. Дацун Ю. Оцінка рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2017. № 3(69). DOI: 10.15802/stp2017/103937.

21. Дацун Ю. М. Методи формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. №171. С. 76-82.

22. Дацун Ю. М., Беженар Є. В. Дослідження показника відповідності локомотиворемонтного виробництва. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. №173. С. 70-75.

23. Пузир В.Г., Дацун Ю.Н., Сендюк В.Е., Пиво В.В. Аналіз методів оцінки якості роботи форсунок дизелів тепловозів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2018. №180. С. 25-32.

24. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Дидак Б.С., Вітенко О.А. Визначення раціональної структури виробництв з ремонту локомотивів за економічними критеріями. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. №185. С. 44-51.

Публікації у наукових виданнях інших держав:

25. Дацун, Ю.Н. Построение функций принадлежности нечеткого классификатора стратегий содержания узлов локомотивов. *Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона*. 2016, №4(9). С. 22-25.

26. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways. *Rail Transport -*

*Systems Approach* / Ed. A. Śladkowski. Cham: Springer. 2017. P. 217-239. doi: 10.1007/978-3-319-51502-1\_5. (видання індексується у базі Scopus).

27. Puzyr V., Datsun Y., Obozny O. Design of algorithm for identification of locomotive electrical machine unit during repair. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol 7, No 4.3: Special Issue 3. P. 157-161. (видання індексується у базі Scopus).

28. Puzyr V., Datsun Y., Obozny O., Pyvo V. Development of a repair technology for locomotive units on the basis of the theory of decision. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 664 (видання індексується у базі Scopus).

29. Puzyr V.G., Krashenin O.S., Zhalkin D.S., Datsun Y.M., Obozny O.M. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 659 (видання індексується у базі Scopus).

30. Brusentsov V., Puzyr V., Vorozhbiian M, Ivashchenko M., Datsun Y. Higher efficiency of control over functional status of locomotive crew members. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. № 985 (видання індексується у базі Scopus).

#### **Праці апробаційного характеру:**

31. Пузырь В. Г., Дацун Ю. Н., Рогаль В. В. Исследование основных показателей надежности парка электровозов 2ЭС5К, 2ЭЛ5 Одесской железной дороги. *Планово-предупредительный вид ремонта тягового подвижного состава с учетом его технического состояния*: коллективная монография по материалам международной научно-практической конференции (Омск, 18 октября 2013 г.). Омск: НИИТКД. 2013. С. 85-91

32. Пузыр В.Г., Дацун Ю.М. Рогаль В.В. Удосконалення системи технічного обслуговування магістральних електровозів на базі інформації про фактичний технічний стан. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 15 - 17 квітня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. С. 237.

33. Тартаковский Э., Пузырь В., Дацун Ю. Применение экспертных методов для оценки организационно-технического уровня локомотиворемонтных предприятий. *Transport problems: proceedings VI International Conference* (Katowice, Republic of Poland, 25-27 June 2014). Katowice, 2014. P. 717-721.

34. Тартаковский Э.Д., Пузырь В.Г., Дацун Ю.Н. Формализация экспертных оценок при аттестации локомотиворемонтных производств. *Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов*: материалы первой международной научно-практической конференции (Москва, 10 октября 2014). Москва, 2014. С. 274-278.

35. Тартаковский Э.Д., Пузырь В.Г. Дацун Ю.Н. Применение нечетких методов классификации при определении стратегии технического обслуживания и ремонта узлов локомотивов. *Локомотивы XXI век*: сборник

- материалов II Международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 18-20 ноября 2014). Санкт-Петербург, 2014. С. 128-129.
36. Дацун Ю.М. Оцінка параметрів відмов вузлів локомотивів при визначенні їх системи технічного обслуговування та ремонту. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.* (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151 (додаток). С. 69.
37. Тартаковський Е.Д., Пузир В.Г. Дацун Ю.М. Ідентифікація нечіткого класифікатора для вибору стратегій обслуговування та ремонту локомотивів. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник тез міжнародної науково-практичної конференції* (Лозова, 4 - 8 травня 2015). Сєверодонецьк 2015. С. 51-52.
38. Тартаковский Э.Д., Пузырь В.Г. Дацун Ю.Н. Оптимизация базы знаний при выборе стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов. *Transport problems: proceedings VII International Conference* (Katowice, Republic of Poland, 22-26 June 2015). Katowice, 2015. P. 585 – 590.
39. Дацун Ю.Н. Определение уровня оснащённости локомотиворемонтных производств на основе экспертных оценок. *Локомотивы XXI век: сборник материалов III Международной научно-технической конференции* (Санкт-Петербург, 17-19 ноября 2015). Санкт-Петербург, 2015. С. 227-228.
40. Дацун Ю.Н. Оценка значимости отказов узлов тепловозов на основе теории рисков. *Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием в трех частях.* (Омск, 10 ноября 2015). Омск, 2015. С 246-252.
41. Тартаковский Э.Д., Пузырь В.Г., Дацун Ю.Н. Формирование стратегий технического обслуживания и ремонта на основе нечеткой классификации характеристик узлов локомотивов. *Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй международной научно-практической конференции* (Москва, 14 октября 2015). Москва, 2015. С. 308-314.
42. Дацун Ю.М. Оптимізація планування маршрутів технічних експертів при оцінці організаційно-технічного стану локомотиворемонтних виробництв. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матеріали стендових доповідей та виступів учасників 28-ї міжнародної науково-практичної конференції* (Харків 21-23 жовтня 2015 ). Харків, 2015. С. 11-12.
43. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Рядковський В.В. Аналіз технічного рівня локомотиворемонтних виробництв на основі математичного моделювання. *Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи: збірник тез міжнародної науково-практичної конференції* (Трускавець, 11-17 квітня 2016). Сєверодонецьк, 2016. С. 153-154.

44. Дацун Ю.М. Оцінка невідповідностей технологічного процесу ремонту локомотивів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.* (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 33-34.
45. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Застосування кумулятивної моделі накопичення пошкоджень вузлів локомотива при визначенні зміни технічного стану локомотива. *Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика: тези доповідей за матеріалами дванадцятої науково-практичної конференції* (Харків, 2-4 червня 2016). Харків, 2016. С. 72-73.
46. Puzyr V., Datsun Y. The definition of the indicator of the level of mismatch of locomotive repair production. *Transport problems: proceedings VIII International Conference* (Katowice, Republic of Poland, 29 June – 1 July 2016). Katowice, 2016. P. 474 – 481.
47. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Методика оцінки локомотиворемонтних виробництв при їх атестації. *Перспективи впровадження технічних заходів безпеки руху на залізницях України: Збірник доповідей шістнадцятої науково-практичної конференції* (Київ, 31 серпня – 02 вересня 2016). Київ, 2016. С. 8 - 10.
48. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матеріали стендових доповідей та виступів учасників 29-ї міжнародної науково-практичної конференції* (Харків 21-23 жовтня 2016 ). Харків, 2015. С. 6.
49. Пузырь В.Г., Дацун Ю.Н. Формализация экспертных оценок при аттестации локомотиворемонтных производств. *Локомотивы XXI век: сборник материалов IV Международной научно-технической конференции* (Санкт-Петербург, 15-17 ноября 2016). Санкт-Петербург, 2016. С. 238-240.
50. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Оптимізація експлуатації та ремонту локомотивів на основі прогнозування зміни параметрів їх вузлів. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доповідей III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів* (Маріуполь 11-12 травня 2017). Маріуполь, 2017. С. 119-120.
51. Datsun Y. Nonconformance rating for locomotive repair facilities. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: theses of international scientific conference* (Dresden – Paris, 3-12 may 2017). Severodonetsk, 2017. P. 62-64.
52. Пузир В. Г., Дацун Ю. М., Рядковський В. В., Обозний О. М. Математична модель зміни технічного стану локомотива в процесі експлуатації. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79-ої міжнар. наук.-техн. конф.* (Харків, 25 – 27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 59-61.

53. Пузырь В.Г., Дацун Ю.Н. Формирование адаптивного производства по ремонту локомотивов. *Transport problems: proceedings IX International Conference* (Katowice, Republic of Poland, 28-30 June 2017). Katowice, 2017. P. 532 – 535.
54. Пузырь В.Г., Дацун Ю.М. Основи автоматизованого управління локомотиворемонтним середовищем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнародної науково-практичної конференції (Харків 25-27 жовтня 2017 ). Харків, 2017. С. 60-61.
55. Пузырь В.Г., Дацун Ю.Н. Основы формирования виртуальных производств по ремонту локомотивов. *Локомотивы XXI век: сборник материалов V Международной научно-технической конференции* (Санкт-Петербург, 14–16 ноября 2017). Санкт-Петербург, 2017. С. 242-245.
56. Дацун Ю.М. Рядковский В.В. Формування адаптивної системи управління локомотиворемонтним виробництвом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: 80 міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24–26 квітня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 59-60.
57. Пузырь В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Розробка алгоритмів керування роботизованими технологічними комплексами в ремонтному виробництві. *Технології та інфраструктура транспорту*: міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14–16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 138-139.
58. Пузырь В.Г., Дацун Ю.М. Автоматизація контролю деталей локомотивів під час ремонту. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: Збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 23-25 травня 2018). Сєверодонецьк, 2018. С. 113-115.
59. Пузырь В.Г., Дацун Ю.Н., Пиво В.В. Разработка критерия целесообразности внедрения средств автоматизации и роботизации в локомотиворемонтном производстве. *Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов*: материалы третьей международной научно-практической конференции (Москва, 11 - 12 октября 2018). Москва, 2018. С. 307-308.
60. Puzyr V., Datsun Y., Pyvo V. The research into locomotive repair industry on the basis of cognitive modelling. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects*: Theses of international scientific and practical conference. (Salou, Spain 4-11 May 2019) Severodonetsk, 2019. P. 77-78.
61. Дацун Ю.М., Саркісян К.М., Коваленко О.С., Клименко О.В. Вплив людського фактора на безпеку руху залізничного транспорту. *Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя*: тези доповідей II Всеукраїнської конференції. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 23 — 25 квітня 2019). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 184 (додаток). С. 27-28.

62. Устенко О. В., Дацун Ю. М., О. Клименко, Саркісян К. М. Визначення причин помилок під час контролю стану колісних пар швидкісного рухомого складу. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції* (Дніпро, 16-17 травня 2019). Дніпро, 2019. С. 27-28.
63. Пузир В.Г., Дацун Ю.М. Оптимізація технологічних процесів ремонту вузлів локомотивів в умовах ризику. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: Збірник наукових праць IX-ої міжнародної науково-практичної конференції* (Одеса 22-24 травня 2019). Сєверодонецьк, 2019. С. 90-92.
64. Пузир В.Г., Крашенінін О.С., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Вибір стратегії утримання локомотивного парку при запровадженні сервісу. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник наукових праць науково-практичної конференції* (Лиман, 14-16 листопада 2019). Сєверодонецьк, 2019. С. 111-112.
65. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Параметрична ідентифікація когнітивної моделі системи ремонту локомотивів. *Інтелектуальні транспортні технології: Тези доповідей 1-ої міжнародної науково-технічної конференції* (Трускавець, 24-30 січня 2020) Харків, 2020. С. 94-96.
66. Пузырь В. Г., Крашенинин А. С., Дацун Ю. Н., Обозный А. Н., Задесенец В. И. Выбор стратегии содержания локомотивного парка при внедрении сервиса. *Проблемы безопасности на транспорте: Материалы X международной научно-практической конференции* (Гомель, 26–27 ноября, 2020). Гомель, 2020. С. 110-112.

**Додаткові праці, які відображають результати дисертації:**

67. Пат. на корисну модель №106911 Автоматизований стенд для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів/№и 201511395; заяв. 19.11.2015; опубл. 10.05.2015, Бюл. №9. – 5с.

## АНОТАЦІЯ

Дацун Ю.М. Розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційне дослідження присвячене формуванню інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів, що базується на принципах системного підходу та враховує фактичний технічний стан вузлів локомотивів і рівень ремонтних виробництв.

В роботі проведено аналіз технічного стану локомотивів, загального рівня локомотиворемонтних підприємств залізниць, основних підходів до організації

ремонт локомотивів. Запропоновано концепцію інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів, що базується на OWL-онтології. Розроблено когнітивну модель функціонування виробничої системи ремонту локомотивів, що дозволило визначити кількісну оцінку взаємного впливу її складових. Розроблено метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів. Запропоновано комплексний показник технічного рівня ремонтного виробництва. Визначено кількісну оцінку ступеню впливу різних технологічних операцій на справність відремонтованих вузлів в експлуатації. Дослідження розробленої теоретико-ігрової моделі ремонту вузла локомотива показали, що завдання формування оптимальної технології ремонту не може бути вирішено в чистих стратегіях. Удосконалено метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів, що базується на принципі доповнення технологічних можливостей виробництв-агентів. Удосконалений метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва, що базується на структурі експертної системи. Розрахунки економічної доцільності від впровадження інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів показали, що величина економії коштів залежить від технічного рівня ремонтного підприємства.

**Ключові слова:** система ремонту, технічний рівень, локомотиворемонтне виробництво, ваговий коефіцієнт, стратегія ремонту, вузли локомотива, інтелектуалізована система.

## АННОТАЦІЯ

Дацун Ю.Н. Развитие научных основ формирования интеллектуализированной системы ремонта локомотивов. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

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 Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2021.

Диссертационное исследование посвящено формированию интеллектуализированной системы ремонта локомотивов, которая основывается на принципах системного подхода и учитывает фактическое техническое состояние узлов локомотивов и уровень ремонтных производств.

В работе проведен анализ технического состояния локомотивов, общего уровня локомотиворемонтных предприятий железных дорог, основных подходов к организации ремонта локомотивов. Основными причинами транспортных происшествий в локомотивном хозяйстве является некачественный ремонт, ошибки персонала и технические причины. Предложена концепция интеллектуализированной системы ремонта локомотивов, основанной на OWL-онтологии, которая включает модели и методы для обеспечения объективности определения оптимальных процессов

организации и технологии ремонта локомотивов. Показано, что объединение информационных потоков о техническом состоянии локомотивов и уровне локомотиворемонтного производства дает возможность лицу, принимаемому решения автоматизированного выбора вариантов организационных решений. Разработанная когнитивная модель функционирования производственной системы ремонта локомотивов позволила определить количественную оценку взаимного влияния ее составляющих. Определено, что техническое состояние локомотива до ремонта и технический уровень производства имеют наибольший коэффициент влияния на производственную систему ремонта и характеризуются максимальными значениями показателя централизации воздействия. Система осуществляет максимальное влияние на ремонт локомотива и состояние локомотива после ремонта. Разработан метод формирования индивидуальных стратегий ремонта узлов локомотивов, который предусматривает применение адаптивной интеллектуализированной системы на основе нечетких алгоритмов, которая учитывает техническое состояние узлов локомотивов и уровень ремонтного производства. Предложен комплексный показатель технического уровня производства, учитывающий количественную оценку влияния типа технологических процессов, вида узлов локомотивов и компонентов ремонтного производства. Определена количественная оценка степени влияния различных технологических операций на исправность отремонтированных узлов в эксплуатации. Показано, что наибольший коэффициент влияния имеют технологические процессы, выполняемые на заключительных этапах ремонта. Исследование разработанной теоретико-игровой модели ремонта узла локомотива показали, что задача формирования оптимальной технологии ремонта не может быть решена в чистых стратегиях. Для получения наибольшего выигрыша с минимальными рисками необходимо применить адаптивные интеллектуализированные технологии ремонта, учитывающие фактическое техническое состояние каждого узла. Усовершенствован метод формирования виртуальных производств по ремонту локомотивов, основанный на принципе дополнения технологических возможностей производств-агентов. Максимальной эффективности виртуальное локомотиворемонтное производство может достичь при условии формирования его по принципу Беллмана-Заде, который не допускает компенсацию недостатка уровня одних критериев оценки предприятий избытком других. С целью реализации адаптивной интеллектуализированной системы ремонта локомотивов усовершенствован метод оценки технического уровня локомотиворемонтного производства, основанного на структуре экспертной системы, которая обобщает и формализует экспертные оценки технического уровня производства. Расчеты экономической целесообразности от внедрения адаптивной интеллектуализированной системы ремонта локомотивов показали, что величина экономии средств зависит от технического уровня ремонтного предприятия.



**Ключевые слова:** система ремонта, технический уровень, локомотиворемонтное производство, весовой коэффициент, стратегия ремонта, узлы локомотива, интеллектуализированная система.

### ABSTRACT

Datsun Y.M. Development of scientific formation fundamentals of the intellectualized locomotive repair system. - Qualification scientific research should be treated as a manuscript.

Thesis for a Doctor Degree in Technical Sciences in Specialty 05.22.07 – railways rolling stock and trains traction. – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation research is devoted to the formation of an intellectualized locomotive repair system based on the principles of a system approach, which takes into account the actual technical condition of locomotive units and the level of repair production.

In the work the analysis of the technical condition of locomotives, the general level of locomotive repair enterprises of railways, the main approaches to organizing the repair of locomotives was carry out. The concept of an intellectualized locomotive repair system based on the OWL ontology is proposed. A cognitive model of the functioning of the production system of locomotive repair has been developed, which made it possible to determine a quantitative assessment of the mutual influence of its components. A method for the formation of individual strategies for the repair of locomotives units has been developed. A complex indicator of the technical level of repair production was proposed. A quantitative assessment of the degree of influence of various technological operations on the serviceability of the repaired units in operation has been determined. The study of the developed game-theoretic model of the repair of a locomotive unit showed that the problem of forming an optimal repair technology cannot be solved in pure strategies. The method for the formation of virtual enterprises for the repair of locomotives, based on the principle of complementing the technological capabilities of production agents, has been improved. The method for assessing the technical level of locomotive repair production, based on the developed structure of the expert system, has been improved. Calculations of the economic feasibility of introducing an intellectualized system for repairing locomotives showed that the amount of savings depends on the technical level of the repair enterprises.

**Key words:** repair system, technical level, locomotive repair production, weight coefficient, repair strategy, locomotive units, intellectualized system.

ДАЦУН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ФОРМУВАННЯ  
ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. С.В. Михалків

---

Підписано до друку 17.03.2021 р.

Формат 60\*90/16 Умов. друк. арк. 1,8. Наклад 100 прим. Зам. № 317454

---

Друкарня «Аладдин-Принт»

ФО-П Ніценко А.О. ІПН: 2953000491

Свідоцтво про Держреєстрацію №24800170000043680 від 28.03.2003 р.

Тел.: (057) 717-09-99

<http://aladdin-print.ua>