

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ДАЦУН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.4.083:001.76

ДИСЕРТАЦІЯ

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

27–Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю.М. Дацун



Науковий консультант

ТАРТАКОВСЬКИЙ Едуард Давидович

доктор технічних наук, професор

ПУЗИР Володимир Григорович

доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

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.

Наукова новизна полягає в наступному, 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 реалізовує 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 адаптивних 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 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.

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.

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 зношеність парку електровозів складає 94%, а тепловозів - 99%. Це викликає збільшення витрат на їх утримання та 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. Підходи що застосовуються у стратегії, технології та організації ремонту, формувались в середині минулого століття, та не відповідають сучасним реаліям.

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.

У другому розділі розроблена концепція адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів, що являє собою

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.

В якості бази знань ІС запропонована онтологія локомотиворемонтного виробництва, що описана шляхом OWL-діаграми. 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.

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. За результатами експериментальних спостережень більш як 60 об'єктів визначено, що показники технічного рівня локомотиворемонтних підприємств залізниць знаходяться в межах 0,6 – 0,87.

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.

В четвертому розділі, розроблено метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів. Закріплення за кожним видом обладнання індивідуальної стратегії ремонту розглядалась як задача

віднесення об'єктів до одного з раніше виділених класів, тобто завдання класифікації. Розроблений метод 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%. 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.

У п'ятому розділі 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.

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.

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 проведення ПР-3 локомотива складе 8%, для підприємств з технічним рівнем 0,9-0,95 – 9,25%.

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

ABSTRACT

Datsun Y.M. Development of scientific formation fundamentals of the intellectualized locomotive repair system. – Qualifying scientific work as manuscript.

Dissertation for Doctoral Degree in Engineering (Speciality 05.22.07 – Rolling Stock of Railways and Train Traction). – Ukrainian State University of Railway Transport under the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation research is dedicated to designing an intellectualized locomotive repair system based on a systemic approach which considers the actual technical condition of locomotive assemblies and repair facilities.

The scientific novelty of the research includes the following:

- development of the concept of an adaptive intellectualized locomotive repair system based on the OWL ontology, which makes it possible to find the system's interconnections; it is based on the models and methods which carefully select alternative solutions;

- development of the cognitive operational locomotive repair model which enables quantitative assessment of mutual impacts of the model's components, particularly, the technical condition of locomotives before and after a repair, the technical condition of repair facilities and the repair process with involvement of expert opinion. It allows specialists to implement a flexible approach to analyzing, modelling and decision-making in fuzzy systems;

- development of the method for devising individual repair strategies for locomotive assemblies with the adaptive intellectualized approach by means of

fuzzy classification based on the technical condition of locomotive assemblies and repair facilities;

- development of the complex factor of the technical condition of locomotive repair facilities as a triple additive convolution, which includes quantitative assessment of impacts of the type of technological processes, the type of locomotive assemblies and the repair process components; quantitative assessment of impacts of various technological processes on the serviceability of repaired assemblies by means of the event development model and structural significance indices for its elements; and

- development of a game-theoretical repair model for locomotive assemblies in order to research adaptive repair technologies depending on the actual technical condition by means of the maximum gain and minimum risk criteria.

The following methods were improved:

- method for designing virtual locomotive repair facilities by adding technological options to the agent enterprises; and

- assessment method for the technical condition of locomotive repair facilities and their individual divisions by developing a structural intellectualized expert system that generalizes and standardizes the assessment of the technical condition of facilities and implements an adaptive intellectualized approach to the organization of locomotive repair facilities.

The practical value of the findings obtained is the capability to improve the technical condition and reduce the repair expenditures in the organization of locomotives repairs by applying these theoretical approaches.

The material of the dissertation research was used for 67 scientific papers, namely, 24 scientific articles in dedicated journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, 6 articles in foreign journals (14 articles were included in international abstract and citation databases, six of which were included in Scopus), a utility model patent, and 36 approvals.

The Introduction substantiates the relevance of the subject, represents the purpose and tasks of the research, the scientific novelty and practical value, gives the general characteristic of the research and the approval ratings.

Section One presents the analysis of the technical condition of locomotives, the general characteristic of locomotive repair facilities, the main conceptual approaches to the organization of locomotive repairs on the basis of the dissertation purpose.

The analysis of the current state of locomotives demonstrated that deterioration of the electric locomotive fleet is 94%, and deterioration of the diesel locomotive fleet is 99%. It results in higher maintenance costs and leads to traffic accidents of various severity. The analysis of locomotive accidents indicated that their predominant cause is poor maintenance or repair in the depots. The analysis of locomotive repair facilities demonstrated that technologically their equipment is 40-60 years behind; most equipment is obsolete and significantly depreciated. The approaches used for choosing strategy, technology and organization of the repair process were developed as early as in the mid 20th century, and they do not correspond to the current reality.

Under the current railway market liberalization public and private locomotive repair facilities are becoming more customer-oriented; they should become more competitive in terms of short deliveries, stringent product requirements, lack of funds, and frequent changes in demand. This requires new approaches to the formation of strategy, technology and organization of locomotive repairs.

Section Two presents the concept of the adaptive intellectualized locomotive repair (production) system in which the intellectualized subsystem determines how the control responses impact the development of a technological and repair strategy with the help of a decision maker.

The locomotive repair ontology described with an OWL-diagram was proposed as an intellectualized system (IS) knowledgebase. The cognitive

operation model of the locomotive repair system developed made it possible to conduct quantitative assessment of mutual impacts of the system's components. It was found that the technical condition of locomotives before a repair and the level of repair facilities have the highest influence coefficient (0.268); they characterize the maximum values of influence centralization. The system has the maximum effect on a locomotive repair and the condition of the locomotive after a repair with coefficients of 0.372 and 0.386, respectively.

Section Three presents a complex index of the technical condition of locomotive facilities; it includes qualitative assessment of impacts of the type of technological processes, the type of locomotive assemblies, and the main repair components. The experimental observations of more than 60 objects showed that the technical state indicators of locomotive repair facilities are within 0.6 – 0.87.

The quantitative assessment of impacts of various technological operations on the serviceability of repaired units demonstrated that the final technological processes had the highest impact factor: run-in testing – 0.68; assembling – 0.32; controlling the repair (restoration) quality of an assembly – 0.18. The final processes had a lower value: repairing (restoring) – 0.07; troubleshooting – 0.055.

Section Four presents the method of designing individual repair strategies for locomotive assemblies. Choosing an individual repair strategy for specific equipment was, actually, the task of assigning objects to a specific previously identified group, that is, the classification task. This method provides for application of an adaptive intellectualized system based on fuzzy algorithms, which takes into account the technical condition of locomotive assemblies and repair facilities; the classification accuracy achieved amounted to 96.8%. The research into the game-theoretical repair model of a locomotive assembly has shown that the problem of designing the optimal repair technology cannot be solely solved strategically. The maximum gain and the minimum risk can be achieved with adaptive intellectualized repair technologies with consideration of the actual technical condition of each assembly.

Section Five presents an improved method for designing virtual locomotive repair facilities based on adding technological options of agent enterprises. The maximum efficiency of a virtual locomotive repair facility can be achieved by means of Bellman's principle of optimality, which does not allow compensating the criteria in scarcity with the criteria in excess.

The adaptive intellectualized locomotive repair system can be realized with the improved assessment method of the locomotive repair facilities based on the structure of the information control system, which generalizes and standardizes expert opinion on the technical condition of facilities.

The economic feasibility of the adaptive intellectualized locomotive repair system has showed that the cost savings depends on the technical condition of a repair facility. For facilities with a technical level of 0.8-0.85, savings during a running repair (PR-3) for a locomotive will amount to 8%, and for those with a technical level of 0.9-0.95 this value will be 9.25%.

Keywords: repair system, technical level, locomotive repair production, weight coefficient, repair strategy, locomotive units, intellectualized system.

Список публікацій здобувача

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 ділянки 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).

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

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. Пузир 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. Пузир 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. Пузир 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. Пузир 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.

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.

ЗМІСТ

Вступ	26
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЛОКОМОТИВІВ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЇХ РЕМОНТУ	37
1.1 Аналіз технічного стану локомотивів залізниць України та показників безпеки руху в локомотивному господарстві	37
1.2 Стан локомотиворемонтних підприємств залізниць України	49
1.3 Основні етапи розвитку та напрямки досліджень стратегії технічного обслуговування і ремонту локомотивів	52
1.4 Аналіз особливостей стратегій технічного обслуговування та ремонту локомотивів на залізницях різних країн	62
1.5 Аналіз існуючих та перспективних організаційних форм локомотиворемонтних виробництв	67
1.6 Висновки до розділу 1	74
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ	76
2.1 Основні передумови впровадження інтелектуальних технологій у виробництві	76
2.2 Концепція інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів	80
2.3 Дослідження функціонування виробничої системи ремонту локомотивів на основі нечіткої когнітивної моделі	83
2.4 Онтологічний підхід до систематизації знань системи ремонту локомотивів	98
2.5 Оцінка значимості компонент локомотиворемонтного виробництва	112
2.6 Висновки до розділу 2	124

РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЛОКОМОТИВО-РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА	126
3.1 Методологічні аспекти оцінки технічного рівня виробництва	126
3.2 Аналіз основних підходів до оцінки технічного рівня виробництв	129
3.3 Аналіз процедури та результатів атестації, як методу оцінки технічного рівня локомотиворемонтних виробництв	143
3.4 Оцінка значимості відмов вузлів локомотивів на основі теорії ризиків	154
3.5 Визначення ступеню впливу виду технологічних процесів ремонту на справність вузлів локомотивів	162
3.6 Розробка комплексного показника технічного рівня локомотиворемонтного виробництва	172
3.7 Висновки до розділу 3	180
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ РЕМОНТУ ВУЗЛІВ ЛОКОМОТИВІВ	182
4.1 Теоретичне обґрунтування застосування методології RCM для ремонту вузлів локомотивів	182
4.2 Розробка нечіткого класифікатора визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів	193
4.3 Параметрична ідентифікація нечіткого класифікатора визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів	201
4.4 Оцінка точності нечіткого класифікатора	213
4.5 Розроблення моделі ремонту вузла локомотива	216
4.6 Розробка інтелектуалізованого випробувального обладнання для умов локомотиворемонтного виробництва	224
4.7 Висновки до розділу 4	242

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА АДАПТИВНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНИХ ВИРОБНИЦТВ	244
5.1 Формування організаційних структур підприємств на основі системного підходу	244
5.2 Метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів	250
5.3 Метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі інтелектуалізованої експертної системи	266
5.4 Дослідження економічних показників інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів	275
5.5 Висновки до розділу 5	286
ВИСНОВКИ	288
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	291
Додаток А Онтологія локомотиворемонтного виробництва	323
Додаток Б Результати експертної оцінки вагових коефіцієнтів факторів локомотиворемонтного виробництва	224
Додаток В Фрагмент файлу MATLAB «Нечіткий класифікатор» для визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів	326
Додаток Г Розрахунок параметрів функцій належності нечіткого класифікатора	328
Додаток Д Масив експериментальних даних для ідентифікації нечіткого класифікатора	330
Додаток Е Приклад розрахунку показника технічного рівня локомотиворемонтного виробництва	332
Додаток Є Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	334
Додаток Ж Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	349

ВСТУП

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 реалізовує 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 pp.); міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) «Експлуатаційна надійність рухомого складу» (Омськ, 2013 p.); VI - IX міжнародних наукових конференціях «Transport Problems» (Катовіце, 2014-17 pp.); I, II, III МНПК «Перспективи розвитку сервісного обслуговування локомотивів» (Москва, 2014, 2015, 2018 pp.); II - V МНТК «Локомотиви XXI вік» (Санкт-Петербург, 2014-17 pp.); МНПК «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Лозова, 2015 p. Лиман 2019); III МНТК «Технологічне забезпечення ремонту і підвищення динамічних якостей залізничного рухомого складу» (Омськ, 2015 p.); МНПК «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (Трускавець, 2016 p.); XII Науково-практичній конференції (НПК) «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків, 2016 p.); XVI НПК «Перспективи впровадження технічних заходів безпеки руху на залізницях України» (Хмельник, 2016p.); 29, 30 МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 2016, 2017 pp.); III всеукраїнській НПК «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика» (Маріуполь, 2017 p.); МНК «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (Париж, 2017 p., Салоу, 2019 p.); МНТК «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 2018 p.); VIII, IX МНПК «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» (Одеса, 2018, 2019 pp.); 79 МНПК «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2019 p.); 9th international scientific conference - IRMES 2019 (Kragujevac, 2019); International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies BulTrans-2019 (Sozopol, 2019 p.); 1 МНТК «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець-Харків, 2020 p.); X МНПК «Проблеми безпеки на транспорті» (Гомель, 2020 p.); 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЛОКОМОТИВІВ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЇХ РЕМОНТУ

1.1 Аналіз технічного стану локомотивів залізниць України та показників безпеки руху в локомотивному господарстві

Залізничний транспорт призначений для забезпечення потреб суспільного виробництва і населення країни в перевезеннях у внутрішньому і міжнародному сполученнях та надання інших транспортних послуг усім споживачам без обмежень за ознаками форми власності та видів діяльності.

Сучасний стан залізничного комплексу країни характеризується помітним зношенням та старінням основних фондів, що істотно зменшує техніко-організаційні та інші можливості залізниць. Тому оновлення цих фондів, їх технічне переоснащення є одним із найважливіших завдань вітчизняного залізничного транспорту відповідно до сучасних вимог.

Однією з основних складових в роботі залізниць України є локомотивне господарство, на яке приходить значна частина експлуатаційних витрат. Локомотивне господарство є також одним з найбільш фондомістких підрозділів галузі, а головна складова частина його фондів - це вартість рухомого складу.

На момент отримання незалежності, локомотивний парк України налічував 1910 електровозів і 4210 тепловозів, середній ступінь його зносу становив майже 60 % [1]. В послідуючі роки інвентарний парк Укрзалізниці щороку зменшувався в середньому на 1,7 %, або на 90 локомотивів.

За даними [2] на 2019 рік інвентарний (загальний) парк тягового рухомого складу налічував – 3588,5 локомотивів (3611,5 – 2018 рік); парк локомотивів у експлуатації – 1456,5 локомотивів (1857,5 – 2018 рік), серед них: для вантажного руху – 736,5 локомотивів (816 – 2018 рік); для пасажирського руху – 165 локомотивів (365,5 – 2018 рік); маневрові – 555 локомотивів (676 – 2018 рік); в резерві залізниці та запасі АТ «Укрзалізниця» – 683,5 локомотива (310,5 – 2018 рік), серед них: для вантажного руху – 273,5 локомотива (87,5 – 2018 рік); для пасажирського руху – 162 локомотиви (83 – 2018 рік); маневрові – 248 локомотивів (140 – 2018 рік).

Таким чином, починаючи з 1991 року парк локомотивів Укрзалізниці зменшився на 2535 локомотивів (близько 41 %), причому зменшення відбувалось в основному за рахунок списання тепловозів, їх парк зменшився на 2266 одиниць (майже на 54 %), тоді як парк електровозів зменшився всього на 283 одиниці (близько 15 %) [3]. Також слід зазначити, що основною проблемою для українських залізниць на сьогодні є не стільки зниження локомотивного парку в цілому, як його значний знос.

Більшість парку локомотивів та моторвагонного рухомого складу мають середній вік понад 30 років. 26% локомотивів мають вік понад 40 років та експлуатуються зі значним перепробігом нормативного терміну експлуатації (максимальний термін 25-30 років) [4].

Тільки 4,5% наявних в експлуатації локомотивів компанії знаходяться в оптимальних межах вікового стану. 95,5% локомотивів потребують глибокої модернізації або заміни протягом наступних 5-10 років (рисунок 1.1).

Зношення приписного парку Укрзалізниці, характеризується як фізичною так і моральною складовою. Так в наявних серіях локомотивів технологічні рішення застаріли на 40-60 років.

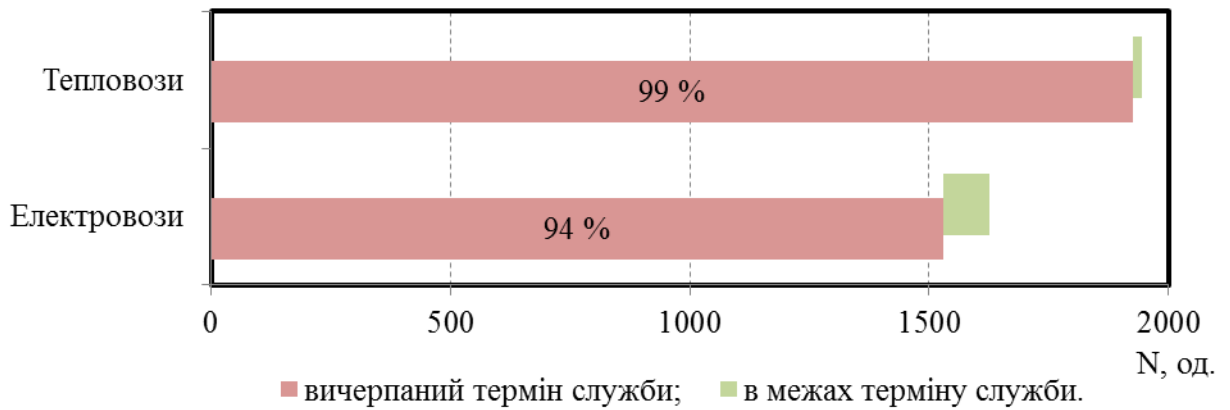


Рисунок 1.1 – Характеристики локомотивного парку АТ
«Укрзалізниця»

Зокрема, останній електровоз серії ВЛ-8 був побудований в 1967 році. Проте, такі локомотиви все ще широко експлуатуються на залізниці (понад 400 одиниць в парку Укрзалізниця). Необхідність масштабних капітальних інвестицій в коротких проміжках часу призводить до перевантаження витратної частини балансу компанії та може призвести до погіршення фінансової стабільності. Водночас не вжиття заходів щодо оновлення локомотивного парку «Української залізниці» може призвести до масштабного колапсу і неможливості залізниці виконувати необхідні обсяги перевезень.

Під час експлуатації рухомого складу за межами нормативного терміну служби значно погіршуються показники безпеки і економічної ефективності, зростає ресурсо- та енергоємність перевезень.

За даними [5] в 2020 році допущено 688 транспортних подій, з них 391 аварія, у т.ч. 51 випадків сходження рухомого складу, 5 випадків зіткнення рухомого складу, 3 випадки пожежі на рухомому складі, 332 випадків травмування осіб рухомим складом (211 зі смертельним наслідком), у т.ч. 8 робітників залізничного транспорту та 297 інцидентів,

проти 1081 транспортної події, з них 561 аварія, у т.ч. 57 випадків сходження рухомого складу, 6 випадків зіткнення рухомого складу, 3 випадки пожежі на рухомому складі, 495 випадків травмування осіб рухомим складом, у т.ч. 7 працівників залізничного транспорту (315 зі смертельним наслідком) та 520 інцидентів за аналогічний період 2019 року.

Загальна кількість транспортних подій зменшилася на 393 випадки (з 1081 до 688), кількість аварій зменшилася на 170 випадків (з 561 до 391), у т.ч. кількість сходжень рухомого складу з рейок зменшилась на 6 випадків (з 57 до 51), кількість пожеж на рухомому складі залишалась на рівні минулого року (3 до 3), кількість зіткнень рухомого складу зменшилась на 1 випадок (з 6 до 5), кількість травмувань (загибелі) осіб рухомим складом зменшилася на 163 випадки (з 495 до 332), кількість інцидентів зменшилася на 223 випадки (з 520 до 297) (рисунок 1.2)

При цьому приведений обсяг перевезень зменшився на 2,8%, а питомий показник кількості транспортних подій до обсягів перевезень зменшився з 6,09 до 5,26 подій на 1 млрд. приведених тонно-кілометрів.

Різке збільшення транспортних подій у 2018-2019 роках відбулося у зв'язку із зміною класифікації транспортних подій внаслідок введення в дію нового «Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті», затвердженим наказом Мінінфраструктури від 03.07.2017 № 235. Що було розроблене у відповідності до норм і стандартів визначених Директивою 2004/49/ЄС Європейського парламенту та Ради про безпеку залізниць у Співтоваристві. Наказом № 235 передбачено зміну класифікації транспортних подій на катастрофи (аварії із серйозними наслідками), аварії та інциденти. Крім цього до транспортних подій віднесено випадки травмування (загибелі) працівників залізничного транспорту, пасажирів та сторонніх осіб, завданні рухомим складом, що переміщався, пожежі в рухомому складі, втрати небезпечного

вантажу під час його транспортування, що не було передбачено попереднім класифікатором, а також змінено час затримки пасажирських поїздів, який враховується транспортною подією з двох годин до однієї.

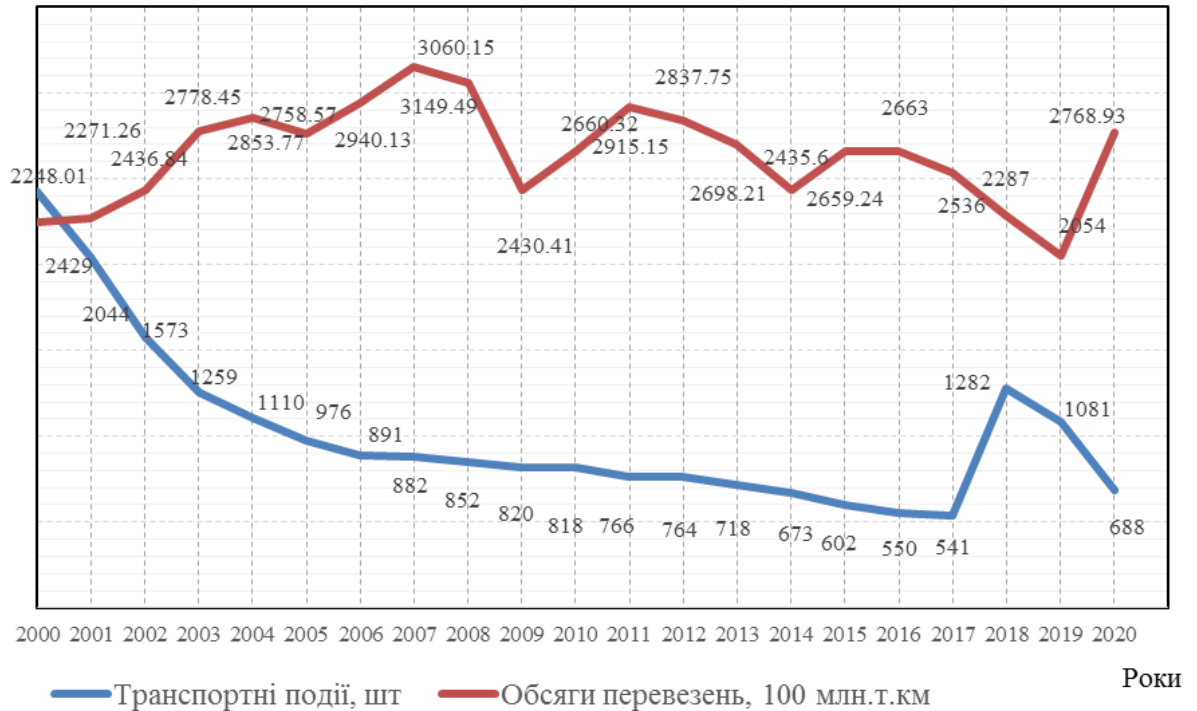


Рисунок 1.2 - Динаміка кількості транспортних подій у відношенні до обсягів перевезень

У відповідності до наказу № 235 в АТ «Укрзалізниця» проведено роботу щодо зміни форм оперативної та щомісячної звітності про кількість допущених транспортних подій та внесені зміни до програмного забезпечення АРМ «Транспортні події».

Розподіл транспортних подій по господарствах Укрзалізниці показує, що їх зниження в 2020 р. відносно попереднього відбувалось в усіх господарствах. Однак незважаючи на тенденцію до зниження, в локомотивному господарстві їх кількість лишається найвищою. А їх відсоток від загальної кількості лишається майже незмінним – 46-47 % (рисунок 1.3).

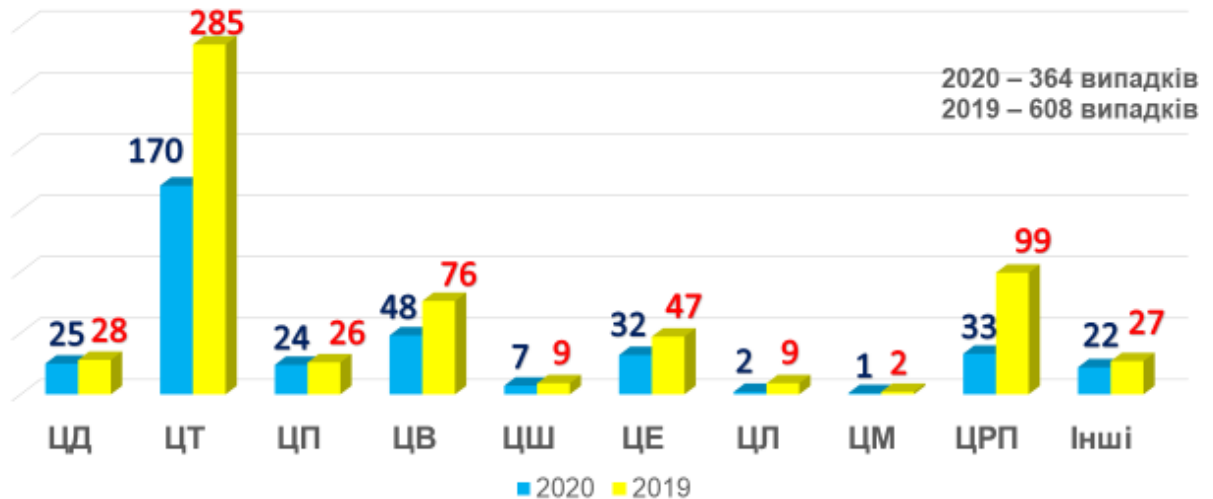


Рисунок 1.3 – Розподіл транспортних подій, допущених з вини господарств АТ «Укрзалізниця» в 2019-20 роках

Слід розуміти, що виникнення транспортних подій в більшості випадків є лише наслідком допущених раніше порушень та невідповідностей в роботі кожного господарства. Для зниження кількості транспортних подій необхідна розробка коригуючих заходів тільки на основі аналізу причин їх виникнення.

Аналіз причин транспортних подій в локомотивному господарстві показує, що протягом останніх десяти років їх склад та відсоткові співвідношення лишаються майже незмінними (рисунок 1.4).

Так основною причиною транспортних подій у 52-62% випадків визнають неякісний деповський ремонт. Для 25-35% випадків основна причина – невірні дії персоналу. Технічні причини призводять до транспортних подій у 8-17% випадків. Для 1-5 % випадків причиною виникнення є заводський ремонт та 1-4 % випадків виникають в результаті інших причин.

На рисунку 3а чітко видно тенденцію збільшення випадків з технічних причин та неякісного деповського ремонту. Що наочно

підтверджує граничне зношення як локомотивного парку так і ремонтної складової.

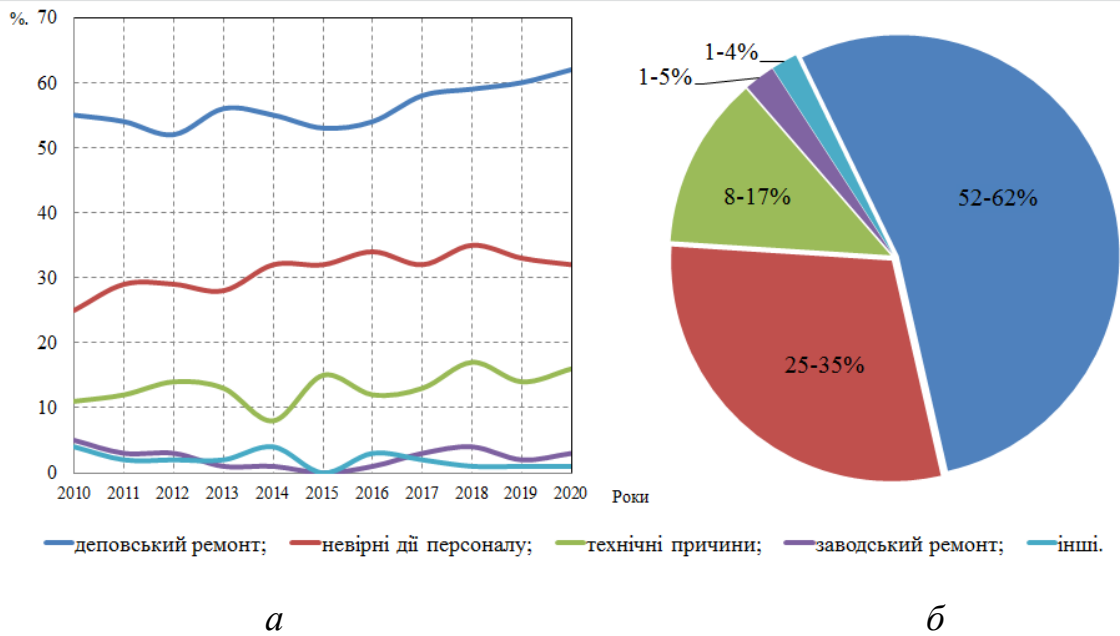


Рисунок 1.4 – Розподіл основних причин виникнення транспортних подій в локомотивному господарстві: а) зміна кількості випадків по рокам; б) загальне співвідношення кількості випадків по різних причинах

Незначна кількість випадків, що виникають з причин заводського ремонту також не додає оптимізму. Оскільки основною причиною цього є невиконання програми капітальних ремонтів локомотивів останніми роками.

Необхідно зазначити що питання оновлення тягового рухомого складу почали розглядатись починаючи з 2008 року, коли зношування локомотивного парку досягло 80%.

Так в 2008 р. Укрзалізниця презентувала презентована Комплексну програму оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки. Яка передбачала близько 130 млрд. грн. інвестицій в оновлення залізничного рухомого складу до 2020 року.

Загалом у межах програми до 2020 року передбачалось придбати понад 3,5 тисячі пасажирських вагонів, 442 пасажирських електровози, 125 тепловозів, 236 електропоїздів, 133 дизель-поїзди та кількасот одиниць іншої пасажирської техніки. Вантажний парк рухомого складу до 2020 року поповниться на 79,8 тисячі вантажних вагонів, 24,4 тисячі контейнерів, 765 вантажних електровозів та близько 1,5 тисячі одиниць маневрових та колійних машин. Більша частина техніки планувалась замовляти у вітчизняних виробників.

Вже в 2011 році урядом була затверджена програма оновлення локомотивного парку [6], що передбачала придбання 509 локомотивів на суму 28,7 млрд. грн. (3,6 млрд. USD за курсом 2011 року).

За програмою планувалась повна заміна застарілих вантажних електровозів постійного струму ВЛ8 шляхом придбання нових сучасних електровозів 2ЕЛ4 та ВЛ11М6, а також розробка пасажирського електровозу подвійного живлення для забезпечення пасажирських перевезень зі швидкістю до 160 км/год. Також програмою передбачалась комплексна модернізація тепловозів серії М62, 2М62 та ЧМЕЗ, зокрема із заміною штатних силових установок новими сучасними економічними дизелями.

Фактичне виконання цих програм склало 68 локомотивів, з яких 64 електровоза та 4 тепловоза. Причиною невиконання програм став брак коштів.

Більша частина придбаних електровозів була направлена для експлуатації в локомотивне депо Котовськ Одеської залізниці. Початок введення в експлуатацію перших одиниць електровозів - серпень 2007 року. На серпень 2012 року середній пробіг цих електровозів, з початку введення в експлуатацію, склав 595 тис. км, сумарний пробіг всіх електровозів склав 19637,3 тис. км. Починаючи з 2009 р в локомотивному

депо здійснюється окрема фіксація пошкоджень і відмов їх обладнання в електронній формі. Облік проводився за такими видами обладнання:

- тягові електричні двигуни;
- допоміжні електричні машини;
- електричні ланцюги і апарати;
- електронне устаткування;
- прилади безпеки;
- система управління;
- пневматичне обладнання;
- механічна частина.

Підчас реєстрації несправності, здійснювалась фіксація сумарного пробігу електровоза, на якому виявлена несправність, від побудови і від відповідного виду технічного обслуговування або поточного ремонту. Електровози і їх обладнання, з точки зору надійності, являють собою пристрої, які відновлюються, тобто при появі несправності, обладнання надходить в ремонт, де відбувається відновлення його справності і працездатності. Таким чином передбачається знаходження електровозів не тільки в справному та несправному станах, як це передбачено для невідновлюваних пристроїв, але і знаходження на ремонтах (планових і непланових), в очікуванні ремонту, в стані транспортування для виконання ремонту, транспортування після ремонту та інше. В якості основного показника надійності вузлів, що є відновлюваними використовують ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ за проміжок t . В якості інтервалу експлуатації може бути прийнятий час роботи або пробіг. Оскільки для електровозів прийнято вести обчислення інтервалів роботи в одиницях лінійного пробігу, а не в календарному обчисленні (за винятком технічного обслуговування ТО-2), показники надійності приведені до пробігу електровозів в кілометрах. У разі визначення залежності ймовірності безвідмовної роботи по пробігу, параметр безвідмовної роботи по пробігу

позначався як $P(L)$. Крім ймовірності безвідмовної роботи, значущими є показники середнього напрацювання на відмову певних вузлів T_v , параметр потоку відмов $\omega(L)$. Середнє значення параметра потоку відмов вузлів $\omega_{cp}(L)$ за пробіг електровоза визначалось статистичними шляхом

$$\omega_{cp}(L) = \frac{\sum_1^{N_0} m_k(L + \Delta L) - \sum_1^{N_0} m_k(L)}{\Delta L N_0}. \quad (1.1)$$

Параметр потоку відмов електровоза в цілому як системи обладнання і вузлів різного типу визначався як

$$\Omega(L) = \frac{\Delta m_e}{\Delta L} \frac{1}{N_e}, \quad (1.2)$$

де $\Delta m_e = \sum_1^{N_e} m_i$ – сумарна кількість електровозів, що знаходяться в експлуатації;

N_e – чисельність експлуатованого парку електровозів, які експлуатуються на відріжку ΔL .

Під час розрахунків надійності відновлюваних вузлів та електровозів в цілому потік відмов зазвичай вважають простим. Таке припущення виправдовується тією обставиною, що відновлювані вузли, а тим більше електровоз в цілому, складаються з великої кількості вузлів, параметри потоку відмов яких невеликі, всі вони мають один порядок і кожен з них окремо не визначає параметр потоку відмов вузла в цілому. Розглядаючи електровоз як систему, що складається з N відновлюваних вузлів різного призначення, ймовірність його безвідмовної роботи представлялась у вигляді

$$P(L) = e^{-\omega_1 L} e^{-\omega_2 L} \dots e^{-\omega_N L} = e^{-L \sum_1^N \omega_i} = e^{-\Omega L}. \quad (1.3)$$

Звідки параметр потоку відмов електровоза

$$\Omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_N = \sum_1^N \omega_i \quad (1.4)$$

В результаті обробки статистичних даних по несправностям електровозів в цілому було виявлено групи обладнання, що найбільш часто виходять з ладу. Третина відмов по парку електровозів припадає на допоміжні електричні машини. 10-25% відмов приходить на механічну частину. Близько 20% відмов - на пневмообладнання. Відмови тягових двигунів за п'ять років експлуатації зросли з 5% до 50%.

Загальний параметр потоку відмов електровозів склав $6,53 \cdot 10^{-7} \text{ км}^{-1}$. В результаті розрахунків за (1.1 – 1.4) отримано значення кількісних характеристик надійності за видами обладнання (таблиця 1.1) за перші п'ять років їх експлуатації.

Аналіз отриманих результатів вказує на недостатню надійність нових електровозів. Зокрема найбільш часто пошкоджувались допоміжні електричні машини, пневматичне обладнання і елементи механічної частини. З огляду на вік електровозів, можна сказати, що більшість пошкоджень викликані конструктивними недоліками. Часті відмови в роботі асинхронних електродвигунів типу НВА-55 приводу компресора відбуваються через недосконалість конструкції. Ненадійність конструкції крана машиніста № 130 і приладів управління автоматичними гальмами. Тим же пояснюється і постійні виходи з ладу електропневматичних вентилів управління, реле тиску РДЗ, електронних плат і електричних монтажних проводів. Вразливим місцем у роботі електровозів 2ЕЛ5 і

2ЕС5К вихід з ладу компресорів ВУ-3, 5 / 1450-10 через пошкодження пластинчастих клапанів.

Таблиця 1.1 – Кількісні характеристики надійності обладнання електровозів

Вид обладнання	Кількість відмов, вип.	Параметр потоку відмов, км ⁻¹	Центр розсіювання відмов, тис. км
Тягові двигуни	16	$0,76 \cdot 10^{-7}$	543,75
Допоміжні електричні машини	38	$1,8 \cdot 10^{-7}$	505,26
Електричні ланцюги та апарати	13	$0,49 \cdot 10^{-7}$	446,15
Електронне обладнання	11	$0,52 \cdot 10^{-7}$	372,72
Пневматичне обладнання	20	$0,38 \cdot 10^{-7}$	345,0
Механічна частина	16	$0,3 \cdot 10^{-7}$	506,25

Однак збільшення параметру потоку відмов в кінці досліджуваного періоду експлуатації (тягові двигуни, механічна частина) можуть вказувати також на негативний вплив ремонтної складової. Що можна пояснити недостатнім рівнем технологічної підготовки ремонтного виробництва депо до ремонту нової техніки.

Стратегією “Укрзалізниці” до 2021 року [7] було передбачено придбання понад 200 нових локомотивів та проведення модернізації існуючих. Розмір запланованих інвестицій становив понад 40 млрд. грн., з яких 30 млрд. грн. - на придбання нових локомотивів та 9,5 млрд. грн. – на модернізацію та ремонт.

На сьогоднішній день загальна кількість придбаних локомотивів становить 30 одиниць. Це тепловози серії TE33AC виробництва General Electric Company. Що стосується нових електровозів, то АТ «Укрзалізниця» проводить активну роботу з їх потенційними постачальниками, у запланованому відборі очікується участь таких світових лідерів як Alstom Transport SA (Франція), CRRC Datong CO., LTD (Китай), Bombardier Transportation GmbH (Німеччина/Канада), Siemens AG (Німеччина) [2].

Таким чином, можна зазначити, що 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%). Отже однією з найважливіших задач АТ «Укрзалізниця» лишається комплексне оновлення тягового рухомого складу. Її вирішення висувається на рівень проблем державного значення, які безпосередньо впливають на забезпечення національної безпеки і вимагають системного, програмного підходу шляхом проведення злагодженої політики між інвесторами, виробниками і експлуатаційниками.

1.2 Стан локомотиворемонтних підприємств залізниць України

Поточні ремонти локомотивів АТ «Укрзалізниця» проводяться в локомотивних депо, що відповідають встановленим вимогам. Проведення «важких» видів поточних ремонтів (ПР-2, ПР-3) організовується кожною

регіональною філією АТ «Укрзалізниця» в найбільш розвинених (базових) локомотивних депо.

Базові локомотивні депо, як правило має спеціалізацію по проведенню ремонтів за відповідною серією локомотивів:

- Південно-Західна регіональна філія:
 - Київ-Пасажирський (ЧС4, ЧС8, ДС3);
 - Козятин (ВЛ80к,т, ЧС4, ЧС8);
 - Жмеринка (М62, 2М62, 2М62У, 2ТЕ116);
 - Дарниця (ЧМЕ3).
- Південна регіональна філія:
 - Харків-Головне (ЧС2, ЧС7);
 - Основа (ТЕП70);
 - Лозова (ВЛ11, ЧМЕ3);
 - Харків-Сортувальний (ЧМЕ3);
 - Гребінка (2ТЕ116, ТЕП150);
 - Куп'янськ (ВЛ80, 82).
- Львівська регіональна філія:
 - Львів-Захід (ВЛ10, ВЛ11М, ВЛ40У, ВЛ80к,т);
 - Ковель (М62, 2М62, 2М62У);
 - Мукачеве (ВЛ10, ВЛ11М);
- Одеська регіональна філія:
 - Подільськ (ВЛ40, ВЛ80, 2ЕЛ4);
 - ім. Тараса Шевченка (2ТЕ116);
 - Христинівка (ЧМЕ3);

- Знам'янка (ВЛ80);
- Придніпровська регіональна філія:
 - Нижнодніпровськ-Вузол (ВЛ8, ВЛ11М6);
 - Мелітополь (2ТЕ116, ТЕ33А);
 - Пологи (ЧМЕЗ);
- Донецька регіональна філія:
 - Лиман (2ЕЛ4, ВЛ8);
 - Волноваха (2ТЕ116);
 - Слов'янськ (ЧМЕЗ).

Капітальні ремонти локомотивів (КР-1, КР-2) проводяться локомотиворемонтними заводами. Три з яких є приватними акціонерними товариствами (ПрАТ), 100% акцій яких належить АТ «Укрзалізниця». Крім відомчих, послуги з капітальних ремонтів локомотивів та їх вузлів надає ряд приватних підприємств (рисунок 1.5).

Однією з основних проблем, що стоять перед локомотиворемонтними виробництвами є відсутність належного фінансування. Аналіз технічного стану локомотивних депо, що здійснюють ремонт локомотивів показує, що їх матеріальна база залишається на рівні 60 - 80 років минулого століття.

Моральне та фізичне старіння основного технологічного та діагностичного обладнання, вимірювального інструменту призводить до його погіршення характеристик, частих виходів з ладу, руйнувань. Більшість підприємств відчуває брак у конструкторській та технологічній документації. А останніми роками починає гостро звучати питання відтоку кадрів з ремонтних підприємств.

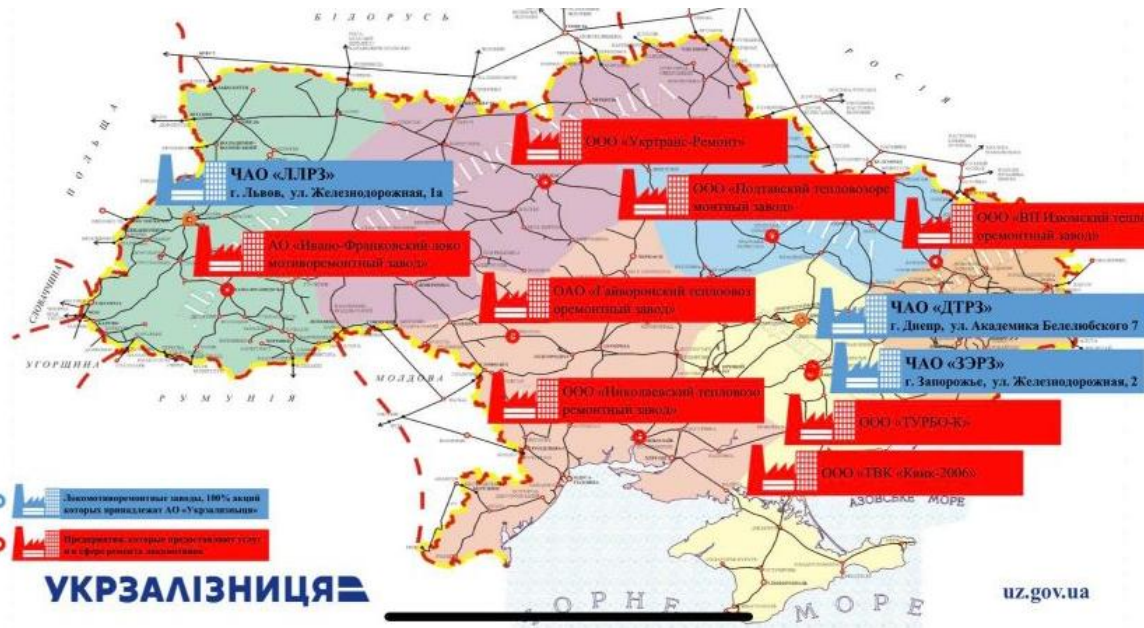


Рисунок 1.5 – Підприємства, що здійснюють капітальний ремонт локомотивів та їх вузлів

Складним питанням на залізниці є функціонування системи постачання запасних частин та матеріалів. З одного боку брак коштів не дозволяє здійснювати постачання запасних частин та матеріалів в повному обсязі, що відповідає вимогам технологічних процесів. З іншого боку якість запасних частин і матеріалів не завжди відповідає встановленим вимогам.

1.3 Основні етапи розвитку та напрямки досліджень стратегії технічного обслуговування і ремонту локомотивів

Одним з найбільш вагомих чинників забезпечення надійної роботи локомотивів в експлуатації є науково-обґрунтована та економічно виправдана стратегія їх технічного обслуговування і ремонту (ТОР).

Стратегія ремонту локомотивів зароджувалась на початку епохи паровозної тяги, та за більше ніж століття експлуатації паровозів сформувалась в систему, основу на періодичному проведенні необхідного ремонту. Вона включала в себе поточний (службовий, промивний та підймальний), середній та капітальний ремонт, що проводились через встановлені проміжки часу чи пробігу [8, 9, 10].

З появою нових видів тяги – тепловозної (з 1924 р.) та електровозної (з 1932 р.) більшість положень, що визначали стратегію ремонту тепловозів та паровозів були взяті із практики ремонту паровозів. Цей період характеризувався відсутністю досвіду експлуатації локомотивів, низьким рівнем кваліфікації ремонтного персоналу, слабким рівнем оснащення ремонтного виробництва. В міру накопичення досвіду використання нових локомотивів, розвитку ремонтної бази стратегія їх ТОіР удосконалювалась.

В 1937 р. вперше були запропоновані види ремонту тепловозів серії Е^{сп}, що включали періодичний ремонт першого обсягу, який виконували через 40 тис. км пробігу; періодичний ремонт другого обсягу, що виконувався через 80 тис. км пробігу та середній ремонт – через 120 тис. км. З деякими змінами така стратегія проіснувала до 1945 р. [11].

Доля несправних локомотивів в поточному ремонті була дуже високою (в 1935 р. – 32%, в 1940 р. – 23,4, в 1945 р. – 20,5%).

Починаючи із 1946 р. локомотивний парк почав поповнюватися тепловозами серій ТЕ1 та ТЕ2, що викликало зміни видів ремонту. Для підтримання справного та працездатного стану тепловозів ввели щомісячний огляд, а для відновлення справності та ресурсу - капітальний ремонт. Під час поточних видів ремонту в плановому порядку ремонт проводили дизелю та деяким збиральним одиницям допоміжного обладнання. З накопиченням досвіду, підвищенням кваліфікації ремонтного та обслуговуючого персоналу, локомотивних депо в обсяги

обов'язкових робіт та види ТОіР тепловозів вносились зміни. Так в 1946 році для настроювання електричної схеми та регулювання дизеля, після поточних ремонтів були запроваджені реостатні випробування тепловозів. В 1951 році для підсилення контролю за станом відповідальних збиральних одиниць обладнання та своєчасного виконання робіт профілактичного характеру був встановлений контрольний огляд для магістральних тепловозів. В 1952 році були розроблені та введені в дію Правила поточного ремонту тепловозів серій ТЕ1 та ТЕ2.

В 1955 р. був введений новий вид планового ремонту – підіймальний. Також в той період був зменшений пробіг між контрольним технічним оглядом, почали проводити реостатні випробування тепловозів після малого періодичного ремонту.

Під час підіймального ремонту разом із плановими роботами по підкузовному обладнанню вперше почали передбачатись роботи по екіпажній частині та тяговим електродвигунам з викоченням візків та їх повним розбиранням. Обсяги обов'язкових робіт стали встановлювати із урахуванням рівня надійності тепловозів.

Таким чином, в 1955 році остаточно була сформована планово-попереджувальна стратегія ТОіР. Починаючи з 1956 року на залізниці масово впроваджуються тепловози та електровози, вводяться нові методи ТОіР, використовуються нові засоби та удосконалена документація з ТОіР. Масове впровадження нових локомотивів, збільшення інтенсивності їх роботи дозволило виявити перші недоліки ТОіР локомотивів. Найбільш характерним стало несвоєчасне та незадовільне виконання профілактичних робіт. В першу чергу це було викликано неможливістю виконання всього обсягу профілактичних робіт локомотивними бригадами. Крім того міжремонтні періоди локомотивів встановлювались без урахування конкретних умов експлуатації [11, 12].

У 1957 році для покращення контролю за станом локомотивів і підвищення якості профілактичних робіт, напрацювання між контрольно-технічними оглядами були скорочені вдвічі. Виконання основних робіт під час технічного обслуговування було покладено не на локомотивні бригади, як це було раніше, а на ремонтний персонал депо. Замість існуючого середнього та капітального ремонтів був встановлений єдиний вид ремонту – заводський. Ці зміни в подальшому були покладені в основу заходів з переведення магістральних локомотивів на обслуговування змінними локомотивними бригадами [13, 14].

В 1961 році для підсилення контролю за станом екіпажної частини локомотивів був введений щодобовий технічний огляд магістральних тепловозів силами ремонтного персоналу депо.

Вже на в той час питаннями удосконалення стратегії ТОіР почали займатись вчені та дослідники. Одними з перших робіт в цьому напрямку були дослідження Рахматуліна М.Д. та Четвергова В.А. В [15] пропонувалось визначати зношення вузлів локомотивної енергетичної установки як похідну від ступеню її завантаженості. Яку в свою чергу пропонувалось визначати за та питомою витратою палива. В результаті вперше було запропоновано диференціацію міжремонтних періодів в залежності від рівня надійності та інтенсивності завантаження локомотивів. Однак коригування міжремонтних періодів проводилися без урахування їх економічної доцільності.

Дослідження під керівництвом Фуфрянського Н.А. враховували економічні показники експлуатації та ремонту тепловозів під час визначення їх міжремонтних пробігів [16]. Дослідження [17] показали, що для визначення міжремонтного пробігу необхідно також враховувати фактичну безвідмовність та довговічність агрегатів локомотивів.

В роботах з надійності і раціоналізації міжремонтних пробігів електрорухомого складу, що проводились під керівництвом Ісаєва І.П [18,

19] за основу стратегіях ТОіР приймався принцип кратності міжремонтних пробігів. Оптимізація міжремонтного пробігу проводилася за критеріями мінімуму приведених витрат.

Дослідження під керівництвом Четвергова В.А. та Павловича Є.С. [20, 21, 22] сформулювали підхід до визначення оптимальної структури стратегії ТОіР на основі статистичних даних та визначених закономірностей про надійність вузлів локомотива. Було запропоновано два критерію оптимальності міжремонтних періодів збиральних одиниць та деталей. Перший з них – мінімум питомих сумарних витрат на планові та непланові ремонти з урахуванням пошкоджень локомотивів в шляху прямування – застосовується для оптимізації міжремонтних періодів обладнання, відмови якого не впливають на рівень безпеки руху поїздів. Для обладнання, відмови якого можуть впливати на рівень безпеки руху поїздів, пропонувався інший критерій оптимізації – забезпечення заданої (гарантованої) ймовірності безвідмовної роботи між плановими ремонтами.

В роботах Горського А.В. та Воробйова А.А. [23, 24, 25] пропонувалась модель оптимізації міжремонтних пробігів на основі параметру потоку відмов, який визначали шляхом групування числа відмов в інтервалах напрацювання. Отримана в результаті розрахунку діаграма параметру потоку відмов апроксимувалась трьома лінійними відрізками, що характеризували періоди припрацювання, нормальної експлуатації та збільшеного зношування. Отриманий в результаті апроксимації аналітичний вираз для параметра потоку відмов використовувався для визначення оптимальних термінів проведення ремонтів.

Вплив умов експлуатації при оптимізації міжремонтних пробігів обладнання локомотивів в роботах Осяєва А.Т. [26, 27, 28] реалізовано на основі багатofакторної моделі з використанням коефіцієнтів, що

враховують рід служби локомотива, вік локомотивного парку, кліматичні умови, ступінь оснащення локомотивних депо засобами технічного діагностування, план і профіль колії. При цьому строки проведення ремонтів визначались виходячи із заданого середнього міжремонтного пробігу.

Бутько Т.В. [29, 30, 31] в своїх дослідженнях задачу удосконалення системи технічного утримання розбивала на дві підзадачі: вибір оптимальних циклічностей та періодичностей ТО та ПР та оптимізація проектування, використання та управління деповською ремонтною базою. В якості цільової функції оптимізаційної задачі визначення раціональних міжремонтних пробігів, приймалися сумарні витрати на виконання планових ТО і ПР, непланових ремонтів та діагностування, витрати на запасні частини, матеріали, енергоресурси, мастильні матеріали.

В роботах, під керівництвом Стрекопитова В.В [32, 33] на основі аналізу ймовірнісних математичних моделей методів ремонту локомотивів, отримано підтвердження того, що планово-попереджувальний метод ремонту не забезпечує повного відновлення локомотива і є типовою системою з накопиченням порушень, що підтверджують статистичні дані про велику кількість непланових ремонтів. Також зазначалось, що економічно виправданою системою обслуговування локомотивів може бути тільки система, яка не містить ремонтів, а обмежується технічним обслуговуванням. Виконання ремонтних робіт при обслуговуванні локомотива допускається як виняток. Планові ремонти, пов'язані з відновленням і заміною окремих деталей і вузлів, не відповідають сучасному розвитку суспільства, технічних засобів і є «гальмом» технічного прогресу в галузі.

В дослідженнях, що проводились під керівництвом Давидова Ю.А. [34, 35] пропонувалось застосування інформаційно-керуючої системи для постановки локомотивів на ремонт, з урахуванням їх роботи на

подовжених плечах обслуговування а також поточного технічного стану перед постановкою на ремонт.

В роботах під керівництвом Грищенка О.В. [36, 37] на основі аналізу причин відмов локомотивного обладнання стверджувалось про постійну частоту виникнення непланових ремонтів протягом часу експлуатації локомотивів. Внаслідок чого діюча стратегія планово-попереджувальних ремонтів не в змозі забезпечити повне відновлення технічного ресурсу локомотива і є типовою системою з накопиченням несправностей. Було запропоновано комплексний підхід до визначення міжремонтних пробігів з урахуванням поступових і раптових відмов. Авторами також розроблені математичні моделі та алгоритм управління технічним станом обладнання локомотива. Цільова функція оптимізації ремонтного циклу локомотива будувалась із застосуванням критерію мінімуму витрат або максимуму безвідмовної роботи, пов'язаних з пробігом до наступного виду обслуговування або ремонту і витратами, пов'язаними з усуненням відмов, попереджувальним ремонтом і діагностуванням.

Широкий спектр наукових досліджень в цьому напрямку проводиться в лабораторії «Технічне утримання і діагностування локомотивів» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна. В роботах під керівництвом Боднара Б.Є. [38, 39, 40] пропонується вибір раціональної системи утримання, яка враховує оцінку впливу залежних відмов на вартість їх життєвого циклу. Що стає актуальним в умовах впровадження нових локомотивів із бортовими системами управління й діагностування, а також розвитком теорії систем утримання тягового рухомого складу. Обґрунтовується необхідність удосконалення методів оцінки ступеня впливу показників надійності вузлів локомотива на вибір системи утримання й вартість його життєвого циклу. Пропонується використання поняття «вплив залежних відмов» під час розрахунку вартості відновлення

локомотива після позапланових ремонтів і вартості його життєвого циклу. В дослідженнях під керівництвом Капиці М.І. [41, 42, 43, 44] сформульовані необхідні умови раціональності системи утримування ТРС як задачі векторної оптимізації для двох показників: інтенсивності відмов та витрат на проведення відновлювальних робіт, що дають можливість отримати залежність між інтенсивністю відмов та витратами на утримування, а тим самим і можливість приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності вибору параметрів системи утримування. Методологія визначення раціональної системи утримування сформульована як задача векторної оптимізації, рішення якої дозволяє сформулювати варіанти системи утримування із яких в залежності від місцевих умов експлуатації (залізниця, локомотивне депо) може бути вибраний раціональний варіант.

В роботах Бабаніна О.Б. [45, 56] на основі дослідження факторів, що впливають на організацію технічного утримання ТРС і виявлено, що з ростом старіння парку локомотивів на залізницях особливу актуальність має передчасна заміна зношених деталей не тільки при проведенні великих ремонтів, але і при виконанні локомотивам ТО. Доводиться вплив системи матеріально-технічного забезпечення на розвиток сервісного обслуговування локомотивів.

Устенком О.В. [47, 48, 49, 50] запропонована концепція управління технічною експлуатацією ТРС, що узагальнює визначення науково - обґрунтованих характеристик і розвиває принципи створення системи обслуговування та ремонту рухомого складу з урахуванням умов експлуатації, стану ремонтних депо і заводів та особливостей промисловості і залізниць країни. Для оцінки технічної готовності ТРС в умовах віртуальної системи його технічної експлуатації використовується коефіцієнт технічної готовності ТРС, який дозволяє враховувати час затрачений на переміщення ТРС до місця проведення ремонту, очікування

ремонту та час затрачений на переміщення його на місце експлуатації. віртуальної системи експлуатації.

Роботи під керівництвом Крашенініна О.С. [51, 52, 53, 54] присвячені вибору оптимальної стратегії ТОіР локомотивів у період післянормативного терміну експлуатації. Для цього пропонується врахування необхідності коректування часу й обсягу робіт з ТО, ПР. В основу оптимізації стратегії ТО, ПР локомотивів запропоновано закладати складові зміни витрат за термін подовження експлуатації.

Під керівництвом Фалендиша А.П. [55, 56, 57] проводились дослідження з метою визначення стратегій ТОіР маневрових локомотивів в залежності від їх терміну експлуатації, умов експлуатації та виду роботи. В якості критерію визначення оптимальної стратегії ТОіР розроблений комплексного коефіцієнту технічної експлуатації дозволяє враховувати всі особливості як полігону експлуатації так і прийнятту системи технічної експлуатації.

Роботи Eisenberger D. та Fink O. [58, 59] присвячені підходу, що заснований на застосування чотирьох різних моделей обслуговування які базуються на технічному стані рухомого складу. В якості критерію вибору необхідної моделі приймались витрати на обслуговування. Авторами розроблено інструмент на основі мереж Петрі, який можна використовувати в підтримці прийняття рішень для вибору стратегії обслуговування. Розроблений інструмент підтримки складається з кількох моделей мереж Петрі та пов'язаних з ними витрат.

В роботі [60] пропонується підвищення надійність рельсового транспорту в експлуатації, та зниження вартості його життєвого циклу за рахунок розробки нових і більш гнучких стратегій ТО. Для цього пропонується багатоцільова модель технічного обслуговування, що заснована на надійності. Її вирішення здійснюється за допомогою оптимізації на основі моделювання, що за допомогою ітерацій оцінює різні

стратегії обслуговування відповідно до генетичного алгоритму недомінантного сортування.

Дослідження [61] проводяться з метою вибору стратегії технічного обслуговування рухомого складу та визначення необхідної кількості запасних частин, інтервалів заміни компонентів рухомого складу. Для оцінки стратегії пропонується застосування методу аналітичного мережевого процесу, що дозволяє враховувати важливі взаємодії між факторами оцінки. Оптимальна стратегія обслуговування рухомого складу пропонується як комплекс різних комбінацій профілактичного та коригуючого обслуговування. В якості основного критерію під час формування стратегії технічного обслуговування розглядаються показники безпеки руху.

В роботах Lin J [62, 63] проводяться дослідження стратегії динамічного обслуговування систем локомотивів, що схильні до старіння та деградації. Доводиться що проведення необґрунтованих заходів під час технічного обслуговування чи ремонту систем може призводити до їх передчасного старіння, що впливає на інтенсивність їх відмов в експлуатації. Формування динамічної стратегії обслуговування пропонується проводити на основі моделі, яка враховує очікувану вартість технологічних заходів та параметри деградації вузлів. Запропонований підхід дозволяє стратегії обслуговування адаптовуватись до технічного стану систем та умов їх експлуатації.

Таким чином проведений аналіз дозволяє зазначити, що на сьогоднішній день стосовно стратегії технічного обслуговування і ремонту локомотивів в господарстві склалися суттєві протиріччя. З одного боку експлуатація локомотивів, що вичерпали ресурс, низький рівень ремонтних виробництв та недостатні обсяги постачання запасних частин і матеріалів перетворили встановлену стратегію ППР в стратегію за відмовою (по причині великої кількості непланових ремонтів та постійної

потреби у понадциклових роботах під час планових ремонтів). Численні дослідження доводять що така ситуація викликає збільшення витрат на утримання та ймовірності відмов в експлуатації. З іншого боку наявні альтернативні підходи не впроваджуються у виробництво. Частково це можна пояснити тим, що впровадження альтернативних підходів в будь якому випадку пов'язане із фінансовими витратами. Незважаючи на це, можна сказати що ті протиріччя які склались лиш підтверджують актуальність подальших досліджень в цьому напрямку.

1.4 Аналіз особливостей стратегій технічного обслуговування та ремонту локомотивів на залізницях різних країн

В теперішній час в АТ «Укрзалізниця» діє планово-попереджувальна стратегія ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу. Відповідне Положення затверджено наказом № 55 від 30.01.2019 року. Означене Положення встановлює види технічних обслуговувань (ТО-1 – ТО-6), поточних (ПР-1 – ПР-3) та капітальних ремонтів (КР-1, КР-2, КРП), значення міжремонтних пробігів для кожної серії ТРС інвентарного парку залізниць. Локомотиви експлуатаційного парку АТ «Укрзалізниця», що пройшли ПР-3 чи КР, починаючи з 2017 року виділяються в групу, що знаходяться у дослідній експлуатації за тимчасовими новими нормативами періодичності проведення їх планових ремонтів та технічних обслуговувань. Для цих локомотивів були встановлені наступні міжремонтні нормативи: для електровозів - технічне обслуговування – 96 годин, поточний ремонт – 50 тис. км, деповський ремонт – 600 тис. км, заводський ремонт – 2400 тис. км; для маневрових тепловозів ЧМЕЗ - технічне обслуговування – 168 годин, ТОЗ – 45 діб,

поточний ремонт – 9 місяців, деповський ремонт – 54 місяці, заводський ремонт – 18 років.

Детальний аналіз стратегій технічного обслуговування та ремонту локомотивів залізниць інших країн проведений в роботах [64, 65, 66], однак слід загострити увагу на певних особливостях.

Планово-попереджувальна ремонту і технічного обслуговування рухомого складу до недавнього часу переважала в Японії, США і країнах Європи.

В Японії замість суворої періодичності виконання певних робіт, рухомий склад будуть перевіряти та ремонтувати в оптимальні терміни, що відповідають фактичному стану окремих конструктивних елементів і устаткування. При цьому передбачена можливість гнучкої адаптації стратегії технічного обслуговування і ремонту до рухомого складу нових типів і серій.

В ряді країн, стратегію обслуговування та ремонту починають задавати компанії-виробники тягового рухомого складу.

Так компанія AlstomTransport згідно підписаного контракту з однією з найбільших залізниць в США (BNSF) запропонувала стратегію що базується на постійному моніторингу відповідальних вузлів і агрегатів локомотивів і прогнозуванні змін їх стану. Що дозволяє заздалегідь передбачити їх зношування та вихід параметрів або режимів роботи за встановлені межі та виконувати їх ремонт або заміну до виникнення несправностей.

В Німеччині компанія SiemensTS розробила і пропонує своїм замовникам (як в Німеччині, так і за її межами) нову концепцію Balanced Maintenance - гнучке збалансоване технічне обслуговування. Згідно якої затверджений план попереджувальних робіт передбачає для кожної окремої деталі або вузла в залежності від їх надійності індивідуальні інтервали між оглядами та іншими роботами з технічного обслуговування.

Інтервали між роботами та їх обсяги допускають варіацію в певному діапазоні.

Залізничний транспорт Франції для підтримання справного технічного стану піддається встановленій на залізницях попереджувальній системі технічного обслуговування та ремонту. Однак спеціалісти SNCF (французьких залізниць) постійно шукають шляхи оптимізації співвідношення між попереджувальним та коригуючим технічним обслуговуванням та ремонтом.

На даний час залізничні компанії все в більшій мірі визнають нереальність виконання усіх ремонтних робіт власними силами, це пов'язано із високим ступенем інтеграції мікропроцесорних та інших інтелектуальних систем різного ступеня складності. Залізниці в змозі виконувати різні види ремонту механічної частини рухомого складу, але пневматичне гальмове обладнання або зчепні пристрої вимушені ремонтувати силами інших компаній.

Виконавець технічного обслуговування чи ремонту рухомого складу визначається на основі порівняння економічної ефективності можливих варіантів та залежить в основному від наявності виробничих потужностей, резервів часу, технічних можливостей, собівартості робіт та наявності гарантій з боку обслуговуючої сторони. Не останнім аргументом є сумніви у можливості виконувати норми законодавства з охорони навколишнього середовища.

Іспанія в 1992 році, серед всіх європейських країн, першою ввела в практику закупівлю рухомого складу із послідуочим обслуговуванням самим виробником, що було відображено в контрактах на поставку високошвидкісних поїздів AVE. Даний крок компаній-операторів був пов'язаний з оцінкою вартістю життєвого циклу придбаного рухомого складу та необхідності зменшення загальних витрат.

Мотивацією такого кроку для залізниць Іспанії став пошук шляхів скорочення поточних витрат на ремонт рухомого складу, в той же час перед виробником (компанією, що займається обслуговуванням) відкриваються можливості контролю технічного стану продукції від випуску до моменту утилізації та накопичення інформації для подальших розробок. В той же час при проведенні технічних обслуговувань та ремонтів виробник має повну картину зміни параметрів рухомого складу та на основі цього виконує пошук шляхів збільшення міжремонтних пробігів та удосконалення вузлів та систем, що значно підвищує ефективність роботи самого виробника з точки зору виконання ремонтів та випуску нової продукції.

Слід зазначити, що в більшості випадків оператори зберігають, хоча б частково, свою участь у технічному обслуговуванні, щоб контролювати та оцінювати цю роботу. До того ж, корисно зберігати деякі навички у цій сфері на той випадок, якщо виникне необхідність знову зайнятися цією діяльністю самостійно або змінити партнера.

Для зручності забезпечення послуг з перевезень між виробником-ремонтником та компанією-оператором на даний час укладаються угоди, в яких оговорюється не перелік виконуваних робіт по ремонту, а відсоток рухомого складу, який повинен бути готовий до експлуатації, з усього парку, який знаходить у розпорядженні оператора.

Прикладом ефективної співпраці державного оператора з виробниками можна назвати Іспанію. Усі компаній-виробники, що працюють на іспанському ринку, створили з національним оператором RENFE спільні підприємства з виробництва або технічного обслуговування та ремонту рухомого складу. Поступово подібні форми співпраці стають доступними і для нових приватних іспанських операторів. Так, у 2005 році RENFE та Bombardier заснували спільне підприємство *BtrenMantenimientoFerroviario*. Включення компаній-виробників у процес технічного обслуговування на

довгостроковій основі, з одного боку дозволяє RENFE мати постійний доступ до сучасних технологій та, з іншого боку, дає можливість виробникам відстежувати роботу своїх виробів на протязі довгого часу, що має безперечні переваги у відношенні збільшення як прибутковості, так і терміну служби. Проте першою співпрацювати з RENFE у даній сфері почала компанія Siemens. Спільне підприємство Nertus Mantenimiento Ferroviario у Барселоні, створене у 2001 р., займається в першу чергу технічним обслуговуванням приміських електропоїздів серій 447 та 450. Siemens та RENFE взаємно зацікавлені у розширенні співпраці. Компанія отримала та виконала велике замовлення на постачання 16 високошвидкісних електропоїздів серії AVE S 103 (Velaro E) для лінії Мадрид-Барселона.

Зараз Nertus виконує половину об'єму робіт з технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, виготовленого компанією Siemens для Іспанії, включаючи поїзди AVE S 103. Ролі розподілені наступним чином: виробник відповідає за технічні питання, а оператор надає кошти; при цьому знання однієї сторони поєднуються з практичним досвідом іншої.

Стратегія технічного обслуговування у компанії побудована переважно у відповідності до фактичного стану обладнання та передбачає різний підхід до виконання окремих операцій. Так, передбачена перевірка компонентів обладнання з метою встановлення терміну їх служби в залежності від умов використання при послідовній оптимізації витрат на обслуговування, системній оптимізації обладнання та урахуванню факторів, що викликають зношення. Превентивне технічне обслуговування з урахуванням фактичного стану є ключовим інструментом проекту з обслуговування поїздів Velaro E. При цьому передбачена регулярна фіксація стану окремих компонентів та груп обладнання, що дає

можливість використовувати ці дані для прогнозування експлуатаційної надійності.

Отже залізничні оператори та компанії розвинених країн Європи та Північної Америки застосовують різні підходи у стратегії технічного обслуговування та ремонту рухомого складу. Однак більшість операторів орієнтуються на моніторинг технічного стану та планують заходи з технічного обслуговування та ремонту за його результатами.

1.5 Аналіз існуючих та перспективних організаційних форм локомотиворемонтних виробництв

Організаційна структура управління підприємством займає важливе місце серед усіх складових елементів що визначають успішність його функціонування [67, 68]. Організаційною структурою називається структура, що відображає сукупність взаємозв'язків різних елементів, що функціонують для досягнення єдиної мети. Структура виробничої системи, наприклад підприємства, являє собою сукупність структури виробництва і структури управління.

Довгий час ремонт локомотивів залізниць України проводився відомчими підприємствами з типовою виробничою та організаційною ієрархічною структурою. Основні вимоги до них викладені в ряді державних та галузевих нормативних документів розробки 70-80-х років минулого століття [69, 70] і були, що цілком слушно, орієнтовані на умови планової економіки в період екстенсивного її розвитку [71].

Концепцію ієрархічної організаційної структури сформулював німецький соціолог Макс Вебер, який розробив нормативну модель раціональної бюрократії [72]. Вона включала такі принципи:

- чіткий розподіл праці, що обумовлює необхідність залучення кваліфікованих фахівців на кожній посаді;
- ієрархія управління, за якої нижчий рівень підпорядковується і контролюється керівництвом;
- доступність офіційних правил та норми, що забезпечують однаковість виконання керівниками своїх завдань та обов'язків;
- дух формальної знеособленості, з якою чиновники виконують свої обов'язки;
- здійснення найму у відповідно кваліфікаційних вимог до кожної посади.

Об'єктивний характер управлінських рішень є гарантом раціональності такої структури.

Ієрархічний тип структури має багато видів, але найпоширенішим є лінійно-функціональна організація управління, яка досі широко використовується розповсюджена в різних організаціях світу.

Організаційна система управління АТ «Укрзалізниця» на рівні галузі представлена комбінованою організаційною структурою, що синтезована у багаторівневі, ієрархічні територіально-галузеві структури із складними наскрізними схемами взаємозв'язків і підпорядкування. Вона реалізовується шляхом поєднання лінійно-функціональної та лінійно-штабної організаційних структур [73].

В основі лінійних функціональних структур лежить так званий "шахтний" принцип побудови та спеціалізації процесу управління на функціональних підсистемах організації (маркетинг, виробництво, дослідження та розробки, фінанси, персонал тощо). Для кожного з них формується ієрархія служб. Саме цей принцип реалізовано в організаційних структурах виробничих підрозділах АТ «Укрзалізниця».

Утворення великої кількості приватних структур з ремонту локомотивів та їх окремих вузлів в теперішній час відбувається як правило

особами, що мають значний досвід роботи в державних структурах залізниці. Природно що під час організації окремих компаній, ними копіюється і лінійно-функціональна організаційно-виробнича структура.

Багаторічний досвід [68, 74, 75] використання лінійно-функціональних структур управління показав, що вони найбільш ефективні там, де робота апарату управління пов'язана із рутинними завданнями та функціями, які часто повторюються і рідко змінюються. Вони поширені в управлінні організаціями з масовим або багатосерійним типом виробництва, та в господарських механізмах затратного типу, де виробництво найменш чутливе до прогресу в науці і техніці. За такої організації управління виробництвом підприємство може успішно функціонувати лише в тому випадку, коли зміни у всіх структурних підрозділах відбуваються рівномірно. Але реальні умови майже завжди мають динамічний характер, що призводить до неадекватної реакції системи управління на їх зміни.

Ситуація погіршується також внаслідок втрати гнучкості у відносинах працівників апарату управління через застосування офіційних правил та процедур. Як результат, складність і сповільнення передачі інформації, що негативно впливає на швидкість і своєчасність прийняття управлінських рішень. Потреба в координації дій різних функціональних служб різко збільшує обсяг роботи керівника організації і його заступників, тобто вищого ешелону управління.

Недоліки лінійно-функціональної структури управління на практиці посилюються такими умовами функціонування, що допускають невідповідність відповідальності та повноважень керівникам різних рівнів та підрозділів:

- перевищуються норми управління, особливо керівників та їх заступників;
- формуються ірраціональні інформаційні потоки;

- надмірно централізується оперативне управління виробництвом;
- не враховується специфіка роботи різних підрозділів;
- відсутність необхідного для цього типу структури нормативних документів.

Схожі характеристика має і лінійно-штабна структура управління, яка також передбачає функціональний розподіл управлінської роботи в штабних службах на різних рівнях. Основним завданням лінійних керівників є координація дій функціональних служб (підрозділів) та спрямування їх у напрямку спільних інтересів організації.

Різновидом ієрархічного типу організації управління є також дивізійна структура, розвиток якої починається з 1920-х років, а пік практичного використання припадає на 60-70-ті роки минулого століття [76, 77].

Цей тип структури характеризується поєднанням централізованої координації з децентралізованим управлінням (децентралізація із збереженням функцій координації та контролю). Ключові фігури в управлінні організаціями з дивізійною структурою це менеджери виробничих підрозділів а не керівники функціональних підрозділів.

Структуризація організації за виробничими підрозділами здійснюється, як правило, за трьома критеріями: по продукції, що випускається або послугах що надаються. по орієнтації на споживача та по територіям що обслуговуються. Такий підхід дозволяє забезпечити більш тісний зв'язок організації із споживачами та суттєво прискорює його реакції на зміни зовнішніх умов.

В результаті розширення меж оперативно-господарчої самостійності, виробничі підрозділи розглядаються як «центри прибутку» які активно використовують отриману свободу для підвищення ефективності роботи [75].

Водночас в дивізійних структурах управління зростає ієрархічність, тобто вертикаль управління, в них з'являється потреба у проміжних рівнях менеджменту для координації роботи підрозділів, відділень і т.д. Дублювання функцій управління на різних рівнях зрештою призвели до зростання витрат на утримання управлінського апарату.

Ряд модифікацій ієрархічних структур, які використовувались в різних країнах так і не дозволив вирішити проблему координації координації функціональних ланок по горизонталі, підвищення відповідальності і розширення повноважень керівників низових і середніх рівнів, звільнення вищого ешелону від оперативного контролю [78]. Що обумовило актуальність пошуку та переходу до більш гнучких структур, краще пристосованим до динамічних змін і вимог виробництва.

Тип структури управління, що характеризується індивідуальною відповідальністю кожного працівника за загальний результат називається органічним [79, 80]. Він відкидає необхідність в детальному поділі праці за видами робіт і формує такі відносини між учасниками процесу управління, які диктуються не структурою, а характером вирішуваної проблеми. Головною властивістю таких структур, відомих в практиці управління як гнучкі і адаптивні, є властива їм можливість порівняно легко міняти свою форму, пристосовуватися до нових умов, органічно вписуватися в організаційну систему управління. Ці структури орієнтуються на прискорену реалізацію складних проектів і програм в рамках великих підприємств і об'єднань, цілих галузей і регіонів. Як правило, вони формуються на тимчасовій основі, зокрема на період реалізації проекту, програми, рішення певної проблеми чи досягнення поставлених цілей.

Органічний тип на відміну від ієрархічного являє собою децентралізовану організацію управління, для якої характерні:

- відмова від формалізації і бюрократизації процесів і відносин;
- скорочення числа ієрархічних рівнів;

- високий рівень горизонтальної інтеграції між персоналом;
- орієнтація культури взаємин на кооперацію, взаємну інформованість і самодисципліну.

Різновидами органічного типу структур є проектні, матричні, програмно-цільові, бригадні форми організації управління.

Проектні структури формуються під час розробки організацією проектів, що можуть включати будь-які процеси цілеспрямованих змін в системі, наприклад, модернізація виробництва, освоєння нових виробів або технологій, будівництво об'єктів, тощо.

Матрична структура являє собою ґратчасту організацію, побудовану на принципі подвійного підпорядкування її виконавців: з одного боку - безпосередньому керівнику служби, що надає персонал і технічну допомогу проекту, з іншого - керівнику проекту (цільової програми), який наділений необхідними повноваженнями для управління відповідно до запланованих термінів, ресурсами і якістю. За такої організації керівник проекту взаємодіє з двома групами підлеглих: з постійними членами проектної групи та іншими працівниками функціональних відділів, що підпорядковуються йому тимчасово за обмеженим колом питань. При цьому їх підпорядкування безпосереднім керівникам підрозділів, відділів, служб зберігається.

Перехід до матричних структур як правило охоплює не всю організацію, а лише її частину, при цьому її успіх в значній мірі залежить від того, наскільки керівники проектів володіють фаховими якостями менеджерів і можуть виступати в проектній групі лідерами. Масштаби застосування матричних структур в різних організаціях досить значні, що вказує на їхню ефективність.

Незважаючи на певні недоліки і складності, матричні структури отримали поширення в багатьох організаціях, що належать до різних галузей. Основною причиною цього є те, що матрична структура дозволяє

організаціям скористатися перевагами, які властиві функціональним і дивізійним структурам, та досягти більш високих показників у роботі над складними видами продукції, що вимагають творчого підходу [78, 80].

При бригадному типі організаційної структури істотно змінюються вимоги до кваліфікації робітників: основна перевага надається персоналу з універсальними знаннями і навичками, бо тільки вони можуть забезпечити взаємозамінність і гнучкість у випадку зміни завдань, що виконуються. Тому в бригадах значно поширюються функції робітників і підвищується їхня кваліфікація в результаті освоєння ряду спеціальностей і професій та більш повного розвитку можливостей. Поєднання колективної і індивідуальної відповідальності за якість роботи, її кінцевий результат різко знижує потребу жорсткого контролю ззовні. Внаслідок чого змінюються умови оплати праці, що спрямовані передусім на стимулювання економічно вигідного співробітництва в бригаді та підвищення зацікавленості в зростанні прибутків і доходів. Для цього в бригадах вводяться гнучкі системи, що передбачають пряму залежність між рівнем заробітної плати кожного члена бригади та загальними результатами.

Отже сучасний етап розвитку залізничного транспорту, поява на ринку приватних операторів як експлуатації так і ремонту локомотивів висувають нові вимоги до формування організаційних структур управління підприємствами. В сучасних складних умовах зміни в організаційних структурах управління мають бути направлені на виживання підприємств за рахунок більш раціонального використання ресурсів, зниження витрат і більш гнучкого пристосування до вимог зовнішнього середовища. З цією метою стратегічними напрямками змін мають бути швидкість обробки і отримання інформації, необхідної для прийняття рішень; використання інформаційних технологій, що спрощує не тільки вирішення проблем, але і

всю систему взаємодій, необхідних в процесі розробки і реалізації управлінських рішень.

1.6 Висновки до розділу 1

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%). Новий рухомий склад залізниць також характеризується недостатньою надійністю, що викликається як конструктивними недоліками так і недостатньою технологічною підготовкою ремонтних виробництв.

2. Аналіз технічного стану локомотивних депо, які здійснюють ремонт локомотивів показує, що їх матеріальна база залишається на рівні 60 - 80 років минулого століття. Моральне та фізичне старіння основного технологічного та діагностичного обладнання, вимірювального інструменту призводить до погіршення його характеристик, частих виходів з ладу, руйнувань. Більшість підприємств відчуває брак у конструкторській та технологічній документації, кваліфікованих кадрах. Складним питанням на залізниці є функціонування системи постачання запасних частин та матеріалів. З одного боку брак коштів не дозволяє здійснювати постачання запасних частин та матеріалів в повному обсязі, що відповідає вимогам технологічних процесів. З іншого боку якість запасних частин і матеріалів не завжди відповідає встановленим вимогам.

3. На сьогоднішній день стосовно стратегії технічного обслуговування і ремонту локомотивів в господарстві склалися суттєві

протиріччя. З одного боку експлуатація локомотивів, що вичерпали ресурс, низький рівень ремонтних виробництв та недостатні обсяги постачання запасних частин і матеріалів перетворили встановлену стратегію ППР в стратегію за відмовою (по причині великої кількості непланових ремонтів та постійної потреби у понадциклових роботах під час планових ремонтів). Численні дослідження доводять, що така ситуація викликає збільшення витрат на утримання та ймовірності відмов в експлуатації. З іншого боку наявні альтернативні підходи не впроваджуються у виробництво. Частково це можна пояснити тим, що впровадження альтернативних підходів в будь-якому випадку пов'язане із фінансовими витратами. Отже, протиріччя які склались, підтверджують актуальність подальших досліджень в цьому напрямку.

4. Залізничні оператори та компанії розвинених країн Європи та Північної Америки застосовують різні підходи у стратегії технічного обслуговування та ремонту рухомого складу. Однак більшість операторів орієнтуються на моніторинг технічного стану та планують заходи з технічного обслуговування та ремонту за його результатами.

5. Сучасний етап розвитку залізничного транспорту, поява на ринку приватних операторів як з експлуатації так і ремонту локомотивів висувають нові вимоги до формування організаційних структур управління підприємствами. В складних умовах зміни в організаційних структурах управління мають бути направлені на виживання підприємств за рахунок більш раціонального використання ресурсів, зниження витрат і більш гнучкого пристосування до вимог зовнішнього середовища. З цією метою стратегічними напрямками змін мають бути швидкість обробки і отримання інформації, необхідної для прийняття рішень; використання інформаційних технологій, що спрощує не тільки вирішення проблем, але і всю систему взаємодій, необхідних в процесі розробки і реалізації управлінських рішень.

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ

2.1 Основні передумови впровадження інтелектуальних технологій у виробництві

Концепція постіндустріальної економіки поступово втрачає свою актуальність [81]. Аналіз сучасних економічних тенденцій свідчить, що розвинені країни світу почали орієнтувати розвиток економік в напрямку неоіндустріалізації шляхом відродження промисловості на основі сучасних високих технологій.

В якості головного орієнтиру промислового розвитку провідні країни визначають четверту промислову революцію (Індустрія 4.0). Її концепція вперше була представлена в Німеччині робочою групою, що складалась із вчених та відомих політичних і економічних діячів [82]. Вони визначили її як засіб підвищення конкурентоспроможності промисловості через посилену інтеграцію кіберфізичних систем у виробничі процеси [83, 84]. У зв'язку з цим основним завданням промислового розвитку на сьогоднішній день є впровадження інтелектуалізаційних технологій в управління виробництвом.

Термін інтелектуальне підприємство вперше був використаний в книзі Джеймса Брайана Куїнна (James Brian Quinn) *Intelligent Enterprise*, у 1992 р. [85]. Концепція, сформульована Квінном, стверджує, що основним ресурсом у виробництві та наданні послуг є інтелект. Книга описує відповідний підхід до управління і обчислювальну інфраструктуру, необхідну для ефективного використання інтелекту. Такий підхід в подальшому отримав назву "управління знаннями" (knowledge management).

Основними ознаками інтелектуалізації підприємства за Дж. Б. Куїнном є інтенсивна генерація, розробка, використання знань і технологій для виробництва товарів і послуг, що є ключем до конкурентоспроможності підприємства в епоху глобалізації.

Аналіз показників розвитку промислових підприємств в Україні в контексті інтелектуалізації свідчить, що модернізація промислових підприємств у напрямі Індустрії 4.0 залежить від внутрішніх і зовнішніх чинників [86, 87, 88].

Внутрішні чинники: організаційні, економічні, виробничі, трудові, маркетингові, фондові, та інші, що пов'язані з використанням усіх видів ресурсів, необхідних підприємству для здійснення своєї діяльності, та є підконтрольними йому. Дані чинники є сферами модернізації в напрямі інтелектуалізації.

Зовнішні чинники, непідконтрольні підприємству, частково регулюються державою, обумовлені глобальними процесами, розвитком суспільства, попитом, тенденціями і трендами.

Характерною особливістю більшості підприємств промисловості та транспорту України є те, що їх формування та становлення відбувалось за радянських часів і їх теперішній час характеризується значним моральним та фізичним зношенням основних фондів. А підвищення їх рівня до відповідності сучасним викликам пов'язано із збільшеним витратами на оновлення та модернізацію.

Інтелектуалізація має охоплювати всі напрями діяльності підприємства та повинна мати чітку мету: модернізація підприємства в напрямі сучасних технологічних реалій (Індустрії 4.0), підвищення інтелектуальної складової виробництва, виготовленої продукції, наданих послуг (складності, інноваційності, використаних ноу-хау) з метою збільшення прибутку і набуття стійких конкурентних переваг на

внутрішньому і зовнішньому ринках. За [86] процес інтелектуалізації підприємства має ряд складових (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Основні складові процесу інтелектуалізації підприємства

Формування інтелектуального підприємства передбачає як стратегічні і структурні інновації, так і зміни в організаційній поведінці і еволюції. Інтелектуальне підприємство досягає своїх цілей як шляхом реалізації своїх планів і стратегій в діях окремих співробітників, так і завдяки відповідній організаційній структурі і поведінці. Зокрема, воно може утворюватись із взаємодіючих організацій як плюралістична організація (що припускає наявність кількох центрів прийняття рішень,

зіткнення конкуруючих точок зору і суперництво постачальників товарів) [89].

Згідно робіт [90-94], організаційний інтелект підприємства визначається такими показниками як:

- сукупний досвід підприємства (накопичення, систематизація та збереження корпоративних знань, створення великих розподілених баз знань, організація стандартів на знання, управління знаннями);
- системна одиниця підприємства (яка зберігає його основні властивості як цілого, наприклад, фрактал [95], холон або агент [92, 93]);
- структура підприємства (мережева, відкрита, самоорганізована, чи така, що самооновлюється);
- зв'язки (горизонтальні, координаційні, гнучкі, змінні);
- поведінка підприємства (активна, цілеспрямована, кооперативна поведінка, що заснована на екстремальних принципах, з пріоритетом координаційних стратегій над конкурентними стратегіями);
- розвиток підприємства (еволюційна адаптація - гнучке пристосування до динамічного зовнішнього середовища, взаємна адаптація і координація дій партнерів, колективне навчання);
- управління (дуальне децентралізовано-централізоване);
- комп'ютерні технології (наявність розвинених інтелектуальних технологій, що забезпечують гнучку і ефективну взаємодію підприємства з замовниками та підрядниками, вільну циркуляцію знань);
- історія і культура підприємства.

Таким чином, можливі різні шляхи розвитку організаційного інтелекту, і, обираючи різні комбінації вищевказаних характеристик, можна визначити різні варіанти інтелектуальних підприємств. Але в цілому, інтелектуальну поведінку організації на пряму пов'язане з його здібностями відображати і прогнозувати кон'юнктуру ринку, потреби клієнтів і наміри конкурентів, усвідомлювати і контролювати свої мотиви,

управляти знаннями. Воно спирається на принцип необхідної різноманітності стратегій організаційного розвитку (наприклад, стратегій отримання конкурентних переваг, стратегій об'єднань або альянсів з партнерами і конкурентами) і використовує різні механізми пошуку, навчання, адаптації, еволюції. Очевидно, що здатність до навчання і самонавчання є ключовими властивостями інтелекту як складної, відкритої, динамічної системи [93].

Отже забезпечення конкурентоспроможності підприємств в сучасних умовах можливе тільки за рахунок їх розвитку в напрямку Індустрії 4.0. Інтелектуалізація підприємств є одним із найвагоміших інструментів їх переходу на сучасний технологічний рівень з метою збільшення прибутку і набуття конкурентних переваг на ринках.

2.2 Концепція інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів

Введемо визначення, що система ремонту локомотивів це сукупність спеціалізованих організацій, нормативної технічної документації, технологічних засобів та персоналу для проведення ремонту локомотивів.

Інтелектуалізація системи ремонту локомотивів представляє собою створення єдиного інформаційного простору, що дозволяє тісно взаємодіяти її підсистемам та елементам і оперативно адаптуватись до змін зовнішнього середовища.

Цей підхід визначає можливість створення такої системи управління, яка б дозволила в умовах існуючого підприємства досягти максимальної ефективності роботи, шляхом реалізації прихованих можливостей і використання додаткових ресурсів підвищення продуктивності.

В [96] відзначається, що на відміну від інтелектуалізованих систем в основу звичайних АСУ покладено принцип перекладу окремих складових,

пов'язаних з управлінням і виконанням бізнес-процесів, на комп'ютерні рейки, включаючи додаткові підпроцеси оптимізації використовуваних ресурсів і виконуваних робіт. Це стає можливим в силу використання формальних описів існуючих процесів. Не кажучи вже про те, що ефективно може бути проконтрольована власне процес управління, включаючи перевірку використовуваних матеріалів і обладнання.

Використання графіки, що становить частину інформації, яка аналізується, дає можливість керуючому обробляти більший обсяг інформації в умовах застосування стандартного людського управління, орієнтованого на числові дані. Але такі АСУ мають і недоліки, перш за все, пов'язані з деякою постійністю моделі програмного забезпечення і його старіння, з недостатньою структуризацією складових, з неможливістю врахування багатьох змінних факторів сучасного світу, починаючи зі зміни ситуації, пов'язаної з використанням ресурсів, і закінчуючи постійним розвитком технологій, нових матеріалів, коливаннями численних факторів економічної структури та іншими факторами, що впливають на підприємство, галузь і країну в цілому.

Натомість інтелектуальна система підприємства повинна всередині відстежувати зміни бізнес-процесів, необхідність заміни чи придбання необхідного обладнання, зміни технологій, стану індивідуальних виконавців, забезпечення виконання бізнес-процесів. У зовнішньому середовищі відслідковуються тенденції і ситуації, пов'язані із забезпеченням процесів, які виконуються на підприємстві, зміни в глобальному економічному просторі, поява нових технологій, матеріалів, потреб в продуктах, що випускаються підприємством.

Таким чином, в існуючу систему управління вводяться додаткові завдання, які визначаються інтелектуалізацією системи управління. Ці завдання не пов'язані безпосередньо з бізнес-процесами виробництва. Вони визначають саме інтелектуальну складову системи управління.

Ядром інтелектуалізованої системи (ІС) локомотиворемонтного виробництва повинен стати програмно-апаратний комплекс, що дозволяє аналізувати інформацію, яка надходить в режимі реального часу, виявляти відхилення встановлених параметрів, формувати варіанти дій, що управляють і виробляють оптимальні рішення, а в деяких випадках і реалізовувати ці рішення з дозволу людини. В процесі розробки концепції ІС ремонту локомотивів, була сформована архітектура інформаційної взаємодії основних стейкхолдерів процесу ремонту (рисунок 2.2).

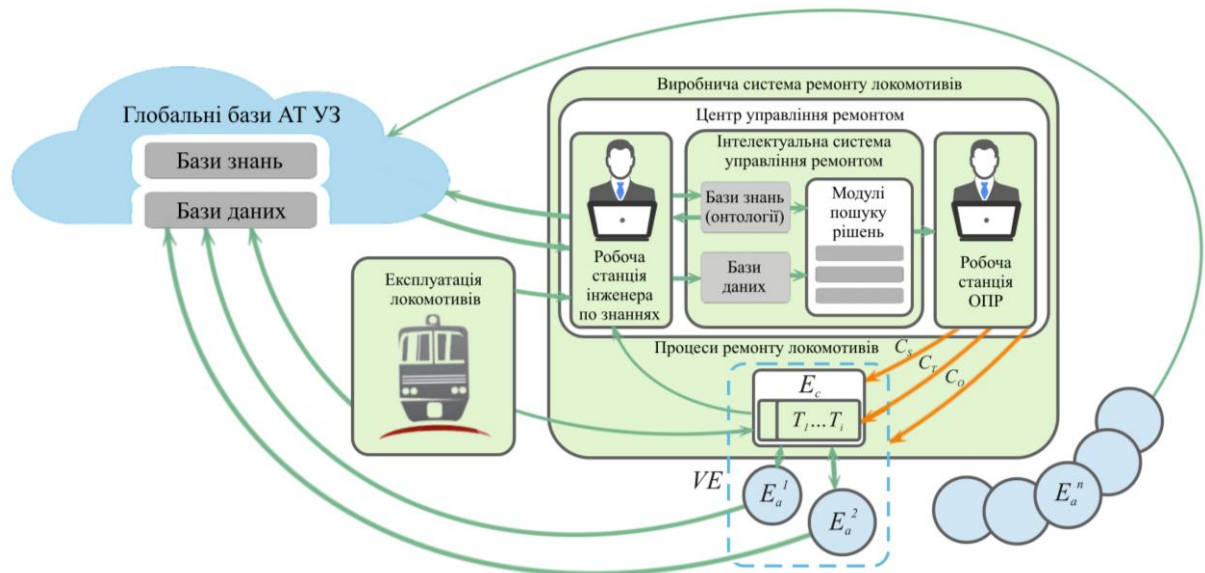


Рисунок 2.2 - Концептуальний склад адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів

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_{an} 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.

Ефективність функціонування ІС багато в чому залежить від повноти і несуперечності знань, а також від властивостей моделі подання знань в базі знань.

2.3 Дослідження функціонування виробничої системи ремонту локомотивів на основі нечіткої когнітивної моделі

Ремонтне виробництво локомотивів базується на складових: стратегія, організація та технологія ремонту. Кожне з цих складових впливає на кінцевий результат процесу ремонту. Визначення кількісної оцінки взаємного впливу її складових на принципах системного підходу дозволить підвищити ефективність управління виробничою системою ремонту локомотивів.

Складність процесу управління такою системою обумовлена низкою її характеристик:

- багатofакторність і взаємопов'язаність її процесів, через що неможливо відокремлення та детальне дослідження окремих явищ – всі події системи повинні розглядатися в сукупності;

- відсутність достатньої кількісної інформації про динаміку процесів, що змушує переходити до якісного аналізу таких процесів;
- мінливість характеру процесів в часі і т. д.

Системи з такими характеристиками є слабоструктурованими, їх аналіз та моделювання традиційними методами пов'язаний зі складністю і низькою ефективністю.

В даний час в ряді областей науки та інформаційних технологій для дослідження слабоструктурованих систем активно використовується когнітивне моделювання [97 – 101].

Відповідно до визначень в [102, 103], даний підхід орієнтований на розробку формальних моделей і методів, що підтримують інтелектуальний процес рішення проблем завдяки врахуванню в цих моделях і методах когнітивних можливостей (сприйняття, уявлення, пізнання, розуміння, пояснення) людини при вирішенні управлінських задач. Методи структурно-цільового і імітаційного моделювання систем на основі когнітивного підходу прийнято об'єднувати під загальним терміном «когнітивне моделювання». У загальному вигляді під когнітивним моделюванням розуміється дослідження структури системи і процесів її функціонування і розвитку шляхом аналізу її когнітивної моделі.

В якості математичного апарату, що застосовується для побудови когнітивних моделей та лежить в основі методів їх аналізу, найчастіше використовується нечітка логіка. Завдяки цьому виник цілий клас когнітивних моделей, заснований на різних типах нечітких когнітивних карт.

У загальному випадку когнітивна модель заснована на формалізації причинно-наслідкових зв'язків, які мають місце між факторами, що характеризують досліджувану систему та описується кортежем

$$\langle G(C, R), \Psi, X(0) \rangle \quad (2.1)$$

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 ;

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

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

Концепти можуть задавати як відносні (якісні) характеристики досліджуваної системи, такі як надійність, технологічність, так і абсолютні, вимірні величини - час, трудомісткість та інші. При цьому з кожним концептом c_i зв'язується змінна стану v_i , яка задає значення відповідного показника в певний момент часу. Змінні стану можуть набувати значень, що виражені в певній шкалі, в межах встановлених обмежень. Значення $v_i(t)$ змінної стану в момент часу t називається станом концепту c_i в даний момент часу. Таким чином, стан системи в будь-який момент часу описується станом всіх концептів, що входять в її когнітивну карту.

Концепти c_i і c_j вважаються пов'язаними відношенням R (позначається $(c_i, c_j) \in R$ або $c_i R c_j$), якщо зміна значення концепту c_i (причини) призводить до зміни значення концепту c_j (наслідку). У цьому випадку говорять, що концепт c_i впливає на концепт c_j . При цьому якщо збільшення значення змінної стану концепту-причини призводить до збільшення значення змінної стану концепту-наслідку, то вплив вважається позитивним, якщо ж значення зменшується - негативним. Тим самим, відношення R можна представити у вигляді об'єднання двох підмножин, що не перетинаються

$$R=R^+ \cup R^- \quad (2.2)$$

де R^+ - множина позитивних зв'язків;

R - множина негативних зв'язків.

Нечітка когнітивна модель базується на припущенні про те, що впливи між концептами можуть відрізнятися за інтенсивністю, при цьому інтенсивність може бути постійною чи змінною в часі. Для врахування цього, R задається як нечітке відношення, при цьому спосіб його завдання залежить від обраного підходу формалізації причинно-наслідкових зв'язків. Когнітивна карта з нечітким відношенням R називається нечіткої когнітивної картою. Вона характеризується наступними особливостями:

1. Змінні стану концептів можуть набувати значень на відрізьку $[0; 1]$.
2. Інтенсивність взаємних впливів вважається постійним, а відношення R задається у вигляді набору чисел r_{ij} , що характеризують напрямки і інтенсивність (вагу) впливів між концептами c_i і e_j

$$r_{ij}=r(c_i, e_j) \quad (2.3)$$

де r – нормований показник інтенсивності впливу.

Нечітка когнітивна карта як правило наочно представляється у вигляді зваженого орієнтованого графа, вершини якого відповідають елементам множини C (концептів), а дуги - ненульовим елементам відношень R (причинно-наслідковим зв'язкам). Кожна дуга має вагу, що задається відповідним значенням r_{ij} . При цьому саме відношення R представляється у вигляді матриці розмірності $n \times n$ (де n - число концептів в системі), яка може розглядатися як матриця суміжності даного графа і називається когнітивною матрицею.

Процес когнітивного моделювання починається з побудови когнітивної карти системи що досліджується на основі інформації, одержаної від експертів або шляхом аналізу наявних статистичних даних.

В процесі побудови когнітивної карти виділяють два етапи: структурна ідентифікація (визначення множини концептів C та чіткого

відношення R на цій множині, тобто встановлення самого факту наявності зв'язків між концептами) та параметрична ідентифікація (перехід від чіткого відношення R до нечіткого, тобто визначення інтенсивностей впливу між концептами).

З метою визначення множини концептів S виробничої системи ремонту, її функціонування представлялось з точки зору процесного підходу [104 – 107] (рисунок 2.3).

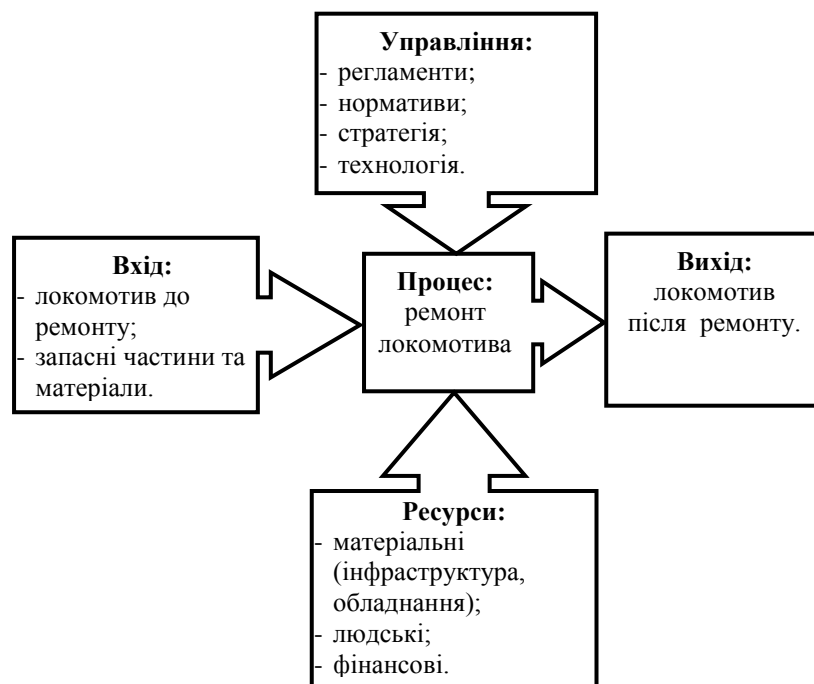


Рисунок 2.3 - Функціонування виробничої системи ремонту локомотивів на основі процесного підходу

Це дозволило виявити основні групи чинників, що обумовлюють функціонування процесу ремонту, та визначити концепти 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 .

Після визначення множини концептів, на основі експертних уявлень про виробничу систему ремонту, в когнітивну модель додавались зв'язки між концептами, та будувалась когнітивна карта (рисунок 2.4).

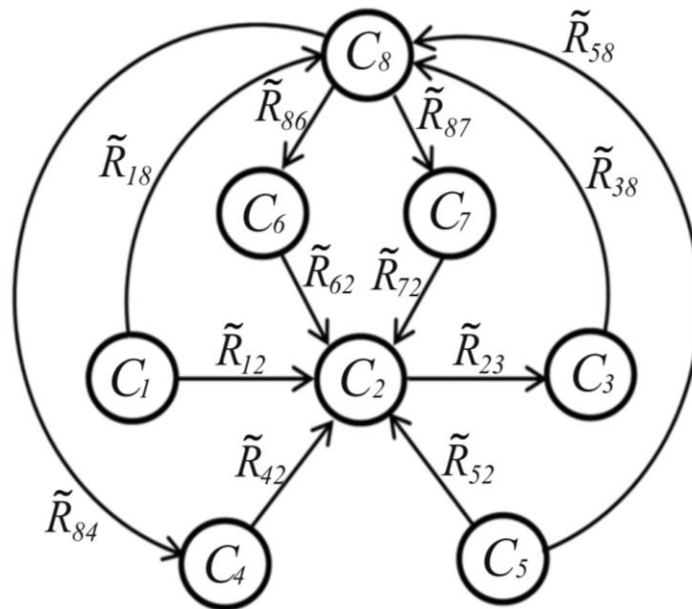


Рисунок 2.4 – Нечітка когнітивна карта функціонування виробничої системи ремонту локомотивів

Одним з найбільш важливих і при цьому найбільш складних етапів в процесі побудови нечіткої когнітивної карти є параметрична ідентифікація, тобто визначення ваги зв'язків (інтенсивностей впливу) між концептами. Існує кілька підходів параметричної ідентифікації когнітивних карт, що базуються на експертній чи статистичній інформації [103, 108].

Оскільки основним джерелом інформації при побудові карти є експерти, то найбільш поширеними методами завдання ваг є експертні методи, які діляться на прямі і непрямі. Прямі методи передбачають безпосереднє (явне) завдання ваги експертом. Даний спосіб завдання ваг є найбільш простим, однак його використання призводить до зниження

обґрунтованості та адекватності результатів, що пояснюється високим ступенем суб'єктивності призначених оцінок [109 - 111].

Непрямі методи використовуються для зниження впливу суб'єктивізму у завданні ваг, і в їх основі лежить розбиття загальної задачі визначення ваг на ряд більш простих підзадач. В якості непрямих методів можуть застосовуватися методи побудови функцій належності дискретних нечітких множин: зокрема, метод парних порівнянь Сааті і метод множин рівня Ягера.

Під час застосування методу парних порівнянь [112] експерт попарно розглядає для обраного концепту всі безпосередньо пов'язані з ним концепти. У кожній парі визначається концепт, зв'язок з яким, на думку експерта, має більшу вагу. Таким чином формується матриця D (матриця парних порівнянь), де елемент d_{ij} показує, у скільки разів зв'язок з концептом c_i сильніше зв'язку з концептом c_j (тобто d_{ij} є формалізованою оцінкою переваги c_i перед c_j). Матриця парних порівнянь має властивості діагональності і зворотної симетричності. тобто: $d_{ii}=1$; $d_{ij}=1/d_{ji}$. Для формалізації оцінок d_{ij} використовується шкала, представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Шкала оцінок в методі парних порівнянь

Судження експерта	Елемент шкали
1	2
Однакова значимість (елементи c_i та c_j повинні мати однакові ступені належності)	1
Слабка перевага c_i над c_j	3
Сильна перевага c_i над c_j	5
Дуже сильна перевага c_i над c_j	7
Абсолютна (максимально можлива) перевага c_i над c_j	9
Проміжні значення	2, 4, 6, 8

Для побудови когнітивної карти застосовувалась система підтримки прийняття рішень (СППР) на основі нечітких когнітивних моделей «ИГЛА» [113, 114], що дозволяє в діалоговому режимі проводити парне порівняння концептів та перевіряти узгодженість експертних суджень (рисунок 2.5).

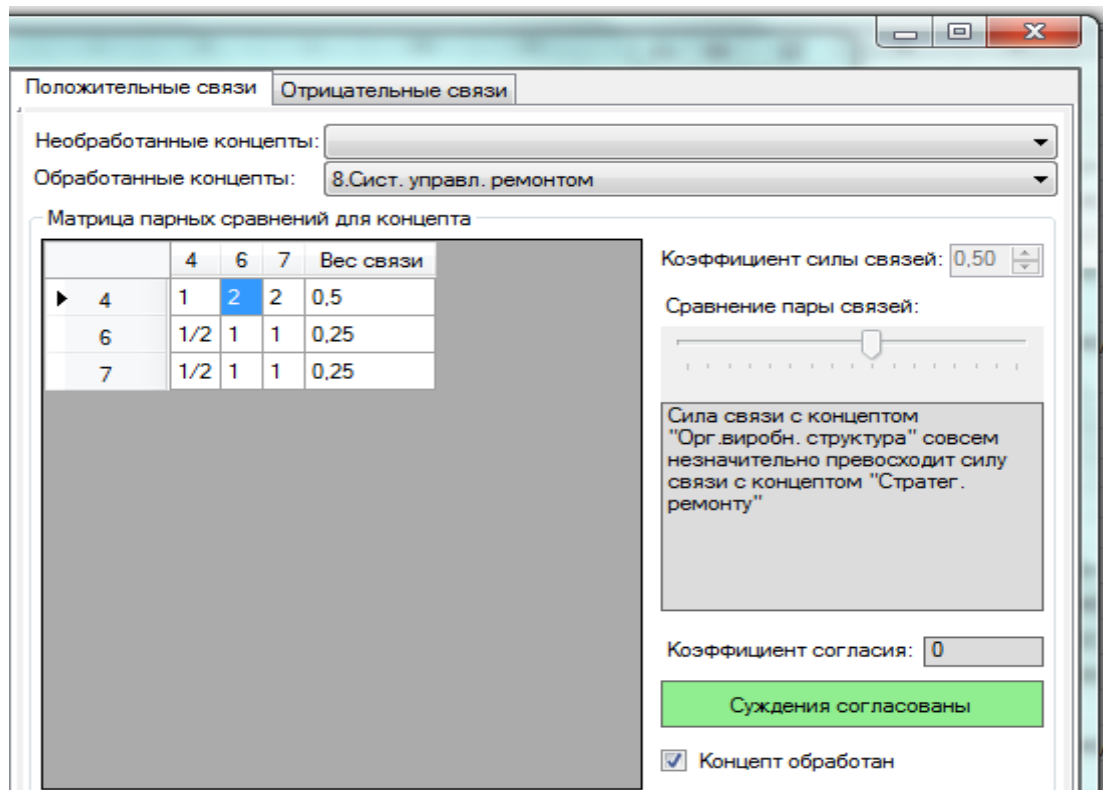


Рисунок 2.5 - Діалогове вікно програмного комплексу СППР для оцінки зв'язків між концептами системи

Вплив i -го концепту на систему та вплив системи на j -ий концепт визначаються за формулами:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{ij}, \quad (2.4)$$

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}, \quad (2.5)$$

де n – число концептів в системі;

p_{ij} – вплив i -го концепту на j -ий (тобто домінуючий за силою вплив між концептами)

$$p_{ij} = \text{sign}(z_{ij} + \bar{z}_{ij}) \max(|z_{ij}|, |\bar{z}_{ij}|), \quad |z_{ij}| \neq |\bar{z}_{ij}|, \quad (2.6)$$

$$\text{де } \text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x > 0, \\ 0, & \text{якщо } x = 0, \\ -1, & \text{якщо } x < 0. \end{cases}$$

Показник централізації впливу визначається як

$$I_i^P = P_i - \bar{P}_j. \quad (2.7)$$

Консонанс (показник, що визначає ступінь довіри до знаку та сили впливу) впливу i -го концепту на систему та консонанс впливу системи на j -ий концепт визначаються за формулами:

$$\bar{K}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij}, \quad (2.8)$$

$$\bar{K}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ij}, \quad (2.9)$$

де k_{ij} – консонанс впливу i -го концепту на j -ий.

$$k_{ij} = \frac{|z_{ij} - \bar{z}_{ij}|}{|z_{ij}| + |\bar{z}_{ij}|} \quad (2.10)$$

За наведеними формулами (2.4-2.10) обчислювались основні системні показники когнітивної карти (таблиці 2.2).

Таблиця 2.2 Основні системні показники когнітивної карти

Концепт	Вплив		Показник централізації впливу
	елемента на систему	системи на елемент	
Стан локомотива до ремонту	0,2688	0	0,2688
Ремонт локомотива	0,2375	0,3719	-0,1344
Стан локомотива після ремонту	0,1844	0,3875	-0,2031
Організаційна виробнича структура	0,175	0,2188	-0,0438
Технічний рівень виробництва	0,2688	0	0,2688
Стратегія ремонту	0,175	0,2188	-0,0438
Технологія ремонту	0,175	0,2188	-0,0438
Система управління ремонтом.	0,2563	0,325	-0,0688

На основі аналізу основних системних показників когнітивної карти функціонування виробничої системи ремонту, можна надати коротку характеристику найбільш значущих концептів.

Концепти «Стан локомотива до ремонту» та «Технічний рівень виробництва» здійснюють значний вплив на систему і в той же час вплив системи на них відсутній. Концепти є керуючими (вхідними).

Концепти «Ремонт локомотива» та «Стан локомотива після ремонту» піддаються максимальному впливу з боку системи, однак також

здійснюють суттєвий вплив і на систему. Концепт «Стан локомотива після ремонту» є цільовим (вихідним).

Концепти «Організаційна виробнича структура», «Стратегія ремонту», «Технологія ремонту» та «Система управління ремонтом» є найбільш збалансованими в системі. Вплив кожного з них в незначній мірі менший за вплив системи на них.

Показник консонансу впливу на систему всіх концептів дорівнює 1, що вказує на високу ступінь довіри до знаків та ступенів визначених впливів.

Проведений аналіз системних показників когнітивної карти дозволив виявити найбільш істотні фактори виробничої системи ремонту та ступеню їх впливу. Однак на практиці особливе значення набуває здатність оцінювати і прогнозувати ефективність процесів в часі шляхом застосування динамічних методів аналізу. В когнітивному моделюванні отримав поширення метод, заснований на дослідженні імпульсних процесів [115 - 117].

Метод використовується для прогнозування станів концептів в певні моменти часу. Стан i -го концепту в моменти часу t і $t+1$ визначається характером зовнішнього впливу (стану інших концептів) в дані моменти часу.

Зміна параметрів когнітивної карти в часі представляють в наступному вигляді

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j=1}^N r(c_i, c_j) \cdot \Delta x_j(t), \quad (2.11)$$

де $x_i(t)$ – значення i -го елемента в момент часу t до керуючого впливу;

$x_i(t+1)$ - значення i -го елемента після керуючого впливу в момент часу (t_0+1) після керуючого впливу;

$r(c_i, c_j)$ – вага (сила) зв'язку між i -м та j -м елементом системи;

$\Delta x_j(t)$ – імпульсний приріст j -го керуючого елемента в момент часу t .

Застосування формули 2.9 передбачає, що відомі значення концептів в початковий момент часу та сформовані сценарії зовнішніх впливів (імпульсів).

Сценарії можуть моделюватись за трьома основними напрямками [118]:

- прогноз розвитку ситуації без всякого впливу на процеси (саморозвиток);
- прогноз розвитку ситуації з обраним комплексом заходів управління (пряма задача);
- синтез комплексу заходів для досягнення бажаної зміни стану системи (зворотна задача).

Для проведення моделювання задавались початкові значення концептів когнітивної моделі, що задаються значеннями лінгвістичної змінної в діапазоні від 0 до 1 (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Характеристики множини концептів виробничої системи ремонту локомотивів

Позначення	Назва	Тип	Початкове значення
C_1	Стан локомотива до ремонту	Керуючий	Середній
C_2	Ремонт локомотива	Некеруючий	Середній
C_3	Стан локомотива після ремонту	Ціловий	Середній
C_4	Організаційна виробнича структура	Некеруючий	Середній
C_5	Технічний рівень виробництва	Керуючий	Середній
C_6	Стратегія ремонту	Некеруючий	Середній
C_7	Технологія ремонту	Некеруючий	Середній
C_8	Система управління ремонтом.	Некеруючий	Середній

Зважаючи на те, що для моделі функціонування виробничої системи ремонту обрано два керуючих концепти, сценарії динамічного моделювання формувались таким чином, щоб врахувати найбільш ймовірні варіанти їх поєднання (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 - Сценарії динамічного моделювання функціонування виробничої системи ремонту локомотивів

Сценарії	C_1	C_5
1	2	3
1.1	Низький	Високий
1.2	Нижче середнього	
1.3	Середній	
1.4	Вище середнього	
1.5	Високий	
2.1	Середній	Низький
2.2		Нижче середнього
2.3		Середній
2.4		Вище середнього
2.5		Високий

Аналіз результатів моделювання за різних сценаріїв показує: за значення концепту C_5 – «Високий», концепт C_3 – досягатиме необхідних значень тільки за концепту C_1 – «Середній», «Вище середнього» та «Високий» (сценарії 1.3, 1.4, 1.5, рисунок 2.6). Тобто, локомотиворемонтне виробництво високого технічного рівня зможе в повному обсязі відремонтувати локомотив, що поступив в ремонт з технічним рівнем не нижче середнього.

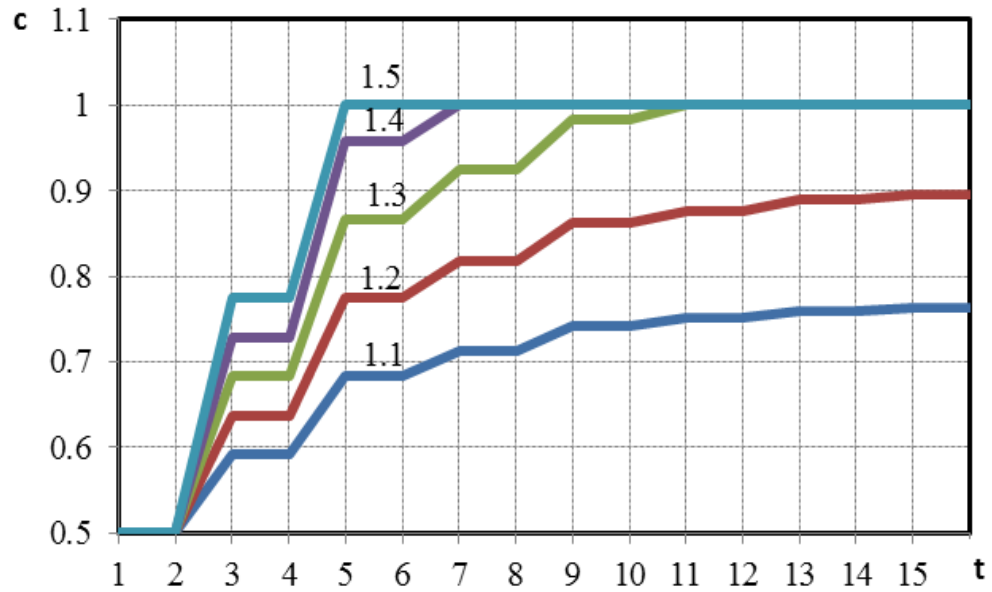


Рисунок 2.6 - Динаміка зміни значень концепту C_3 за сценаріями 1.1-1.5

А за значенням концепту C_1 – «Середній», концепт C_3 – досягатиме необхідних значень тільки за концепту C_5 – «Високий» (сценарії 2.5, рисунок 2.7). Тобто, надходження в ремонт локомотива з технічним рівнем «Середній» для усунення всіх несправностей можливе тільки в локомотиворемонтне виробництво високого технічного рівня.

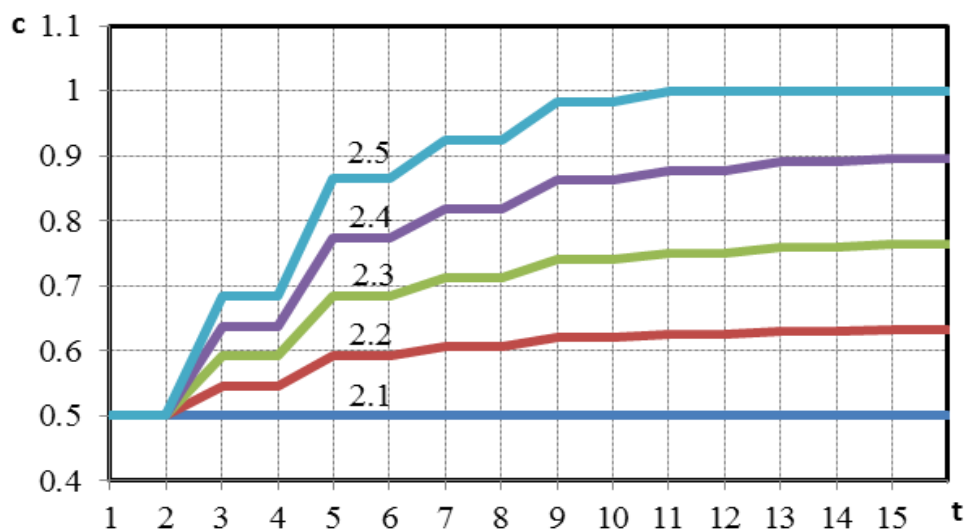


Рисунок 2.7 - Динаміка зміни значень концепту C_3 за сценаріями 2.1-2.5

Результати зміни цільового концепту «Стан локомотива після ремонту» за різних умов на етапі насичення порівнювались також із залежністю коефіцієнта технічної готовності локомотива $K_{тг}$ від коефіцієнта оснащеності ремонтного виробництва $K_{д}$ (рисунок 2.8). Де 1 – концепт $C3$ при $C1$ - “Високий”; 2 – $K_{тг}$; 3 – концепт $C3$ при $C1$ - “Середній”.

Обчислене значення критерію Фішера не перевищує табличні значення ($1,85 < 4,28$), отже розроблену модель функціонування виробничої системи можна вважати адекватною.

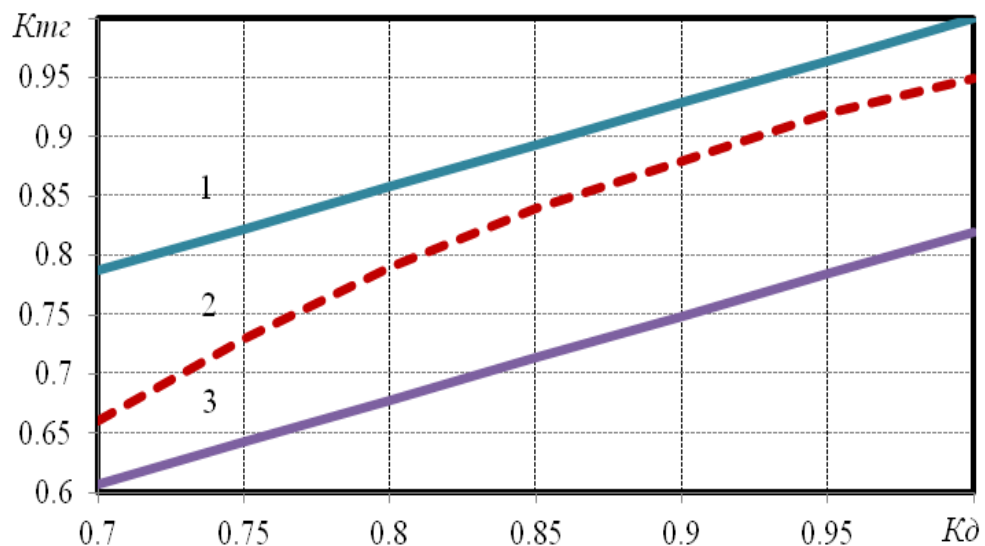


Рисунок 2.8 - Порівняння результатів моделювання із експериментальними даними

Отже 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.

2.4 Онтологічний підхід до систематизації знань системи ремонту локомотивів

В сучасних ІС основою бази знань, її каркасом, як правило, є онтології. Їх побудова - найбільш відповідальний і складний етап в розробці ІС. Онтології використовуються на всіх стадіях життєвого циклу ІС [119 - 122].

Термін "онтологія" вперше з'явився в роботі Томаса Грубера [123], в якій розглядалися різні аспекти взаємодії інтелектуальних систем між собою і з людиною. Інтелектуальними системами називаються програми, які моделюють деякі аспекти інтелектуальної діяльності людини. Звичайно, будь-яка програма займається таким моделюванням в тій чи іншій мірі, адже саме в цьому і полягає цінність комп'ютера для людини - комп'ютерна система дозволяє звільнити людину від виконання якоїсь однотипної діяльності. У цьому сенсі знання, які закладає в програму її творець (тобто алгоритм цієї програми), завжди статичні, вони не змінюються. Інтелектуальна система в цьому сенсі більш універсальна - в ній знання про те, що треба робити в процесі виконання програми, мають можливість оновлення. В такому разі ці знання необхідно передавати програмі як дані, тобто виникає необхідність їх опису. Ідея Грубера полягала в тому, щоб дозволити інтелектуальним системам обмінюватися між собою закладеними в них знаннями. Якщо всередині інтелектуальної системи знання про можуть бути закодовані як завгодно, то для обміну цими знаннями з іншого інтелектуальною системою необхідно надати опис цих знань. Цей опис має бути в достатній мірі формальним, щоб бути

зрозумілим іншій системі, а також повинна бути відомою мова цього опису. Крім того, опис має бути зрозуміло і людині. Для цього Грубер запропонував описувати знання двома способами:

- в канонічній формі, яка представляє собою опис знань на мові логіки предикатів (наприклад, у вигляді фактів мови Prolog).

- в формі онтології, яка представляє собою множину класів, пов'язаних між собою відношенням узагальнення (це зворотне відношення для відносини спадкування).

Тобто під час створення інтелектуальних систем доводиться враховувати такий поділ знань і придумувати якісь програмні інструменти для оперування цими знаннями [124, 125].

Складання опису декларативного знання зазвичай вимагає великої роботи і певних навичок. Для позначення цієї роботи, а також її результату, Грубер ввів спеціальний термін «концептуалізація». Опис він називав «специфікацією». Таким чином, онтологія по Груберу визначається як специфікація концептуалізації.

Для створення онтології було обрано інструментальний засіб Protégé OWL - це вільний, відкритий редактор онтологій для побудови баз знань. Protégé OWL заснований на фреймовій моделі представлення знання ОКВС (Open Knowledge Base Connectivity) та забезпечений рядом плагінів, що дозволяє його адаптувати для редагування моделей збережених в різних форматах (стандартний текстовий, в базі даних JDBC, UML, мов представлення знань XML, XOL, SHOE, RDF і RDFS, DAML + OIL, OWL) [126].

Цей проект передбачає створення потужного механізму семантичного аналізу. Мова OWL дозволяє описувати класи і відносини між ними, що дозволяє використовувати в подальшому, а саме в базах знань та прецедентах.

Робота в інструментарії Protégé починається з заповнення вкладки класів (Classes) та порожньої онтології, що містить єдиний клас з ім'ям Thing. Клас Thing - це клас, який представляє набір, що містить всі об'єкти предметної області. Всі створені класи будуть являтися підкласами Thing.

На початку створювався клас «Ремонтне виробництво». Визначення основних підкласів здійснювалось на основі [127, 128], та з урахуванням принципу «6M's+E», що отримав свою назву від перших літер відповідних слів англійською: Man; Machine; Method; Materials; Measurement; Management; Environment. Крім того враховувався досвід експертної групи по обстеженню локомотиворемонтних виробництв.

В результаті в якості основних концептів онтології ремонтного виробництва прийняті: *Виробниче середовище, Документація, Запасні частини та матеріали, Обладнання та інструмент, Персонал, Управління* (рисунок 2.9).

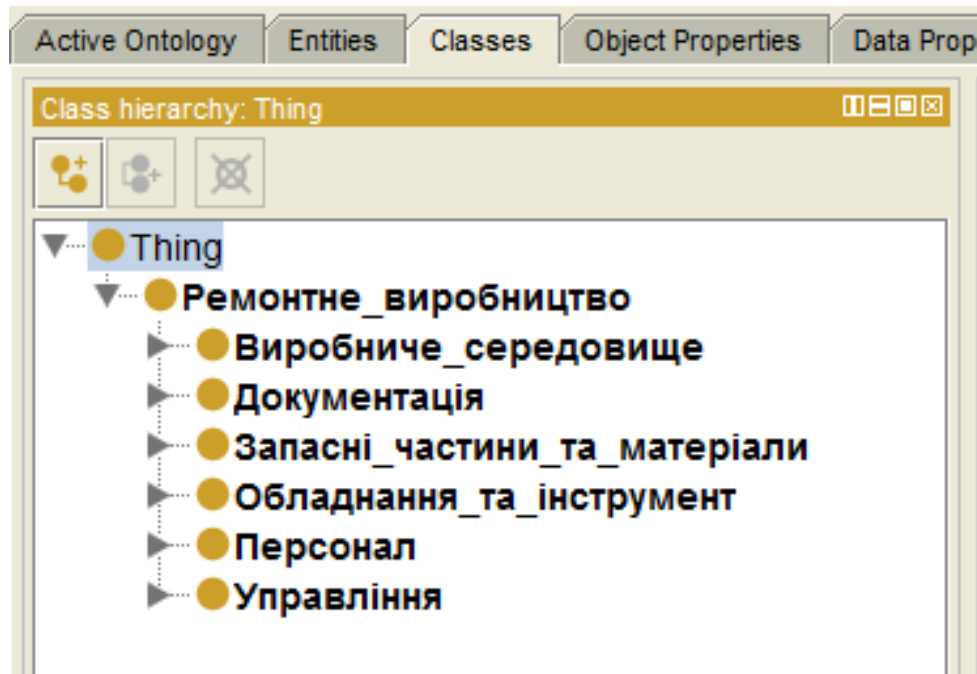


Рисунок 2.9 – Ієрахія класу *Ремонтне виробництво*

Локомотиворемонтне підприємство повинне мати виробничі приміщення, що відповідають запланованим видам робіт. Виробничі приміщення та площі повинні забезпечувати відповідні умови роботи виробничого персоналу та відповідати всім встановленим технологічним умовам (рисунок 2.10).

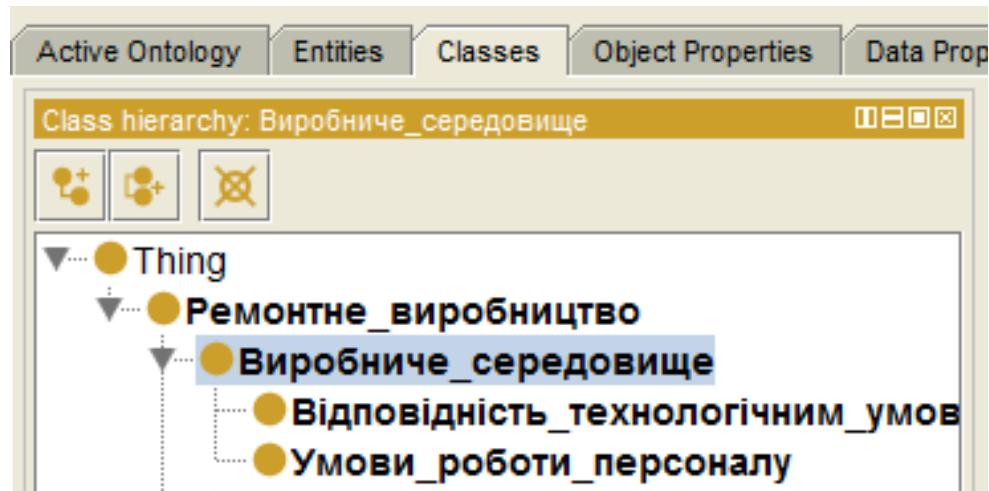


Рисунок 2.10 - Ієрархія класу *Виробниче середовище*

Локомотиворемонтне підприємство повинне мати враховані копії конструкторської документації з відповідної серії рухомого складу, інструкції з технічної експлуатації, правила деповського ремонту, технологічні інструкції, програми випробувань, іншу документацію, необхідну для виконання ремонтних видів робіт. Документацію, необхідну для проведення ремонту можна розділити на нормативну, конструкторську, технологічну та виробничу. Крім того підприємство має забезпечувати процедури її актуалізації, збереження та забезпечення робочих місць (рисунок 2.11).

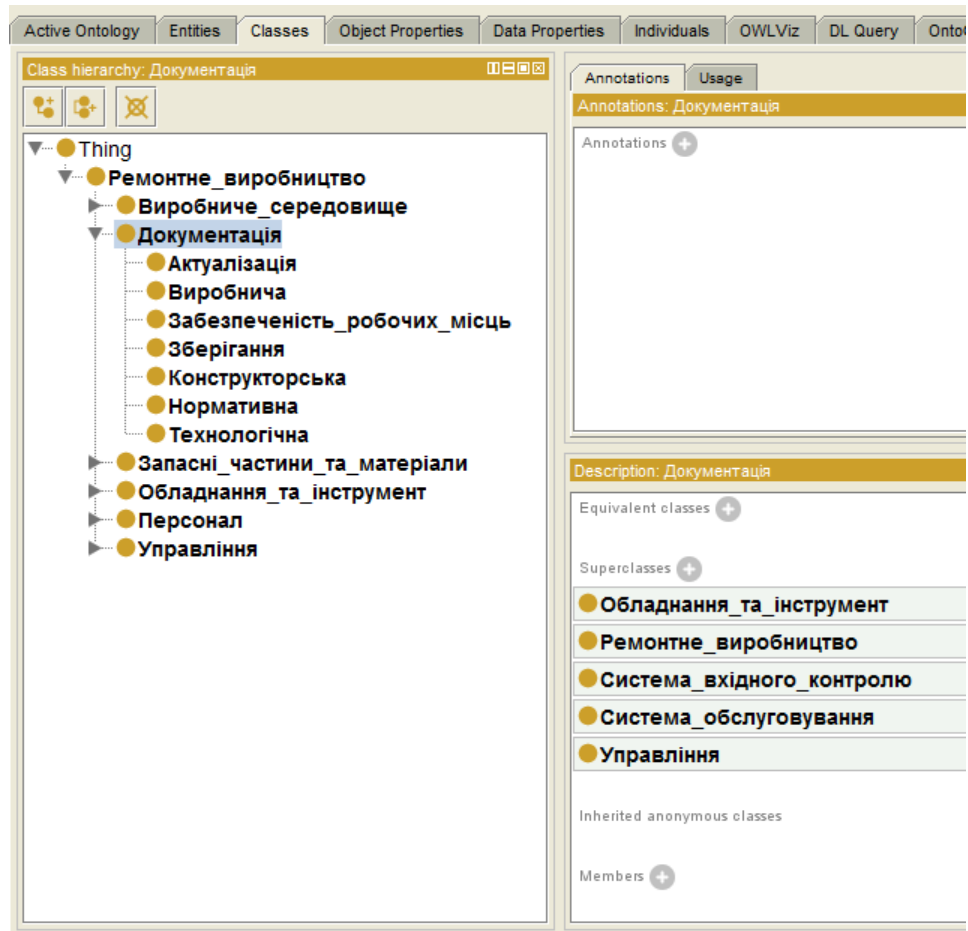


Рисунок 2.11 - Ієрархія класу *Документація*

Важливою особливістю інструментального засобу Protégé також є можливість віднесення певних об'єктів до кількох класів. Як видно на вкладці *Description* (рисунок 2.11), концепт *Документація* був віднесений до класів *Обладнання та інструмент*, *Система вхідного контролю*, *Система обслуговування* та *Управління*.

Локомотиворемонтне підприємство несе повну відповідальність за використання матеріалів та комплектувальних виробів, воно повинне переконатися в якості продукції, що надходить від сторонніх організацій (рисунок 2.12). Вказаний концепт також був віднесений до класу *система обслуговування*.

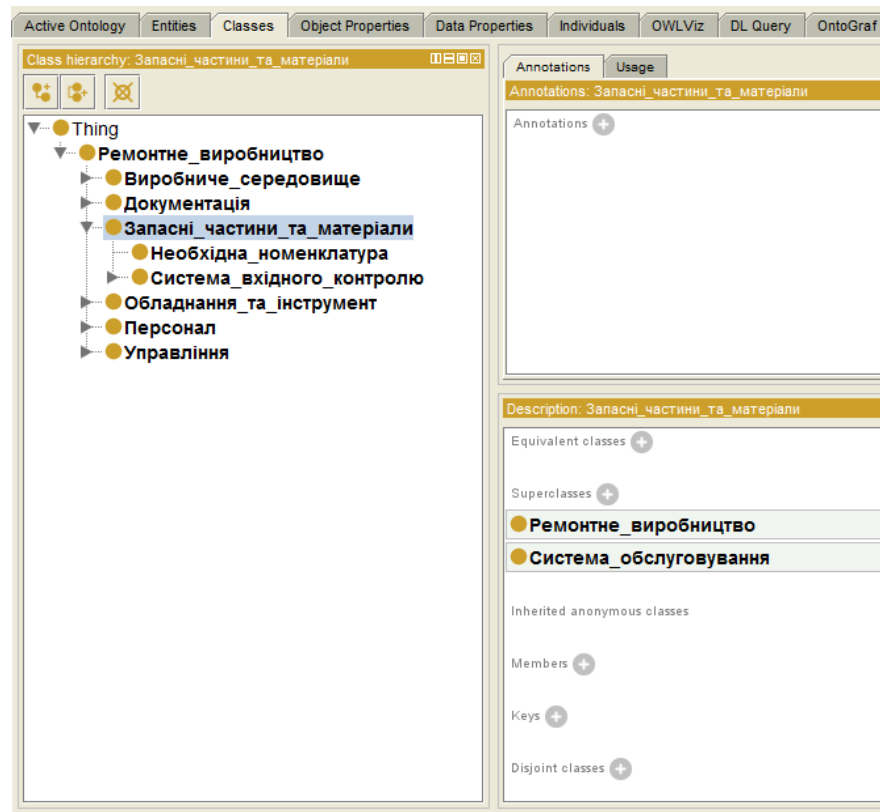


Рисунок 2.12 - Ієрархія класу *Запасні частини та матеріали*

Локомотиворемонтне виробництво має бути забезпечене необхідним складом технологічного оснащення. Його широка номенклатура спонукала до розділення на окремі підкласи за типом обладнання. Крім того було враховано концепти *Документація* та *Система обслуговування* (рисунок 2.13).

Локомотиворемонтне підприємство повинне мати організаційну структуру та достатню кількість кваліфікованих керівних працівників і виконавців. Крім цих основних основних вимог, враховувався також концепт *Мотивація* (рисунок 2.14).

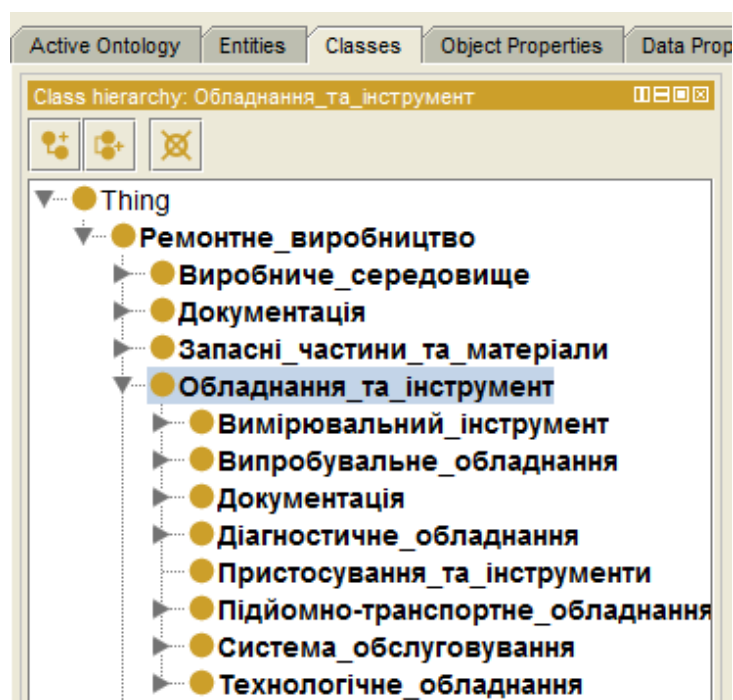


Рисунок 2.13 - Ієрархія класу *Обладнання та інструмент*

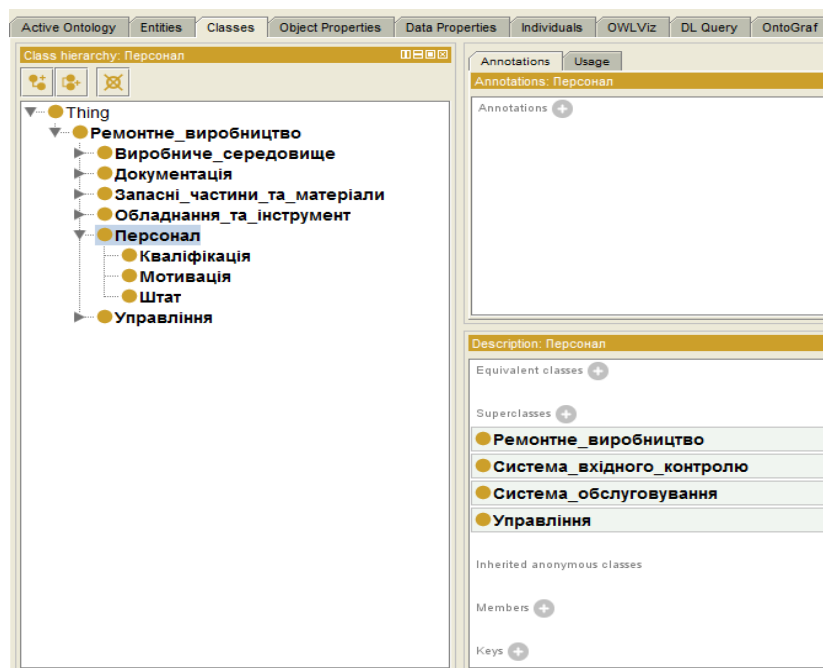


Рисунок 2.14 - Ієрархія класу *Персонал*

Класу *Управління* призначались підкласи *Документація*, *Організаційна структура* та *Персонал* (рисунок 2.15).

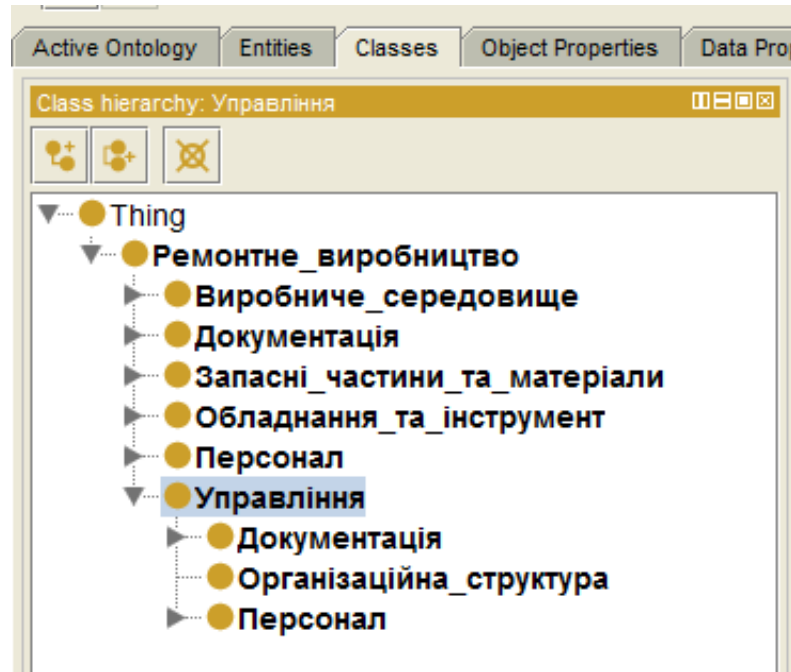


Рисунок 2.15 - Ієрархія класу *Персонал*

Онтологічний граф - двочастковий граф, вершинами якого є поняття предметної області, а дугами - відносини між ними. Двочастковий граф - односпрямований орієнтований граф, в одну вершину якого може входити і виходити кілька дуг [126]. Онтологічний граф є інформаційною моделлю предметної області, що має вигляд орієнтованого графа, вершинами якого є класи, а дугами відносини або зв'язку.

Після визначення всіх концептів, структура онтології у вигляді графу доступна за вкладкою у *OntoGraf* (Додаток А).

Отже розроблена онтологія системи ремонту локомотивів, з використанням спадного підходу, що включає 31 клас, з них 6 класів верхнього рівня: *Виробниче середовище*, *Документація*, *Запасні частини та матеріали*, *Обладнання та інструмент*, *Персонал*, *Управління*.

Онтологічний граф, як модель предметної області, використовується для представлення декларативних знань і має властивості інтерпретуємості і зв'язності. Завдяки цим властивостям знижуються обсяги даних, і виведення висновків здійснюється за асоціативними зв'язками.

Міркування на основі аналогії, або метод прецедентів (CBR) - це підхід, який дозволяє вирішити нову проблему, використовуючи або адаптуючи рішення, раніше вже прийняте в аналогічній ситуації. Коли розглядається нова ситуація, система знаходить подібний прецедент в базі знань як аналог поставленої задачі і намагається використовувати рішення знайденого прецеденту. Якщо необхідно, близький прецедент адаптується до поточної ситуації. Після застосування рішення, отриманого на основі міркування за аналогією, до поточної проблеми, здійснюється аналіз отриманих результатів, після чого новий прецедент заноситься в базу прецедентів для його використання в майбутньому [129].

Прецедент, як одиниця знань включає наступні елементи:

- описання ситуації;
- рішення, яке було прийнято в цій ситуації;
- результат застосування рішення.

Описання ситуації містить всю інформацію, яка необхідна для досягнення мети (вибору рішення, що найбільше підходить).

Рішення містить набір операцій, які необхідно виконати для отримання успішного результату, тобто вирішення питання.

Результат застосування рішення - це зворотний зв'язок, який виникає при застосуванні рішення до поточної ситуації. Прецедент повинен містити або позитивний, або негативний результат. Навіть якщо проблему не вдалося вирішити при використанні адаптованого прецеденту в поточній ситуації, ця інформація (негативний результат) корисна і може бути використана для подальшого аналізу. Видаляти такий прецедент не слід, так як більш глибокий аналіз може показати напрямок подальших дій для вирішення

питання. Досить помістити прецедент в окремий клас прецедентів з негативними наслідками.

У випадку, коли від користувача поступає певний запит, з описанням поточної проблеми, він зіставляється з описом прецедентів бази знань за допомогою різних методів. Метод, за допомогою якого здійснюється обчислення міри подібності прецедентів, задається під час створення CBR-системи розробниками. Найбільш популярним і часто використовуваним методом є пошук найближчого сусіда, в основі якого лежить спосіб вимірювання ступеня збігу значень атрибутів (властивостей), що визначають прецедент. Рішення з відповідного прецеденту застосовується до поточної ситуації та формується результат застосування рішення, який також фіксується в прецеденті. Як тільки прийнято рішення на основі вже наявних (збережених) прецедентів, відповідна інформація упакується в кейс, що зветься прецедентом, і зберігається в сховищі прецедентів для подальшого використання.

Ситуація, для якої був збережений прецедент, вважається опорною, або базовою. Проблема представлення прецеденту - перш за все проблема вибору інформації, яку треба включати в опис прецедентів, перебування відповідної структури для опису його змісту, а також визначення, яким чином повинна бути організована база знань прецедентів для ефективного пошуку і багаторазового використання.

Початкове описання прецеденту може бути простим (лінійним)

$$Case=(x_1, x_2, x_3, \dots x_n, d), \quad (2.12)$$

де $x_1, x_2, x_3, \dots x_n$ – значення атрибутів прецеденту, які ідентифікують ситуацію;

d - вирішення проблеми, що визначене в прецеденті.

Подальше поглиблення в предметну область дозволяє ускладнювати структуру прецеденту, У наступному, вводити ієрархічні та інші відносини між ознаками.

Для інтеграції онтології предметної області з описом прецедентів формування системи ремонту локомотивів в онтології був створений клас *Precedent*.

Даний клас не має розгалуженої ієрархічної структури, як інші класи (концепти) онтології, він взагалі не має підкласів. Призначення класу *Precedent* - створення найбільш повної структури для введення інформації про прецеденти формування системи ремонту (рішення задачі), що вводиться інженером по знаннях, а також встановлення зв'язку з онтологією предметної області. Цей клас включає три групи властивостей (слоти) - *Main*, *Changes i Files*, мета яких - структурно і змістовно розділити інформацію, включену в опис прецеденту

Слот *Main* має наступні підпорядковані слоти:

- *Decision* (рішення) - повний опис послідовності дій користувача (технології) для вирішення проблеми;

- *Description User* (опис користувача) - інформація про проблему, яку користувач дає інженеру під час надання запиту;

- *Error* (помилка) - технічна помилка, яка може бути вирішена тільки шляхом перепрограмування;

- *Keyword 1 ... 3* (ключові слова 1 ... 3) - один або кілька слотів ключових слів, які характеризують проблему. За цими слотами прецедент пов'язується з онтологією;

- *Software Product* (програмний продукт) - програмний продукт, де виникла помилка користувача, вибір зі списку;

- *User Role* (роль користувача) - користувач може бути співробітником центру управління ремонтом, відділу головного технолога, аудитором і т. д.

Функціональність, яка може бути використана для вирішення проблеми користувачем, залежить від ролі користувача;

- *Version Program* (версія програмного продукту) - реліз або версія.

Програмні продукти постійно оновлюються, розробники виправляють помилки, тому, перш ніж відповісти на питання користувача, необхідно зрозуміти, на якому релізі працює користувач.

Слот *Changes* класу *Precedent* корисний для випадку, коли кілька консультантів працюють з базою даних. Завжди можна зрозуміти, хто і коли вносив зміни в прецедент. Даний слот має наступні підпорядковані слоти:

- *Period* (період) - дата і час, коли був створений прецедент або були внесені зміни;

- *User* - ім'я користувача, який вніс зміни.

Слот *Files* має наступні підпорядковані слоти:

- *Files Description* (опис файлу) - короткий опис файлу;

- *File Name* (ім'я файлу) - шлях до файлу, прикріпленого до прецеденту.

Це може бути файл з помилкою, яка виникає в цьому запиті, або файл з інструкцією щодо усунення несправностей.

Властивості онтології для реалізації СППР є властивостями класу *Precedent*.

Структура прецеденту, що описана вище, має необхідну повноту і ненадмірність, тобто вона описує основні характеристики запиту користувача: рішення, описання користувачем, помилка, набір ключових слів, програмний продукт, роль користувача і версія програмного продукту. Таким чином, після визначення місця, де виникла проблема, хто зіткнувся з проблемою (роль користувача), як користувач описує свою проблему (опис користувачем, помилки). Інженер дає професійне описання, що характеризує проблему користувача, визначає місце проблеми в онтології за допомогою асоціативних зв'язків з концептами онтології. Прецедент також містить відомості про внесення змін до прецедент: дата, коли зміни були зроблені і

ким, так що є можливість проаналізувати внесені зміни. До прецеденту можна прикріпити файл, який містить інструкції щодо вирішення проблеми, або помилки користувача, які можуть бути залучені до прецеденту. Цієї інформації досить, щоб вирішити проблему користувача і знайти відповідний прецедент.

У традиційному методі CBR для вилучення прецедентів використовується міра близькості (відстань) в багатовимірному просторі, що задається атрибутами прецеденту. Для цього в базі прецедентів проводиться пошук випадку, найбільш близького до поточної проблеми для заданого підмножини значень атрибутів, після чого знайдений прецедент (прецеденти) адаптується до поточної ситуації. Однак далеко не завжди найбільш близький (відносно терміну відстані в багатовимірному просторі) прецедент є найбільш релевантним, коли досягається найкраща семантична відповідність знайденого прецеденту поточної проблеми. Існує підхід здійснювати порівняння між поточною ситуацією і прецедентами, оцінюючи ступінь їх зв'язку з концептами онтології. Це означає, що близькість прецедентів один до одного оцінюється ступенем семантичної близькості пов'язаних з цими прецедентами концептів. Для цього на етапі створення бази знань при внесенні кожного нового прецеденту встановлюють змістовні зв'язки нових прецедентів з концептами онтології.

Зв'язок екземплярів класу *Precedent* з концептами онтології здійснюється шляхом завдання асоціативного відношення R_{ASS} для слотів групи *Keywords* класу *Precedent* (слоту *Main*). Відношення встановлюється шляхом явного вказування в якості значення слоту класу *Precedent* імені, пов'язаного з ним класу - концепту онтології, а також типу зв'язку, що існує між цими класами. Для реалізації зазначеного асоціативного зв'язку R_{ASS} як тип групи слотів *Keywords* використовується тип D_{class} (тип *Class*).

Завдання типу D_{class} для кожного з I слотів *Keywords* передбачає вказування додаткового аргументу - асоційованого класу, концепту онтології.

Так, якщо i -й слот групи *Keywords* має тип D_{class} з асоційованим класом c_i , то в якості значень слота під час створення екземплярів класу *Precedent* можуть бути використані класи множини $Tr(c_i)$ - транзитивного замикання концепту c_i по відношенню R_{ISA} , що включає клас $c_i = c_i^{(0)}$ і всі його підкласи нижче за ієрархією

$$Tr(c_i) = \mathfrak{A} = c_i^{(0)} \cup ISA(c_i^{(0)}), \quad (2.13)$$

де $ISA(c_i^{(0)}) = \bigcup_{l=1}^L \mathfrak{A}^{(l)} \in C \mid \exists R_{ISA}(c^{(l-1)}, c^{(l)}) \subseteq \mathfrak{A}$ - максимальна глибина нащадків класу c_i .

В такому випадку класи *Precedent* і c_i пов'язані асоціативним відношенням $R_{ASS}(Precedent, c_i)$.

Під час встановлення зв'язку певного прецеденту з онтологією, інженер вибирає концепти, найбільш близькі за змістом з даними прецедентом. Це можуть бути як термінальні (що не мають нащадків), тобто ті що найбільш чітко семантично оформлені, так і нетермінальні (проміжні) концепти, які мають більш загальний сенс. Необхідність в нетермінальних концептах виникає в тому випадку, якщо поставлена проблема не може бути однозначно віднесена до термінального концепту, або інженер не має достатнього досвіду і йому простіше віднести прецедент до більш загального за змістом поняття.

В такому підході допускається встановлення не одного, а кількох зв'язків прецеденту з концептами онтології. Це розширює виражальні можливості підходу і може бути використано в разі, коли проблема виникає на стику кількох понять, і її адекватне описання вимагає врахування цієї міждисциплінарності.

2.5 Оцінка значимості компонент локомотиворемонтного виробництва

Виробництво з ремонту локомотивів являє собою систему будівель і споруд, технологічного обладнання і оснащення, виконавців і технічної документації, що призначені для проведення відповідних технологічних процесів ремонту.

Локомотиворемонтні виробництва, працюють в динамічному середовищі з мінливими умовами і видами продукції - ремонт одиниць локомотивів, їх агрегатів вузлів та деталей, надання інших послуг технічного характеру. Склад технологічних засобів і структура ремонтного підприємства визначається набором цілей, заради яких воно створюється і які є системоутворюючими, інтегруючими факторами виробництва.

В основі виробничих систем лежить взаємодія процесів різної природи: технологічних, кадрових, процесів управління, забезпечення технологічним обладнанням, запасними частинами та матеріалами. Для дослідження таких систем необхідно визначити взаємозв'язок та взаємодію внутрішніх і зовнішніх процесів з виявленням основних причинно-наслідкових відношень.

Важливим аспектом при оцінці рівня виробництва є форма його власності та підпорядкованості. В теперішній час локомотиви залізниць загального користування проходять технічне обслуговування та ремонт в локомотивних депо, що являються виробничими підрозділами АТ «Українська залізниця». Це унеможливорює застосування підходів оцінки локомотивного депо як окремого підприємства та доводить доцільність дослідження складових його організаційно-технічного рівня з урахуванням особливостей структурного підпорядкування.

Для визначення та структурування факторів, що впливають на об'єкт дослідження, використовувалась онтологія ремонтного виробництва, що

побудована в підрозділі 2.4. В ній основними концептами ремонтного виробництва виділено: *Виробниче середовище, Документація, Запасні частини та матеріали, Обладнання та інструмент, Персонал, Управління*. Характер цих факторів вказує на те, їх вплив не може бути однозначно оцінений чи вимірний. В таких випадках ускладнено визначення їх ступеню впливу точними методами. Тому поставлена задача може бути вирішена із застосуванням експертних оцінок, що являють собою синтез математичних методів та практичного досвіду експертів.

Послідовність і зміст рішення задач методами експертних оцінок в най загальному вигляді можуть бути представлені в такий спосіб:

- постановка завдання;
- обґрунтування переліку і змісту тих параметрів завдання, для визначення значень яких доцільно використовувати експертні оцінки;
- обґрунтування форм і способів експертних оцінок;
- розробка реквізитів (бланків, інструкцій і т.п.), необхідних для проведення експертних оцінок;
- підбір і підготовка (навчання, інструктаж) експертів, які залучаються для вирішення завдання;
- організація і забезпечення роботи експертів;
- контроль і первинна обробка експертних оцінок;
- базова обробка експертних оцінок.

Принципово важливим для методів експертних оцінок є отримання такої вибірки оцінок експертів, на якій статистично стійко проявилася б їх спільна думку з поставленої проблеми.

Звідси одна з основних вимог і одна з основних труднощів полягає в підборі такої кількості компетентних експертів, яких достатньо для отримання статистично стійких рішень. Однак при цьому виникає серйозне питання про порівняння компетентності різних експертів з поставленої проблеми. Для вирішення цього питання в переважній

більшості існуючих методів експертних оцінок вводиться так званий коефіцієнт компетентності, що представляє собою число в інтервалі $0 \dots 1$, причому оцінці кожного експерта присвоюється вага, що дорівнює цьому коефіцієнту. Значення коефіцієнта компетентності визначається або самим експертом (самооцінка), або колегами по експертизі (взаємна оцінка). У деяких випадках використовуються одночасно обидві оцінки.

Технологія використання методів експертних оцінок являє собою послідовність наступних операцій:

- формування досить представницької групи компетентних експертів;
- вибір способу організації роботи з експертами;
- вибір методу формування експертами суджень (оцінок) за вирішуваних питань і проведення експертизи;
- вибір методу обробки оцінок групи експертів.

Найбільш поширеним способом представлення експертної інформації про порівняльну перевагу альтернативних варіантів є ранжування [109]. Що характеризується простотою проведення процедури без тривалого та складного навчання експертів.

Під час ранжування експерт повинен розташувати N факторів в порядку зменшення їх значимості. Ранги позначаються цифрами від 1 до n , де n – кількість рангів. При цьому сума рангів буде дорівнювати сумі чисел натурального ряду [130].

Для проведення процедури була сформована експертна група, до складу якої увійшли представники керівництва локомотивних депо Укрзалізниці в кількості 16 осіб. До експертів також висувались вимоги: вища освіта, стаж роботи в локомотивному господарстві не менше 15 років. Результати анкетування експертів наведені в таблиці 2.5.

Для аналізу даних, отриманих методом ранжування застосовують метод середніх арифметичних рангів. Що є не зовсім коректно, оскільки

оцінки експертів вимірюються за порядковою шкалою. Більш обґрунтованим є застосування методу медіан.

Таблиця 2.5 – Результати анкетування експертів

№ експерта	Фактори					
	Персонал	Матеріали і зап. част.	Обладнання та інструмент	Виробниче середовище	Управління	Документація
1	1	3	2	4	5	6
2	1	3	2	4	5	6
3	2	1	3	5	6	4
4	1	2	3	4	5	6
5	3	1	2	4	5	6
6	3	2	1	4	5	6
7	1	2	3	4	6	5
8	3	1	2	5	4	6
9	2	1	3	4	6	5
10	1	2	3	4	5	6
11	1	2	4	3	6	5
12	2	3	1	4	5	6
13	1	2	3	5	4	6
14	1	2	4	3	5	6
15	2	1	3	4	6	5
16	1	2	3	4	5	6

А згідно [131] доцільно застосовувати одночасно обидва методи для погодження з загальнонауковою концепцією стійкості (виділення висновків, отриманих різними методами). Результати обчислень приведені в таблиці 2.6 свідчать, що розрахунок підсумкових рангів, отриманих двома методами дає узгоджені результати, і згідно з [132] їх можна розглядати як цілком надійні.

Таблиця 2.6 - Аналіз даних експертного оцінювання

Фактори	Сума рангів	Середній ранг	Підсумковий ранг за середнім	Медіани рангів	Підсумковий ранг за медіанами
Персонал	25	1,67	1	1	1
Матеріали і запасні частини	28	1,87	2	2	2
Обладнання та інструмент	39	2,60	3	3	3
Виробниче середовище	61	4,07	4	4	4
Управління	78	5,20	5	5	5
Документація	84	5,60	6	6	6

Ступінь узгодженості експертів визначається за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла

$$W = \frac{12D}{m^2(n^3 - n)}, \quad (2.14)$$

де D – сума квадратів рангів;

m – число експертів;

n – число факторів, що аналізуються.

Для визначення статистичної значимості ранжування використовують χ – розподілення з $(n - 1)$ ступенями свободи

$$\chi_p^2 = m(n - 1)W, \quad (2.15)$$

Розрахований коефіцієнт конкордації даного ранжування склав 0,826, що вказує на високий ступінь узгодженості думок експертів. Обчислений χ_p^2 порівнювався з табличним значенням для числа ступенів свободи $K = n-1 = 6-1 = 5$ і при заданому рівні значимості $\alpha = 0,05$. Так як значення розрахованого $\chi_p^2 = 61,97$ більше табличного (11,07050), то $W = 0,826$ - величина не випадкова, а тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Перевагою ранжування як методу експертного вимірювання - простота здійснення процедур, що не вимагає трудомісткого навчання експертів. Недоліком ранжування є практична неможливість впорядкування великого числа об'єктів. Як показують дослідження, при числі об'єктів, більшому 10-15, експертам важко в побудові ранжування. Це пояснюється тим, що в процесі ранжування експерт повинен встановити взаємозв'язок між усіма об'єктами, розглядаючи їх як єдину сукупність. При збільшенні числа об'єктів кількість зв'язків між ними зростає пропорційно квадрату числа об'єктів. Збереження в пам'яті і аналіз великої сукупності взаємозв'язків між об'єктами обмежуються психологічними можливостями людини.

Для перевірки отриманих результатів було прийнято рішення скористатись більш тонкими методами.

Метод фон Неймана-Моргенштерна [133] полягає в отриманні чисельних оцінок альтернатив за допомогою так званих імовірнісних сумішей. В основі методу лежить припущення, згідно з яким експерт для будь-якої альтернативи a_j , менш кращої, ніж a_i , але більш кращої, ніж a_l , може вказати таке число p ($0 \leq p \leq 1$), що альтернатива a_j буде еквівалентна змішаній альтернативі (ймовірнісній суміші) $[pa_i, (1-p) a_l]$. Змішана альтернатива полягає в тому, що альтернатива a_i вибирається з ймовірністю P , а альтернатива a_l - з ймовірністю $1-P$. Отже якщо P

достатньо близько до 1, то альтернатива a_j менш краща, ніж змішана альтернатива $[pa_i, (1-p) a_i]$.

Для визначення вагових коефіцієнтів факторів за методом фон Неймана-Моргенштерна використовувались результати ранжування, що наведені вище. Найменш вагомому фактору призначалась кількісна оцінка 1, наступному 2, і так до 6. Для кожного фактору експертами призначалось число p , та визначалась очікувана корисність. Після нормування якої були отримані вагові коефіцієнти (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 – Результати експертного оцінювання факторів за методом фон Неймана-Моргенштерна

Фактори	Кількісна експертна оцінка	Очікувана корисність	Вагові коефіцієнти
Персонал	6	4	0,31
Матеріали і запасні частини	5	3	0,23
Обладнання та інструмент	4	2,2	0,17
Виробниче середовище	3	1,6	0,12
Управління	2	1,2	0,09
Документація	1	1	0,08

Згідно методу Черчмена-Акоффа [109] альтернативи a_1, a_2, \dots, a_n ранжуються за перевагою. Якщо альтернатива a_1 найбільш переважна, їй призначається оцінка 1, інші оцінки розташовуються між 0 і 1 та призначаються альтернативам у відповідності до їх переваг. Потім експерт виконує порівняння альтернативи a_1 і суми альтернатив a_2, \dots, a_n . Якщо a_1 більш переважна, то експерт коригує оцінки так, щоб

$$f(a_i) > \sum_{i=2}^n f(a_i). \quad (2.16)$$

В іншому випадку має виконуватись нерівність

$$f(a_i) \leq \sum_{i=2}^n f(a_i). \quad (2.17)$$

Якщо альтернатива a_i виявляється менш переважною, то для уточнення оцінок вона порівнюється за перевагою із сумою альтернатив a_2, a_3, \dots, a_{n-1} і т.д. Після того як альтернатива a_i виявиться більш переважною суми альтернатив a_2, \dots, a_k ($k \geq 2$), вона виключається з розгляду, а замість оцінки альтернативи a_1 розглядається і коригується оцінка альтернативи a_2 . Процес триває до тих пір, доки не буде здійснене коригування оцінок всіх альтернатив. Результати визначення оцінок факторів ремонтного виробництва за методом Черчмена-Акоффа наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати експертного оцінювання факторів за методом Черчмена-Акоффа

Фактори	Призначена оцінка	Вагові коефіцієнти
1	2	3
Персонал	1	0,29
Матеріали і запасні частини	0,8	0,23
Обладнання та інструмент	0,6	0,18
Виробниче середовище	0,5	0,14
Управління	0,3	0,1
Документація	0,2	0,07

В основі методу аналізу ієрархій (МАІ) лежить структурування завдання прийняття рішень за допомогою багаторівневої ієрархії [109,

112]. Аналіз багатокритеріальної задачі прийняття рішення проходить в кілька етапів.

Аналіз проблеми прийняття рішень в МАІ починається з побудови ієрархічної структури, яка включає мету, експертів, критерії, альтернативи та інші фактори, що впливають на вибір. Така структура відображає розуміння проблеми особою, яка приймає рішення.

Кожен елемент ієрархії може представляти різні аспекти поставленого завдання, причому до уваги можуть бути прийняті як матеріальні, так і нематеріальні фактори, кількісні параметри і якісні характеристики, об'єктивні дані і суб'єктивні експертні оцінки. Тобто, аналіз ситуації вибору рішення в МАІ нагадує процедури і методи аргументації, які використовуються на інтуїтивному рівні людиною.

Для визначення вагових коефіцієнтів факторів локомотиворемонтного виробництва ієрархія складалась з двох рівнів: мети і альтернатив (тобто факторів). Після побудови ієрархії проводилось попарне порівняння факторів між собою. В ході попарних порівнянь експерт визначав наскільки один фактор за значимістю перевершує інший. Для парного порівняння критеріїв Т.Сааті пропонує використовувати шкалу відносної важливості від 0 до 9.

Експертам пропонувалось заповнити анкету, що містила текстову частину з правилами експертизи та квадратні матриці попарних порівнянь. Результати експертної оцінки наведені у додатку Б.

Для обробки експертних даних використовувався метод усереднення значень оцінок експертів по кожній з пар факторів що оцінювались, тобто знаходилося геометричне середнє для набору експертних оцінок, що відносяться до однієї і тієї ж пари факторів

$$a_{ij}^A = \sqrt[n]{a_{ij}^1 a_{ij}^2 \dots a_{ij}^n}, \quad (2.18)$$

де n – кількість експертів;

a_{ij}^n - оцінка n -го експерта пари факторів i та j .

Для кожної матриці попарних порівнянь $[E]$ обчислювався вектор пріоритетів (в якості векторів пріоритетів використовуються нормовані власні вектори матриць). Цей вектор містить вагові коефіцієнти для кожного фактору.

Обчислення нормованого власного вектора W позитивної квадратної матриці $[E]$ проводиться на підставі рівності

$$EW = \lambda_{max} W, \quad (2.19)$$

де λ_{max} – максимальне власне значення матриці $[E]$.

Для позитивної квадратної матриці $[E]$ правий власний вектор W , що відповідає максимальному власному значенню λ_{max} , з точністю до постійного співмножника C обчислювався за формулою

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{[E]^k e}{e^T [E]^k e} = CW, \quad (2.20)$$

де $e = \{1, 1, 1, \dots, 1\}^T$ – одиничний вектор;

$k=1, 2, 3, \dots$ - показник ступеню;

C – константа;

T – знак транспонування.

Максимальне власне значення матриці $[E]$ обчислювалось за формулою

$$\lambda_{max} = e^T [E] W \quad (2.21)$$

Усереднені значення оцінок експертів наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Усереднені значення оцінок експертів за методом аналізу ієрархій

Фактори	Персонал	Матеріали і запасні частини	Обладнання та інструмент	Виробниче середовище	Управління	Документація	Нормовані оцінки вектора пріоритета
Персонал	1	2	3	5	6	8	0,368
Матеріали і запасні частини	1/2	1	2	3	5	6	0,258
Обладнання та інструмент	1/3	1/2	1	2	3	5	0,174
Виробниче середовище	1/5	1/3	1/2	1	2	3	0,104
Управління	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2	0,0619
Документація	1/8	1/6	1/5	1/3	1/2	1	0,0342
Індекс узгодженості (ІУ)=0,0664							
$\lambda_{max}=6,332$; відношення узгодженості (ВУ)=0,0535							

Помилки експертів при формуванні матриць попарних порівнянь впливають на ступінь узгодженості цих матриць. Чим більше помилки, тим менше узгодженість матриць. Для матриці парних порівнянь в роботі [112] був запропонований показник кількісної узгодженості, названий Т. Сааті індексом узгодженості (ІУ)

$$IY = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}, \quad (2.22)$$

де N – розмірність матриці парних порівнянь.

За обчисленим значенням IY визначається відношення узгодженості (ВУ)

$$BY = \frac{IY}{M(IY)}, \quad (2.23)$$

де $M(IY)$ - середнє значення індексу однорідності випадковим чином складеної матриці парних порівнянь, яке засноване на експериментальних даних.

Значення $M(IY)$ є таблична величина, вхідним параметром виступає розмірність матриці. Допустимим є значення $BY \leq 0,1$.

Значення отриманих показників IY та BY дозволяють стверджувати про задовільну узгодженість експертних оцінок.

Порівняння результатів визначення вагових коефіцієнти компонент виробництва, що обчислювались за результатами експертної оцінки з використанням методів: аналізу ієрархій (1), фон Неймана-Моргенштерна (2), ранжування (3) та Черчмена-Акоффа (4) показує високу узгодженість (рисунок 2.16).

Для подальших розрахунків приймалися значення вагових коефіцієнтів, що були отримані із використанням МАІ, як ті, що найбільш відповідають експонентному закону багатоваріантності [134].

Отже метод аналізу ієрархій є досить якісною процедурою для знаходження вагових коефіцієнтів компонент ремонтного виробництва, що дозволяє отримати найбільш об'єктивні і достовірні значення.

Застосування апарату МАІ дозволяє шляхом проведення нескладної процедури анкетування експертів врахувати у виборі всі можливі впливи, та представити процес структурування у вигляді цілісної ієрархії.

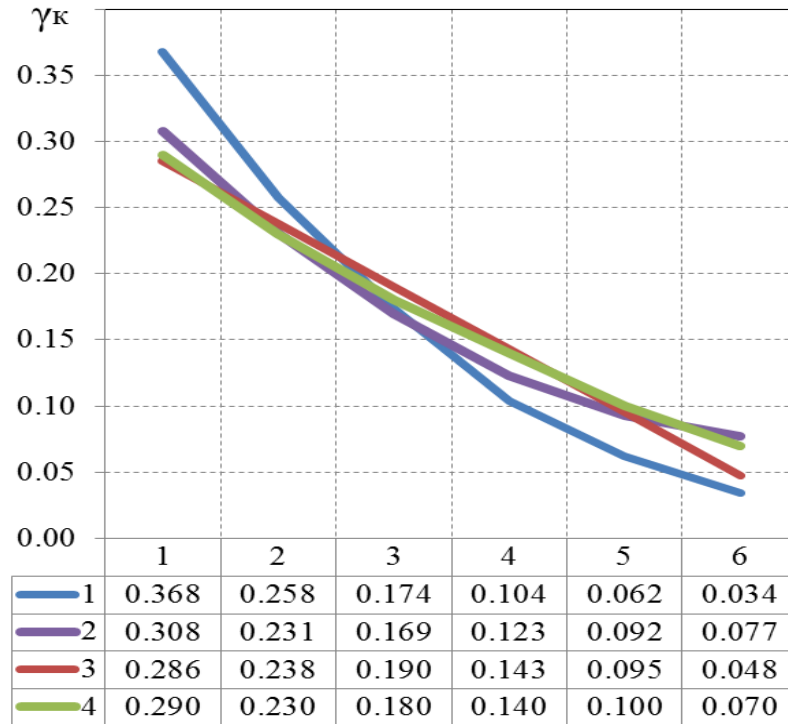


Рисунок 2.16 – Результати експертної оцінки вагових коефіцієнтів компонентів виробництва, отриманих різними методами

Аналіз прийнятих вагових коефіцієнтів аналіз показує, що найбільший вплив мають компоненти: «Персонал» (0,368), «Обладнання та інструмент» (0,258), «Матеріали та запасні частини» (0,174).

2.6 Висновки до розділу 2

1. Забезпечення конкурентоспроможності підприємств в сучасних умовах можливе тільки за рахунок їх розвитку в напрямку Індустрії 4.0. Інтелектуалізація підприємств є одним із найвагоміших інструментів їх переходу на сучасний технологічний рівень з метою збільшення прибутку і набуття конкурентних переваг на ринках.

2. 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.

3. Запропоновано концепцію 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 ОПП автоматизованого вибору варіантів організаційних рішень.

4. На базі інструментального засобу Protégé OWL розроблена OWL-онтологія системи ремонту локомотивів, з використанням спадного підходу, яка включає ряд ієрархічних класів та відносин між ними, що дозволяє зберігати і використовувати слабо формалізовану інформацію предметної області. Онтологія включає 31 клас, з них 6 класів верхнього рівня: *Виробниче середовище, Документація, Запасні частини та матеріали, Обладнання та інструмент, Персонал, Управління.*

5. В результаті експертної оцінки з використанням методів аналізу ієрархій, фон Неймана-Моргенштерна, ранжування та Черчмена-Акоффа, обчислені вагові коефіцієнти компонент виробництва. Отримані значення показали узгоджені результати, однак для подальших розрахунків прийняті значення, що отримані методом аналізу ієрархій, як такі, що найбільш відповідають експонентному закону багатоваріантності. Їх аналіз показує, що найбільший коефіцієнт впливу мають компоненти: «Персонал» (0,368), «Обладнання та інструмент» (0,258), «Матеріали та запасні частини» (0,174).

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Методологічні аспекти оцінки технічного рівня виробництва

Надійність локомотивів в експлуатації забезпечується якістю технічних обслуговувань та ремонтів, що залежать від організаційно-технічного рівня ремонтних виробництв. Підприємства, що здійснюють утримання локомотивів Української залізниці різняться за рівнем технічного оснащення, забезпеченням виробничими площами, персоналом, документацією. Необхідність оцінки фактичного технічного рівня ремонтних виробництв в теперішніх умовах є актуальною задачею.

Згідно [135] у понятті розвитку виробництва органічно поєднуються технічні, організаційні, соціальні та економічні чинники, тому на практиці визначаються частіше техніко-економічний та організаційно-технічний рівні розвитку. Економічні показники вивчаються в тісній взаємодії з технікою і технологією виробництва, його організацією, і економічний аналіз також набуває характеру техніко-економічного аналізу. Що дозволяє розглядати оцінку технічного рівня виробництва як одного з розділів комплексного техніко-економічного аналізу підприємств.

Оцінка технічного рівня як функція управління стала додатком наукової області кваліметрії – науки про вимірювання якості предметів, процесів і всього матеріального, цільного, виділеного для дослідження. Вихідним положенням кваліметрії є принципова можливість висловлювати якість (технічний рівень) об'єкта одним кількісним показником, не дивлячись на множинність його різних властивостей [136].

Кваліметрія розглядає технічний рівень як категорію науково-технічного прогресу, яка визначається за ступенем втілення технічних досягнень в техніці (технології).

Економічна література визначає поняття технічного рівня виробництва ширше, з точки зору єдності технічного напрямку розвитку і результатів виробництва: технічний рівень характеризує ступінь досконалості матеріальних умов виробництва - засобів праці, технологій і організації виробництва, що забезпечують отримання заданих виробничих результатів з мінімальними витратами живої і матеріалізованої праці. Одне з сучасних визначень технічного рівня дано в [137]: під технічним рівнем виробництва розуміється ступінь технічної прогресивності устаткування і технології, включаючи якість вихідної сировини і матеріалу, рівень організації та управління, якість продукції, що випускається.

Оцінка технічного рівня виробництва має на меті отримання інформації для прийняття адекватних рішень в області технічного розвитку. До завдань оцінки технічного рівня виробництва входить:

- аналіз технічного рівня і на цій основі розробка планів технічного розвитку;
- атестація виробництв за технічним рівнем;
- виявлення резервів підвищення технічного рівня;
- виявлення найбільш відсталих виробництв;
- розробка програм технічного (інноваційного) розвитку;
- визначення технічної (інноваційної) політики.

В основу оцінки технічного рівня виробництва повинні бути покладені наступні принципи:

- принцип системності вимагає розглядати об'єкт оцінки як систему взаємопов'язаних характеристик об'єкта і зовнішнього середовища відповідно до завдань оцінки;

- принцип цілеспрямованості полягає в тому, що перед оцінкою технічного рівня розвитку об'єкта формулюють мету та визначають задачі;
- принцип оптимального кількості показників вимагає відбору для оцінки такої кількості показників, яке забезпечувало б достатній для оцінки обсяг інформації;
- принцип аналогічності передбачає постійне зіставлення властивостей об'єкта з відомими в даній області подібними об'єктами з метою відшукування об'єкта-аналога і використання при оцінці його показників;
- принцип пріоритетності означає облік важливості, значущості характеристик оцінюваного об'єкта при проведенні оцінки з певною метою;
- кваліметричний принцип зобов'язує застосовувати при оцінюванні об'єктів рівневі показники.

Рівень розвитку - це відносна характеристика, заснована на зіставленні показників розвитку оцінюваного об'єкта в порівнюваних періодах або на зіставленні порівнюваних об'єктів в певному періоді. Таким чином, рівень як відносна характеристика передбачає наявність бази для порівняння - порівнюваний період або порівнюваний об'єкт.

Зіставлення технічного рівня оцінюваного об'єкта щодо кордонів розвитку техніки і технології («динамічної бази оцінки») дозволяє виявити важливі для практики порівнянь тимчасові характеристики, наприклад, встановити число років, на яке оцінюваний об'єкт країни (галузь, промисловий комплекс) випереджає рівень світових досягнень або відстає від нього. Саме відносний рівневий показник дозволяє кількісно встановити ступінь розвитку і перевести кількісну оцінку в якісну характеристику: низький, середній, високий, допустимий, нормальний рівень.

Абсолютний рівень характеризується абсолютними значеннями оціночних показників, точніше - системою абсолютних значень заходів (показників). Кваліметричне поняття абсолютного рівня відображає «інтенсивну кількість якості» [136]. Наприклад, середнє зношення і вік машин і устаткування, темп оновлення активної частини основних виробничих фондів, коефіцієнт технічної озброєності праці характеризують абсолютний рівень розвитку засобів виробництва.

Центральне місце в методології оцінки технічного рівня належить методам оцінки. До методів оцінки технічного рівня виробництва можна віднести різні підходи і прийоми - логічні побудови, емпіричні формули або математичні залежності, що призводять до отримання результату.

3.2 Аналіз основних підходів до оцінки технічного рівня виробництв

Значний досвід оцінки технічного, організаційного та економічного рівнів і похідних від них організаційно-технічного та техніко-економічного рівнів виробництв накопичено в галузях машинобудівного, транспортного та сільськогосподарського комплексів країни.

Так в [138] запропоновано оцінювати ресурсний потенціал ремонтних виробництв за 12 показниками: забезпеченістю матеріально-технічною базою, засобами диспетчерського зв'язку, кадровим забезпеченням, кваліфікацією, спеціалізацією робіт, віком парку машин, централізацією робіт, спеціалізацією ремонту та умовами праці на підприємстві. Встановлено, що на готовність парку машин мають найбільший вплив кваліфікація механізаторів, спеціалізація і централізація ремонту, умови праці. Міжремонтні напрацювання в першу чергу визначається кадрами механізаторів, кваліфікацією їх і фахівців ТОР, умовами праці. Питомі витрати на ремонт визначаються в основному

забезпеченістю фахівцями, віком тракторів, спеціалізацією ремонту і умовами праці на ремонтному підприємстві. Встановлено, що збільшення технологічного рівня ремонтної бази на спеціалізованих виробництвах веде до поліпшення показників використання машин. Виробничий потенціал підприємства пропонується оцінювати можливим річним обсягом ремонтно-профілактичних робіт при повному використанні площ, обладнання та оснащення.

Рівень розвитку ремонтного виробництва в [139] запропоновано оцінювати за допомогою спеціального коефіцієнту $\beta = B_{POB}/B_T$, значення якого може змінюватися в межах від 0,12 до 1,2 і вище. Встановлено, що раціональним є значення β не нижче 0,3. На основі факторного аналізу виділено 3 фактори, за допомогою яких оцінювався рівень функціонування об'єктів технічного сервісу. У дослідженнях з оцінки технологічного рівня підприємств технічного сервісу МТП в зроблено висновок про те, що ці підприємства повинні відповідати передовим досягненням науки і техніки та забезпечувати високу здатність виробництва до безперервного його вдосконалення. Середня виробнича потужність ремонтної майстерні за даними [140] становить 42,3 умовного ремонту. Типове оснащення такої майстерні представляє 1-2 токарних, 1 фрезерний, 2-3 свердлильних, включаючи свердлильні, 1-2 заточувальних верстатів, по 1-2 ковальських і зварювальних поста. Хоча не в повній мірі, але це обладнання дозволяє проводити технічне обслуговування, усувати поломки і відмови техніки при відносно простому обліку і малій кількості документів первинного бухгалтерського обліку.

Кількісну оцінку складності виконання цих робіт, виходячи з трудомісткості, частки висококваліфікованої праці в загальних витратах праці, потреби в ремонтно-технологічному обладнанні, конструктивної складності об'єкта запропоновано проводити за узагальненим показником складності. Цей показник відображає, у скільки разів обсяг більш складних

робіт переважає над розбірних, які вважаються простими. Показник змінюється в межах 1,20 ... 5,50 [140]. Нижчі значення мають прості ґрунтообробні машини, вищі - дизельна паливна апаратура, агрегати гідросистем тракторів і комбайнів. Показник рівня технологічної оснащеності підприємств ремонтної бази визначається за формулою

$$\eta_{\text{техн.осн}} = \frac{K_{зб} + K_n + K_p + K_v + K_i}{5}, \quad (3.1)$$

де $K_{зб}$ – потреба в збиральному обладнанні;

K_n – потреба у підйомно-транспортному обладнанні;

K_p – потреба в ремонтно-технологічному обладнанні;

K_v – потреба у випробувально-діагностичному обладнанні;

K_i – потреба в інструментах та пристосуваннях.

Межа зміни цього показника від 0,08 ... 1,00, що означає, що підприємство, яке ремонтує складні машини, має бути оснащено в 12 разів краще, ніж підприємство, що ремонтує прості машини. Однак в роботі приводиться попередження, що до такого висновку слід ставитися дуже обережно, вважаючи дане співвідношення не більше ніж орієнтиром. Тому завжди доцільно мати один узагальнений, показник що акумулює та зв'язує приватні. В такому випадку узагальненим показником може служити вартісний показник, що є відношенням вартості ремонту (або взагалі будь-якої роботи по забезпеченню працездатності і ресурсу машини) до маси об'єкта.

За методикою НДІ ремонту та експлуатації машинно-тракторного парку [141] комплексний показник виробництва обчислюється за формулою

$$P = \sum_{i=1}^m W_i \sum_{j=1}^n B_{ij} x_{ij}, \quad (3.2)$$

де W_i - коефіцієнт вагомості i -го комплексного показника;

m - кількість комплексних показників;

n - кількість одиничних показників, що входять до складу i -го комплексного показника;

B_{ij}, x_{ij} - коефіцієнт вагомості і фактичне значення j -го одиничного показника, що входить до складу i -го комплексного показника.

Організаційно-технічний рівень підприємств за описаною методикою [141] включає в себе 6 комплексних факторів, що характеризують забезпеченість нормативно-технологічною документацією, устаткуванням, вимірювальними засобами, забезпеченість стабільності виробництва, контролю і підвищення якості продукції. У свою чергу комплексні показники включали в себе від 5 до 7 одиничних показників, у яких, в основному, приймалися тільки два значення: 0 або 1.

На відміну від цієї методики, коли показники визначалися в цілому по підприємству, технічний рівень ремонтних підприємств за методикою [142] визначався за комплексним показником для підрозділів ремонтного виробництва за формулою

$$Y_{об} = \sum_{i=1}^n A_i \sum_{j=1}^m K_j B_j, \quad (3.3)$$

де A_i - коефіцієнт вагомості i -го комплексного показника;

n, m - кількість комплексних і одиничних показників;

K_i, B_j - коефіцієнт вагомості та значення одиничного показника.

Високий технологічний рівень підприємств технічного сервісу є умовою ефективної роботи виробництва будь-якого типу, забезпечуючи його стабільність і надійність функціонування, гнучкість і здатність до

адаптації, високу інтенсивність, малостадійність, малоопераційність і безвідходність. Здатність до адаптації є найважливішою властивістю ремонтносервісного виробництва. Під адаптацією розуміється така реакція на зміну внутрішнього або зовнішнього середовища, яка протидіє зниженню ефективності функціонування ремонтно-сервісних підприємств [143, 144]. Гнучкість технології забезпечує зростання продуктивності праці як в основному, так і в допоміжному виробництві, скорочує технологічний цикл, дозволяє краще використовувати устаткування [144].

В роботі [145] технологічний рівень ремонтного підприємства розглядається з урахуванням критеріїв функціонально-технологічних зв'язків, зонування, гнучкості, компактності і людських потоків. Критерій функціонально-технологічних зв'язків Q_{zv} характеризує об'єднання між собою приміщень різного призначення в одній будівлі і встановлює вимоги мінімальної довжини комунікацій, технологічних і транспортних потоків за умовами економічності, зручності обслуговування і експлуатації

$$Q_{zv} = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=m} f(\alpha_{ij}) \rightarrow \max, \quad (3.4)$$

де W_{ij} - вагове значення одиниці довжини зв'язку між приміщеннями;

l_{ij} - довжина зв'язку між i -м і j -м приміщеннями;

m - загальна кількість приміщень.

Для виявлення комплексного показника оцінки технологічного рівня підприємства всі показники представляють в єдиній розмірності, тобто в нормалізованому вигляді. З цією метою для кожного з варіантів, як правило, використовують міру відхилення значень критеріїв Q_z від еталонних Q_{ze} [145]

$$Q_{\Sigma} = \sum \frac{|Q_z - Q_{ze}|}{Q_{ze}} \cdot \sigma_z, \quad (3.5)$$

де σ_z - питома вага z -го показника.

Таким чином, «згортка» в єдиний узагальнений критерій Q_{Σ} встановлює варіант, який має мінімальні відхилення від еталонних значень аналізованих показників з урахуванням їх значимості [145].

В роботі [146], базою для визначення комплексного показника технологічного рівня виробництва є спільний аналіз показників рівня K_{MA} та ступеня P_{MA} механізації виробничих процесів

$$K_{MA} = \frac{\sum_{Z=1}^{4.25} Z \cdot m_z}{Z_{max} \cdot \sum_{Z=1}^{4.25} m_z}, \quad (3.6)$$

де Z – ланковість машин;

m_z – кількість машин що використовується

$$P_{MA} = \frac{\sum_{Z=1}^{4.25} n_z \cdot m_z}{n_{max} \cdot \sum_{Z=0}^{4.25} m_z}, \quad (3.7)$$

де n_z – продуктивність праці робітників;

n_{max} – максимальна продуктивність праці працівників, що може бути досягнута.

Визначення цих показників дозволяє оцінити рівень та конкурентоспроможність ремонтного виробництва депо. Для аналізу фактичного стану і резервів механізації та автоматизації з технічної точки

зору використовують показник рівня механізації і автоматизації виробництва. А для аналізу фактичного стану і резервів підвищення праці на основі механізації та автоматизації виробництва використовують показник ступеня автоматизації та механізації.

Сукупність організаційно-технологічних показників, що досліджуються в процесі аналізу дає комплексну характеристику організаційно-технологічного рівня і умов виробництва в організації [147]

$$E = \sqrt[n]{\prod k_i}, \quad (3.8)$$

де n - кількість показників (коефіцієнтів їх зростання або зниження) організаційно-технологічного рівня і умов виробництва;

k_i - сукупність показників (коефіцієнтів їх зростання або зниження) аналізу організації

В роботі [147] до показників технологічного рівня підприємства віднесені:

- 1) питома вага передових технологічних процесів;
- 2) коефіцієнт поточності;
- 3) коефіцієнт технологічної оснащеності виробництва;
- 4) питома вага продукції, що виготовлена прогресивними технологічними методами, і питома вага робіт, виконаних за прогресивною технологією;
- 5) питома вага машинного часу в технологічній трудомісткості;
- 6) показники технологічної дисципліни;
- 7) коефіцієнти уніфікації та стандартизації.

Коефіцієнт поточності характеризує ступінь безперервності виробництва в залежності від впровадження потокових методів і визначається як відношення трудомісткості деталей (виробів), що

збираються на поточних лініях, до загальної трудомісткості по відповідній виробничій одиниці.

Удосконалення технології пов'язано з підвищенням оснащеності різного роду пристосуваннями і спеціальними інструментами. Коефіцієнт технологічної оснащеності визначається як відношення числа деталеоперацій, виконаних з застосуванням пристроїв, до загальної кількості деталеоперацій.

Технологічний рівень пов'язаний зі станом технологічної дисципліни. Її аналіз проводиться вибірково шляхом виявлення найбільш типових відступів від технологічних процесів і причин цих відступів на основі обліку дотримання графіка перевірки технологічної точності обладнання і технологічного оснащення. Про технологічну дисципліну можна судити також по динаміці таких показників, як втрати від браку чи порушень робітниками встановленої технології [147, 148].

В [149] розроблені рекомендації щодо контролю технологічної дисципліни, де за основну мету приймається попередження можливих порушень технологічних процесів, виключення виробничого браку, збільшення стабільності якості продукції, попередження передчасного виходу з ладу обладнання та технологічного оснащення, попередження виробничого травматизму, зменшення витрат та підвищення культури виробництва, покращення організації виробництва та охорони навколишнього середовища. Введено ряд показників технологічної дисципліни (ПТД), основні з яких: ПТД підприємства (Π^0), ПТД цеху ($\Pi^Ц$), ПТД по браку ($\Pi^Б$)

$$\Pi^Ц = \frac{T_{Ц} - T_{Ц1}}{T_{Ц1}}, \quad (3.9)$$

де $T_{ц}$ – кількість технологічних процесів, що виконуються в цеху протягом певного періоду;

$T_{цл}$ – кількість технологічних процесів, під час виконання яких виявлені відхилення протягом певного періоду

$$П^O = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P П^ц, \quad (3.10)$$

де P – кількість підрозділів на підприємстві

$$П^B = \frac{C_B}{C}, \quad (3.11)$$

де C_B – вартість браку, що віднесена до одиниці продукції;

C – вартість одиниці продукції.

Ефективність від підвищення технологічного рівня проявляється в першу чергу в зниженні трудомісткості, матеріаломісткості та технологічної собівартості продукції [147].

Починаючи з 80-х років минулого століття, машинобудівні виробництва США, Європи та Японії широко застосовують метод аналізу видів і наслідків потенційних невідповідностей (FMEA). На даний момент на багатьох фірмах - і особливо в автомобільній промисловості - FMEA є складовою частиною системи менеджменту якості і використовується як у внутрішніх, так і у зовнішніх відносинах, як умова поставки комплектуючих виробів. FMEA [150, 151]. Метод аналізу видів і наслідків потенційних невідповідностей являє собою систематизований комплекс дій, що проводяться з метою:

- виявлення невідповідності продукції та процесів, а також наслідків виникнення цих невідповідностей, їх кількісна оцінка;

- розроблення список видів і причин невідповідностей для планування коригувальних і запобіжних дій;
- визначення коригувальних та запобіжних дій для усунення або зниження ймовірності виникнення невідповідностей;
- документування даних за результатами аналізу для накопичення в базі знань.

В рамках методу FMEA розрізняють також DFMEA - аналіз видів і наслідків потенційних невідповідностей конструкції, і PFMEA - аналіз видів і наслідків потенційних невідповідностей технологічних процесів. DFMEA може проводитися як для конструкції, що тільки розроблюється так і для вже існуючої. Метою проведення такого аналізу є виявлення потенційних невідповідностей конструкції, що викликають найбільший ризик споживача та внесення змін у конструкцію виробу, які б дозволили знизити такий ризик. Результати DFMEA є вхідною інформацією для подальшого PFMEA.

PFMEA зазвичай проводиться при плануванні виробництва з участю представників зацікавлених служб та за необхідності, представників споживача. Проведення PFMEA починається на стадії технічної підготовки виробництва і закінчується до монтажу виробничого обладнання. Формалізація виявлених невідповідностей під час аналізу PFMEA проводять шляхом обчислення пріоритетного числа ризиків (*ПЧР*)

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D, \quad (3.12)$$

де *S* - ранг значущості (тяжкості) наслідків відмови;

O - можливість виникнення причини відмови;

D - можливість виявлення виниклих самих відмов, причин відмов, або їх наслідків.

Складові S , O , D встановлюються експертним шляхом в діапазоні від 1 до 10 балів.

Під час визначення комплексного показника технологічного рівня використовуються різні оціночні методи: підсумовування, середньоарифметичної величини, добутку, обліку коефіцієнтів вагомості, кореляційно-регресійні, експертні, та інші [109, 152, 153].

В [135] наводяться ознаки, за якими можна класифікувати методи оцінки технічного рівня виробництва:

1. За формою вираження показника: методи оцінки за абсолютними і відносними показниками. Абсолютні показники - це результати «вимірювання» в конкретних умовах місця і часу, якщо можна застосувати слово «вимір» до нефізичних величин: до абсолютних показників може бути застосовано статистичне поняття абсолютних величин - іменованих чисел, що мають певну розмірність (одиниці виміру). Вони характеризують показники на певний момент часу або за період. На момент часу абсолютні величини показують стан явища (середній вік машин і обладнання), за період – результати процесу (рівень споживання електроенергії). У першому випадку абсолютні величини є моментними показниками, у другому - інтервальними. Теорія і практика техніко-економічного аналізу підприємств використовує поняття «абсолютного» технічного рівня як системи показників, які характеризуються абсолютними значеннями оціночних показників.

Відносні показники засновані на зіставленні показників розвитку оцінюваного об'єкта в порівнюваних періодах або порівнюваних об'єктів в певному періоді, на порівнянні абсолютних показників базового (еталонного) об'єкта. Отже, відносні показники служать для оцінки інтенсивності технічного розвитку і порівняння аналогічних об'єктів на основі абсолютних показників. По відношенню до абсолютних показників

відносні показники або показники в формі відносних величин є похідними (вторинними).

2. За ступенем формалізації: інтуїтивні та формалізовані. Формалізовані методи - кількісні, вони дозволяють робити чисельні оцінки в формалізованому вигляді з використанням формул, матриць, графіків. Інтуїтивні методи оцінки використовуються у випадках недостатності формалізованого опису об'єкта і неможливості кількісної оцінки, на практиці вони отримали назва кількісно невизначеної, або якісної оцінки. Якісна оцінка ведеться на основі знань, досвіду, інтуїції фахівців і полягає у виявленні та зіставленні переваг і недоліків оцінюваного об'єкта на основі логічних міркувань: «краще - гірше », « більше - менше » і т. д. Результати оцінки представляються у вигляді описів чи висновків.

Для формалізації якісних оцінок можуть бути використані шкали якісних ознак: шкала найменувань, шкала порядку, шкала інтервалів.

Прикладом шкали найменувань може служити список видів технологічного обладнання (верстатного парку), згрупований за ступенем автоматизації (машини з ручним керуванням, автоматизоване, автоматичне, гнучке програмоване обладнання) із зазначенням їх кількості. Шкала порядку забезпечує інформацією про впорядкування об'єктів за зростанням або спаданням будь-якої характеристики і виражається номером (місцем, рангом). Приклад шкали порядку - рейтинг підприємств за технічним рівнем виробництва. Шкала інтервалів містить інформацію про те, наскільки відрізняються об'єкти по вимірюваній характеристиці. За шкалою інтервалів організовані статистичне спостереження віку і відповідна якісна оцінка машин і обладнання: 0-5 років - нові, 5-10 років - застарілі, 10-20 років - підлягають модернізації, понад 20 років - підлягають заміні.

3. За ступенем опосередкованості впливу на результат оцінки: прямі і

непрямі методи оцінки. Прямі методи відносяться до безпосередньої оцінки ступеня розвитку засобів, способів і організації виробництва. Показники ступеня автоматизації виробництва, уніфікації та стандартизації, матеріаломісткості, енергоємності та трудомісткості продукції, кількості відходів виробництва служать для безпосередньої оцінки ступеня розвитку способів виробництва (технологічного процесу).

Непрямі методи оцінки спрямовані на підтвердження технічного рівня виробництва опосередковано. Наприклад, динаміка обсягу продаж, результати сертифікації продукції, показники економічної ефективності виробництва, сальдо торгового балансу є непрямим свідченням, а по суті - результатом певного технічного рівня виробництва.

4. В залежності від диференціації показників оцінки: за одиничними чи комплексними показниками. Одиничні показники характеризують окремі складові технічного рівня, комплексні – їх сукупність. Методи оцінки, диференційовані за одиничними показниками, спрямовані на оцінку за певним «головним» показником або доступному, отриманому за статистичними даними.

Прикладами оцінки за одиничними показниками є методи оцінки за коефіцієнтом автоматизації виробництва, середнім віком машин і устаткування, коефіцієнту використання матеріалу і ін. Методи оцінки за комплексним показником дозволяють подолати труднощі оцінки, пов'язані з неоднорідністю порівнюваних показників. До методів оцінки за комплексним показником відносяться метод бальних оцінок, методи рейтингової оцінки, методи оцінки за середньою зваженою арифметичною і геометричною величиною.

5. За ознакою інформаційного забезпечення оцінки все методи можуть бути або фактографічними, або експертними.

Фактографічні - методи, що базуються на використанні джерел фактичної інформації про об'єкт і його розвитку в зафіксованій,

«задокументованій» формі. До фактографічних даних відносяться відомості, що отримані безпосередньо з джерел їх виникнення. Технічні характеристики машин і устаткування, конструкторська і технологічна документація, норми витрати ресурсів, оперативні виробничі графіки, графіки технічного обслуговування та ремонту обладнання, матеріальні та енергетичні баланси, дані про введення та вибуття активної частини основних виробничих фондів підприємства, а також показники статистичних спостережень складають інформаційну основу фактографічних методів оцінки.

Експертні - методи, що базуються на інформації, одержаної від експертів в процесі систематизованих процедур виявлення і узагальнення їх думок. Експертні методи використовуються, якщо відсутні фактичні дані для кількісної оцінки або їх недостатньо. Вони застосовуються там, де для обґрунтованої оцінки потрібно колективна думка компетентних людей (експертів). Наприклад, оцінки, надані в ході проведення конференцій, нарад, комісій, технічної ради, носять експертний характер. Для чисельного вираження експертних оцінок застосовуються методи безпосередньої оцінки (призначення об'єктам числових значень в шкалі інтервалів), ранжування (упорядкування об'єктів), парного порівняння (встановлення переваги об'єктів при порівнянні всіх можливих пар), послідовного порівняння (комплексної процедури ранжирування і безпосередньої оцінки).

У зв'язку з відсутністю універсального методу, придатного для оцінки технічного рівня виробництва, з усього різноманіття методів вибирають і комбінують ті, які відповідають поставленій меті оцінки, часу і місця оцінки, рівнем знань про розвиток об'єкта.

При виборі методу і обґрунтуванні можливості його застосування в оцінці технічного рівня пропонується ряд критеріїв:

- освітленість методу в методичній літературі;

- поширеність практичного застосування методу;
- трудомісткість збору вихідної інформації і обробки інформації під час використання методу;
- складність освоєння методу оцінювачем;
- необхідність прийняття певних припущень або обмежень під час використання методу;
- наявність програмних продуктів, що автоматизують обробку інформації за допомогою даного методу;
- ймовірність отримання обґрунтованої оцінки.

Проведений аналіз показує, що існуючі методичні підходи до оцінки рівнів виробництва не відповідають вимогам системного підходу, що є принциповою відмітною особливістю сучасної теорії розвитку виробництва і вимагає певної адаптації для використання їх в рамках стратегічного управління організаційно-технічним розвитком підприємств.

3.3 Аналіз процедури та результатів атестації, як методу оцінки технічного рівня локомотиворемонтних виробництв

З метою підвищення якості ремонту та покращення технічного стану локомотива, встановлення єдиних вимог до локомотиворемонтних виробництв, комплексного підвищення технічного рівня та зміцнення ремонтної бази локомотивних депо у 2002 році Укрзалізницею була затверджена відповідна нормативна база [128] та запроваджена процедура атестації локомотиворемонтних виробництв.

Атестація локомотиворемонтних виробництв є процедурою, спрямованою на досягнення впевненості в тому, що його ремонтне виробництво і виробничі умови забезпечують можливість проведення

ремонту локомотива або його складових частин на рівні, який відповідає вимогам заданим нормативною документацією.

Цілями атестації локомотиворемонтних виробництв є:

- оцінка існуючого стану локомотиворемонтної бази;
- встановлення єдиних вимог до локомотиворемонтних виробництв;
- комплексне підвищення технічного рівня і зміцнення ремонтної бази локомотиворемонтних виробництв;
- підвищення якості ремонту і технічного стану локомотива;
- вдосконалення технології ремонту локомотива;
- підвищення продуктивності праці і зниження собівартості технічного обслуговування і поточного ремонту локомотива шляхом механізації і автоматизації виробничих процесів.

Починаючи з 2002 року процедура атестації проводилась Головним управлінням локомотивного господарства (ЦТ). Згідно розробленої процедури, в ЦТ щорічно розроблявся та затверджувався план-графік атестації, де вказувались локомотиворемонтні підприємства (базові локомотивні депо та дільниці локомотиворемонтних заводів) та відповідальний співвиконавець (організація, що надавала експертів для проведення обстежень виробництв).

Процедура атестації включає попереднє обстеження ремонтного виробництва для визначення його технічного рівня і оцінки можливості виконання відповідного виду ремонту відповідно до Правил ремонту відповідної серії локомотива. Службою локомотивного господарства залізниці спільно з депо розробляються заходи щодо усунення зауважень експертної групи, після виконання яких, ЦТ інформується про готовність депо до атестації. Для проведення атестації формується комісія в складі представника ЦТ, локомотивної служби та експертної групи. Крім того, до її складу включаються представники ЦРЛ, ЦУО, ЦТЗБ.

Під час роботи при обстеженні локомотивних депо експертна група керується Програмою обстеження, що затверджується ЦТ окремо для кожного депо, нормативною документацією УЗ [154, 155].

В ході експертної оцінки локомотиворемонтних виробництв особлива увага зверталась на: наявність нормативної, конструкторської та технологічної документації; дотримання технології виконання ремонту; наявне технологічне обладнання і інструмент, його метрологічне забезпечення; контроль якості ремонту; рекламації; систему вхідного контролю запасних частин; систему підготовки та перепідготовки кадрів; дотримання вимог охорони праці та екологічної безпеки; раціоналізаторську роботу.

Аналіз результатів обстежень дозволив визначити ті невідповідності, які притаманні більшості локомотивних депо.

Конструкторська документація. Найбільш сприятлива ситуація в цьому відношенні в локомотивних депо, що експлуатують та обслуговують локомотиви виробництва ХК Луганськтепловоз; тепловози 2ТЕ116, М62, 2ТЕ10М. В ряді депо конструкторська документація на локомотива імпортного виробництва (тепловози ЧМЕЗ, електровози серій ВЛ, ЧС) представлена не в повному обсязі. Не в повному обсязі також представлений комплект технологічних інструкцій (ТІ) для ремонту окремих вузлів, передбачених Правилами ремонту.

Технологічна документація. Представлена у вигляді комплекту технологічних документів на виконання ремонту локомотива певної серії тільки в деяких депо. В більшості депо техпроцеси відсутні (повністю або частково). Зокрема, в ряді депо є технологічні карти (ТК), якими забезпечуються безпосередньо ремонтні позиції або робочі місця.

Паспорт депо. Загальне зауваження по більшості депо - невпорядкований термінологія назв виробничих підрозділів, ділянок і відділень. Термінологія видів ремонту в паспорті не відповідає вимогам

нормативної документації (БПР, профілактика). Невідповідність переліку технологічного обладнання в паспорті і наявного на виробничих дільницях і у відділеннях. Додатки до паспорта у вигляді графічної частини наведені не в повному обсязі. Відсутні паспорти на будівлі і споруди депо.

Технологія ремонту. У всіх депо відзначається відступ від вимог правил ремонту або виконання їх в неповному обсязі. Як правило, це пояснюється відсутністю обладнання або його моральним і фізичним зносом.

За результатами обстеження експертною групою були видані рекомендації по оснащенню депо відповідним обладнанням або його модернізацією.

Так було визначено обладнання, без якого неможливо повністю дотримати технологію ремонту (так звані позачергові поставки) і обладнання, необхідне для вдосконалення технології ремонту (на перспективу).

Особливу тривогу викликає технічне оснащення дільниць по ремонту тягових електричних машин.

Як правило, не проводяться випробування тягових електричних двигунів (ТЕД) під навантаженням. В багатьох підприємствах відсутня можливість проведення просочення якорів, котушок полюсів без демонтажу їх з остова, паяння колекторів, бандажування, балансування якоря. Не проводиться контроль на міжвиткове замикання обмотки якоря і полюсних котушок, визначення зношування колекторних пластин, овальність і биття колектора. Продорожування колекторів виконується вручну. Відсутні калібри з перевірки конічної поверхні вала ТЕД під посадку шестерні. Не у всіх депо проводиться дефектоскопія валів якорів ТЕД.

У відділеннях з ремонту електричних апаратів не вимірюється омичний опір котушок контакторів, електропневматичних вентилів, реле.

Відсутні динамометричні ключі, шаблони контролю профілю губок, розчину контактів.

У всіх депо, які проводять ремонт електровозів змінного струму, у відділеннях з ремонту тягових трансформаторів умови навколишнього середовища не відповідають вимогам правил ремонту (по запиленості та вологості). Відсутня обладнання (для випробування електричної міцності ізоляції і сушки активної частини трансформатора; для вимірювання омічного опору обмоток трансформатора). Не витримується технологія заповнення бака трансформатора маслом.

Ділянки по ремонту дизелів та їх обладнання (дизель-агрегатні відділення). Найбільш часто зустрічались невідповідності як то: опресовування блоків дизелів та кришок циліндрів проводиться з порушенням вимог по температурі пресувальної рідини. Не проводяться випробування водяних і масляних насосів відповідно до вимог на випробування. Не дотримуються вимоги технології по контролю стану корінних і шатунних підшипників (натяг, площа прилягання до ліжка), шатунів (на скручування і згин стрижня шатуна), комплектування шатунно-поршневої групи по масі перед монтажем на дизель.

У відділеннях по ремонту паливної апаратури відсутні стенди перевірки плунжерних пар на гідравлічну щільність, герметичності нагнітального клапана, обкатування та випробування паливних насосів високого тиску на продуктивність.

У відділеннях по ремонту автогальмового апаратури відсутні набори типових гладких калібрів для контролю каліброваних отворів кранів машиніста, в більшості депо ці калібри власного виробництва. Гальмівні компресори не піддаються випробуванням з протитиском.

У відділеннях по ремонту роликів підшипників відсутні дефектоскопи для дефектоскопії кілець і роликів підшипників, не

зачищаються торці роликів. У деяких депо ремонт роликів підшипників обмежується переукомплектуванням елементів.

Під час складання колісно-моторних блоків не проводиться контроль складання (монтажу) тягового редуктора (бічний і радіальний зазор в зачепленні, звисання шестерні зубчастої передачі). Герметичність зварювальних швів кожухів тягових редукторів перевіряється рідиною, що не відповідає вимогам технологічної документації.

Виробнича документація на робочих місцях (технологічні карти, технологічні інструкції) в більшості депо на момент обстеження застаріла і потребує оновлення. Найчастіше зустрічається документація, що не затверджена керівництвом депо.

Метрологічне забезпечення. Ділянки та відділення недоукомплектовані засобами вимірювальної техніки в повному обсязі. Засоби вимірювання застаріли, сучасні практично відсутні. Частково відсутня документація на технологічне обладнання, стенди, пристосування власного виробництва. Недостатнє забезпечення шаблонами, калібрами і іншим контрольним інструментом.

Система вхідного контролю. В частині депо комісії з проведення вхідного контролю продукції забезпечена необхідним інструментом і пристосуваннями (в основному твердоміри). Переліки продукції в ряді випадків не затверджуються службою локомотивного господарства. Деякі депо вимагають розширення переліку продукції, що підлягає вхідному контролю. Не в повному обсязі наявні технологічні процеси на проведення вхідного контролю продукції.

Відділ головного механіка. Основні зауваження, загальні для більшості локомотивних депо, відсутність конструкторської документації (паспортів) на обладнання власного виробництва, графіки їх обслуговування та ремонту. Частково відсутня технологічна документація

з технічного обслуговування і ремонту технологічного устаткування і оснащення.

Система підготовки кадрів. Низька якість підготовки та підвищення кваліфікації працівників масових професій. Не завжди керівний склад депо проходить підвищення кваліфікації відповідно до встановлених термінів. У деяких депо констатована недостатня кваліфікація керівників середньої ланки (майстрів, бригадирів), що є наслідком низької організації технічного навчання (або його відсутності).

Слід зауважити, що початковий період атестації локомотиворемонтних виробництв (2002-10 рр.) характеризувався певною ефективністю. Керівництво та персонал підприємств з ентузіазмом відносились до усунення зауважень, а в планах капітальних вкладень закладались необхідні кошти на підвищення технічного рівня виробництв.

Це дозволило розробити або придбати комплекти технологічної документації на виконання ремонтів локомотива. Закупити необхідне технологічне обладнання, без якого неможливо гарантувати якість відповідного виду ремонту. Придбати відсутні засоби контролю (вимірювальна техніка, шаблони та інше).

В [154] розглядаються питання впливу результатів атестації на безпеку руху залізницею. На 2006 р. було обстежено – 47 локомотиворемонтних виробництв, в тому числі окремі дільниці заводів з ремонту локомотива, що входять в структуру Укрзалізниці, 32 з них атестовані.

Це призвело до певних зрушень у співвідношенні кількості транспортних подій, що виникли через неякісний деповський ремонт (рисунок 3.1). На ньому стовбцями показана кількість транспортних подій в локомотивному господарстві з вини неякісного деповського ремонту (В). Точки позначають дати атестації, та частку атестованих локомотивних депо (Нд) від загальної кількості (тих що проводять ремонт ПР-3 локомотива).

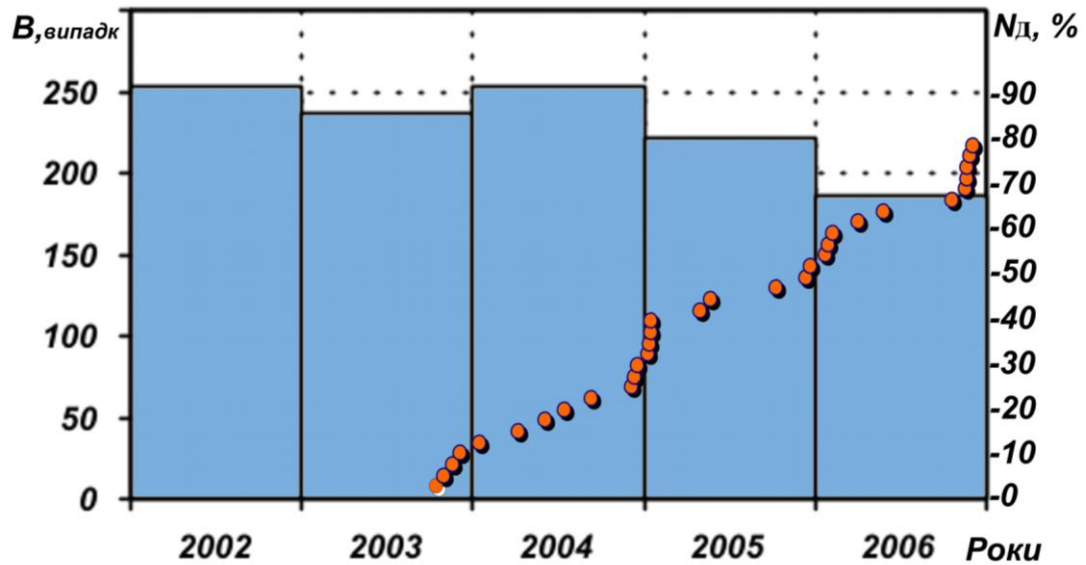


Рисунок 3.1 - Порівняння динаміки виникнення транспортних подій в локомотивному господарстві Укрзалізниці та проведення атестацій локомотивних депо

З діаграми видно, що до початку робіт з атестації локомотивних депо кількість транспортних подій трималась на рівні 250-240 випадків на рік.

Після того, як була розпочата робота по усуненню виявлених недоліків в локомотивних депо, проведені перші атестації, ситуація почала змінюватись. На момент, коли покращення стану локомотивних депо дозволило проводити 8-10 атестацій підприємств на рік, кількість транспортних подій почала стабільно зменшуватись з темпами 12-15 % на рік.

Виявлена тенденція в черговий раз доводить необхідність об'єктивної оцінки та підвищення технічного стану локомотиворемонтних виробництв.

Проведенні обстежень локомотиворемонтних виробництв в рамках його атестації на право проведення ремонтів локомотивів, виявлення

невідповідностей здійснюється експертною групою [128]. 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. З урахуванням ризик-орієнтованого підходу, невідповідності у ремонті вузлів, які обумовлюють безпеку руху, мають більш суттєве значення, ніж невідповідності у ремонті вузлів допоміжних або резервованих систем [156]. Аналіз результатів обстеження ЛРВ українських залізниць за період з 2002 по 2017 роки дозволив виявити, що всі експертні твердження невідповідностей ремонтного виробництва мають схожу структуру і можуть бути представлені у вигляді вектора

$$X = \langle x_1, x_2, x_3 \rangle \quad (3.13)$$

де x_1 - вид виявленої невідповідності;

x_2 - вид вузла, при ремонті якого виявлена невідповідність;

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.

Аналіз складових (3.13) дозволяє стверджувати, що x_1 є визначальною складовою, так як обумовлює вид невідповідності. За час існування процедури атестації локомотиворемонтного виробництва,

експертами був сформований обмежений перелік невідповідностей виробництва (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Розподіл невідповідностей локомотиворемонтного виробництва за компонентами та ступенем впливу на технологічний процес

Основні компоненти виробництва	Характеристика невідповідності / коефіцієнт впливу на технологічний процес		
	Незначні порушення / 0,05	Суттєві порушення / 0,2	Невиконання / 0,75
1	2	3	4
Документація	Застаріла, потребує оновлення чи перегляду.	Відсутність на робочому місці.	Відсутність на виробництві.
Обладнання та інструмент	Порушення термінів повірки чи калібрування інструменту.	Невідповідність стану обладнання та інструменту вимогам експлуатаційних документів.	Відсутність необхідного обладнання чи інструменту.
Виробниче середовище	Незначні невідповідності виробничого середовища.	Невідповідність виробничих приміщень вимогам техн. процесу.	Відсутність необхідних виробничих приміщень.
Персонал	Порушення термінів і планів технічного навчання та контролю знань виробничого персоналу.	Невідповідність кваліфікації персоналу при достатній кількості.	Недостатня кількість персоналу та невідповідність кваліфікації.

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Матеріали та запасні частини	Незначні порушення технології вхідного контролю чи порядку зберігання.	Відсутня система вхідного контролю та зберігання матеріалів та запасних частин.	Відсутність необхідних матеріалів та запасних частин.
Управління	Незначні порушення в виконанні службових обов'язків керівниками виробничих підрозділів.	Невідповідність керівників виробничих підрозділів встановленим вимогам.	Відсутність встановленої організаційної структури та керівників виробничих підрозділів

Основними компонентами, за якими розділяються невідповідності виробництва є «обладнання та інструмент», «персонал», «виробниче середовище», «документація», коефіцієнт вагомості яких обчислювався за даними [157]. В залежності від ступеня впливу на технологічний процес, невідповідності кожного компоненту виділялись в три групи: від тих, що здійснюють мінімальний негативний вплив (викликають незначні порушення технологічного процесу) до невідповідностей з максимальним негативним впливом (невиконання технологічного процесу). Кожній групі невідповідностей експертним шляхом призначався показник впливу на технологічний процес.

3.4 Оцінка значимості відмов вузлів локомотивів на основі теорії ризиків

Поняття критичності відмови застосовується з метою проведення класифікації відмов за їх наслідками. Така класифікація поширена в міжнародних документах ІСО, МЕК і ЕОКК, та а також в деяких галузевих документах. Критерієм для класифікації можуть служити прямі і непрямі втрати, викликані відмовами, витрати праці і часу на усунення наслідків відмов, можливість і доцільність ремонту. Тривалість простоїв через виникнення відмов, ступінь зниження продуктивності за відмови, що призводить до часткової втрати працездатності та інше [158]. Класифікація відмов за наслідками встановлюється за погодженням між замовником і розробником (виробником). Для простих об'єктів ця класифікація не використовується.

Під час класифікації відмов за наслідками можуть бути введені дві, три і більше число категорій відмов. У міжнародних документах ІСО, МЕК, ЕОКК розрізняють критичні (critical) і некритичні (non-critical) відмови.

Некритичні відмови поділяють на істотні (major) і несуттєві (Minor). Межі між категоріями відмов досить умовні.

Для проведення класифікації відмов за наслідками необхідний аналіз критеріїв, причин і наслідків відмов і побудова логічного і функціонального зв'язку між відмовами.

Як об'єкт дослідження було обрано тепловоз з електричною передачею потужності. На підставі інформації про взаємозв'язок основних вузлів і агрегатів було побудовано дерево відмов вузлів тепловоза в загальному вигляді (рисунок 3.2).

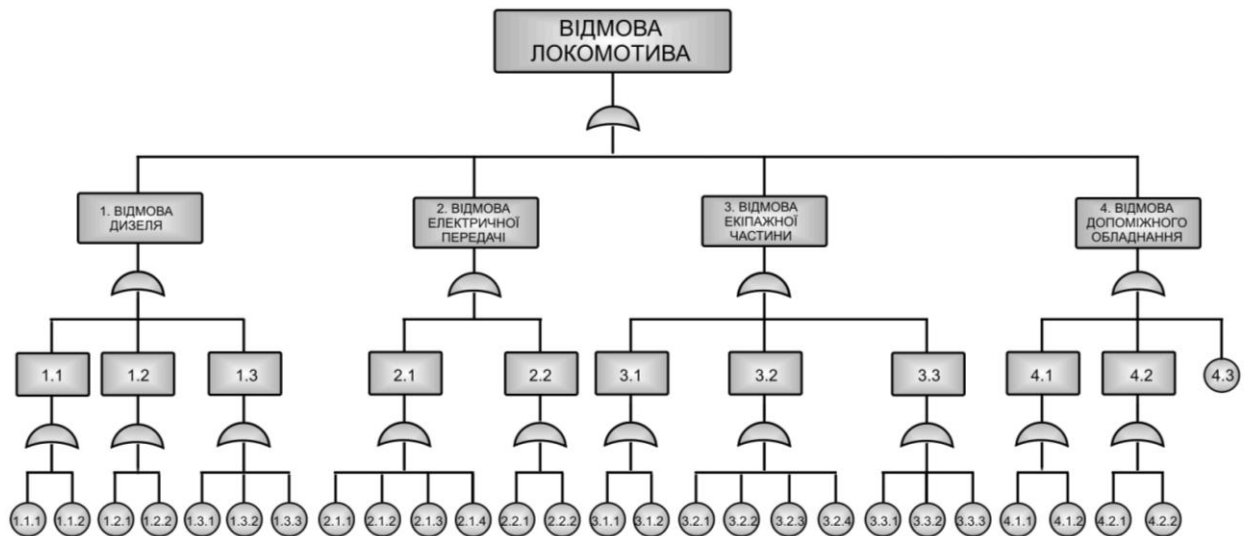


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд дерева відмов тепловоза

На рисунку 3.2, позначення 1.1 – 4.2 мають системи (групи вузлів) тепловоза, позначення 1.1.1 – 4.2.3 - вузли тепловоза.

Для оцінки ступеня впливу вузлів на стан тепловоза використовувались інструменти методів FMECA (аналіз видів і наслідків відмов) а саме експертні оцінки тяжкості наслідків кожного з відмов [159, 160].

Експерти в спеціальних опитувальних листах призначали бали значимості відмови кожного елемента за десятибальною шкалою, прийнятою в процедурі FMECA. Для цього стандартна шкала була доопрацьована з метою її адаптації до предметної області. Були прийняті наступні характеристики рангів:

- катастрофічний (Припинення виконання первинних функцій локомотива, загибель та тяжкі травми людей, важкі пошкодження інфраструктури та негативний вплив на навколишнє середовище) – 10 балів;

- критичний (припинення виконання первинних функцій локомотива, пошкодження інфраструктури та негативний вплив на навколишнє середовище) – 9 балів;
- небезпечний (припинення виконання первинних функцій локомотива) – 8 балів;
- дуже високий (часткова втрата первинних функцій локомотива) – 7 балів;
- високий (часткова втрата функціональності локомотива) – 6 балів;
- помірний (зниження якості роботи локомотива) – 5 балів;
- низький (відсутній вплив на функціональність, відмова викликає незадоволення персоналу) – 4 бали;
- дуже низький (відсутній вплив на функціональність, відмова помітна) – 3 бали;
- незначний (відсутні значні наслідки) – 2 бали;
- відсутній (відсутні помітні наслідки) – 1 бали.

Під час вимірювання об'єктів в порядковій шкалі, узгодженість оцінок експертів у вигляді ранжувань базується на понятті компактності. Для визначення міри узгодженості оцінок експертів застосовувався дисперсійний коефіцієнт конкордації

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} S, \quad (3.14)$$

де m – кількість експертів;

n – кількість об'єктів;

S – сума квадратів рангів.

Обчислений коефіцієнт конкордації склав 0,84, що свідчить про сильну узгодженість думок експертів.

Для визначення статистичної значимості ранжування використовують χ – розподілення з $(n - 1)$ ступенями свободи

$$\chi_p^2 = m(n - 1)W. \quad (3.15)$$

Згідно критерію $\chi_p^2=38,85$, що значно перевищує табличні значення для числа ступенів свободи $(n - 1)$ та рівня значимості $\alpha=0,01$, $\chi_p^2=18,5$ гіпотеза про статистичну значимість ранжування приймається.

Діапазон розподілу балів значимості від 5 (помірний) до 10 (катастрофічний). Відсутність оцінок нижній частині шкали (1 - 4) вказує на високу значимість відмов основних вузлів тепловоза (рисунок 3.3).

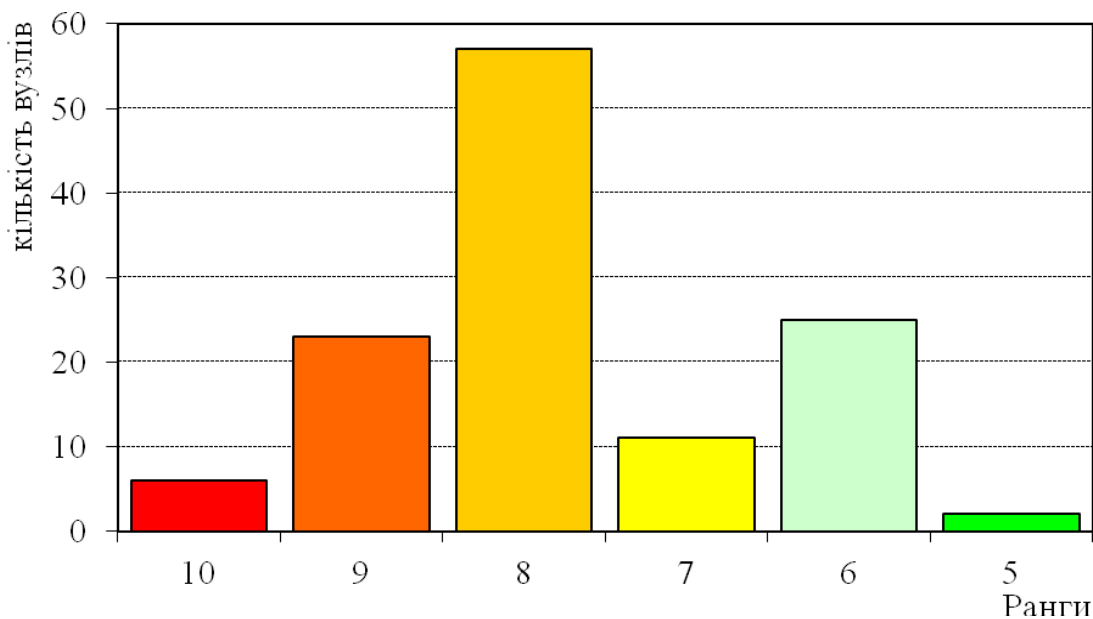


Рисунок 3.3 – Розподіл вузлів тепловоза за рангами значимості їх відмов

Для спрощення подальшої оцінки значимості, було прийнято рішення згрупувати отримані результати за принципом впливу відмови на безпеку або функціональність (рисунок 3.4). З побудованої діаграми видно, що відмови 23% вузлів є найбільш значущими (впливають на безпеку). Що

узгоджується також з принципом Парето. Відмови 55% вузлів тепловоза мають прямий вплив на його функціональність.

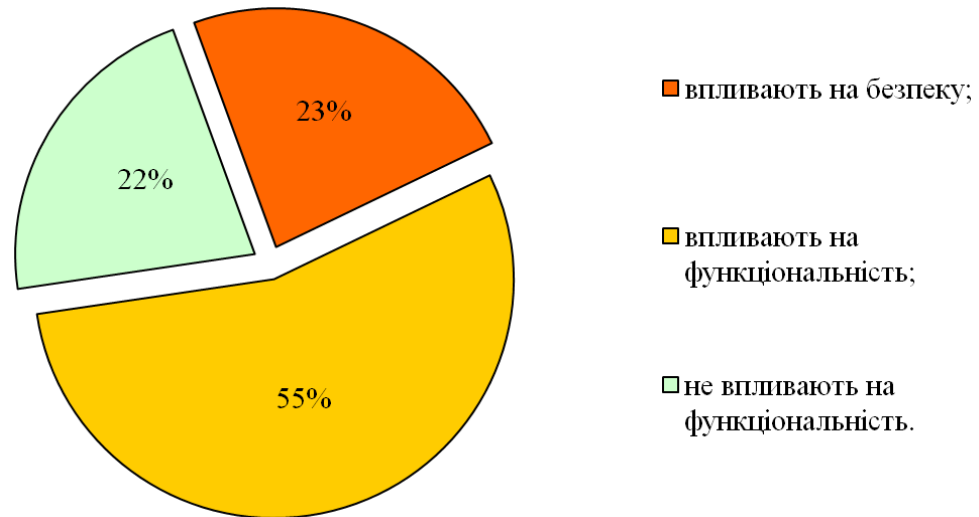


Рисунок 3.4 - Розподіл вузлів тепловозів за значимістю їх відмов

І відмови 22% вузлів частково або побічно впливають на функціональність.

Тобто в ряді випадків однієї події недостатньо для відмови всього локомотива. Для формалізації ризику відмови технічних систем, в ряді випадків використовують показник, який визначається як добуток значимості відмови і інтенсивності його виникнення.

Під час аналізу видів та наслідків відмов використовують число пріоритетного ризику (ЧПР) – добуток рангів значимості відмови, частоти її виникнення і можливості виявлення.

Графічно це реалізується в побудові матриці критичності відмов обладнання. Виділення на матриці областей рівних пріоритетів і призначення кожній відмові пріоритету коригувальних дій (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 - Матриця критичності відмов вузлів локомотива

Частота відмов		Ранги значимості відмов					
Ранг	Позн.	10	9	8	7	6	5
Часта	А	100	90	80	70	60	50
Ймовірна	В	90	81	72	63	54	45
Можлива	С	80	72	64	56	48	40
Рідка	Д	70	63	56	49	42	35
Малоймовірна	Е	60	54	48	42	36	30

Аналіз даних таблиці 3.2 ілюструє основний недолік такого підходу оцінки ризику - нелінійність отриманих значень. З матриці видно, що малоймовірна відмова найвищої значимості і відмова високої ймовірності, але низькою значимості можуть характеризуватися одним значенням ПЧР.

Така властивість вимагає подальшого доопрацювання експертних оцінок, з метою отримання об'єктивних характеристик значимості вузлів локомотивів.

З цією метою доцільно розглянути сучасні підходи до класифікації транспортних подій [161-163]. В основу системи класифікації транспортних подій на залізницях України та країн Східної Європи покладений принцип оцінки тяжкості наслідків, що виникли в результаті транспортної події. На залізницях країн Європейського Союзу (ЄС) транспортні події класифікують як за типом транспортних подій, так і за критерієм матеріальних збитків. Так згідно [161], тривалий час на залізницях Польщі користувались подвійною класифікацією у сфері безпеки, що передбачала ідентифікацію транспортних подій як за

національними вимогами (зіткнення, сходження та події на переїздах), так і за загальноєвропейськими вимогами, що викладені в директивах із безпеки руху 2004/49/ЄС та 2009/149/ЄС Європарламенту [164, 165]. Відповідно до них транспортні події класифікують за тяжкістю наслідків, що виражені у грошовому еквіваленті. Основними видами транспортних подій, зазначених в директивах є значна аварія та серйозна аварія. Значна аварія відповідає допущеним збиткам понад 150 тис. євро, а серйозна аварія понад 2 млн. євро. Такий підхід просто і прозоро розподіляє транспортні події, що робить його найбільш зручним у використанні.

Для поставленої задачі, оцінка значимості відмов вузлів локомотивів за величиною матеріальних збитків дозволить додати кількісну складову та підвищити адекватність результатів.

Використання даних локомотивних депо щодо вартості усунення відмов різних вузлів локомотивів була складена відповідна таблиця (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Розподіл вузлів локомотивів по значимості наслідків їх відмов

Групи вузлів локомотива	Характеристики наслідків відмов вузлів локомотива		Інтервали можливих матеріальних збитків, тис. грн.
	За методикою FMEA	За «Положенням» (нак. № 235 від 25.07.17 р.)	
1	2	3	4
Колісна пара; Гальмівне обладнання; Прилади безпеки	Катастрофічний	Катастрофа	800-1800

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
Рама локомотива; Рама візка; Автозчеплення; Тяговий редуктор; Буксовий вузол	Критичний	Катастрофа/ аварія	400-1000
Вузли та системи дизеля; Тяговий генератор; Тяговий двигун;	Небезпечний	Інцидент	200-400
Електричні апарати силових кіл	Дуже високий	-	20-250
Допоміжні електричні машини; Електричні апарати кіл управління	Високий	-	10-30
Система повітрязабезпечення дизеля, Акумуляторна батарея	Помірний	-	2-15

Для випадків, коли відносно вагових коефіцієнтів відомі інтервали їх можливих значень (інтервальні співвідношення впорядкування): $a_i \leq w \leq b_i$, в [163] пропонується застосовувати формулу, що отримала назву як третя формула Фішберна

$$\alpha_i = x_i + \frac{1 - \sum_{i=1}^m x_i}{\sum_{i=1}^m (y_i - x_i)} (y_i - x_i), \quad i = \overline{1, m}, \quad (3.16)$$

де $x_i < y_i$, $\sum_{i=1}^m x_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^m y_i \geq 1$.

Обчислення за (3.16) дозволили визначити вагові коефіцієнти вузлів локомотивів за значимістю їх відмов (рисунок 3.6).

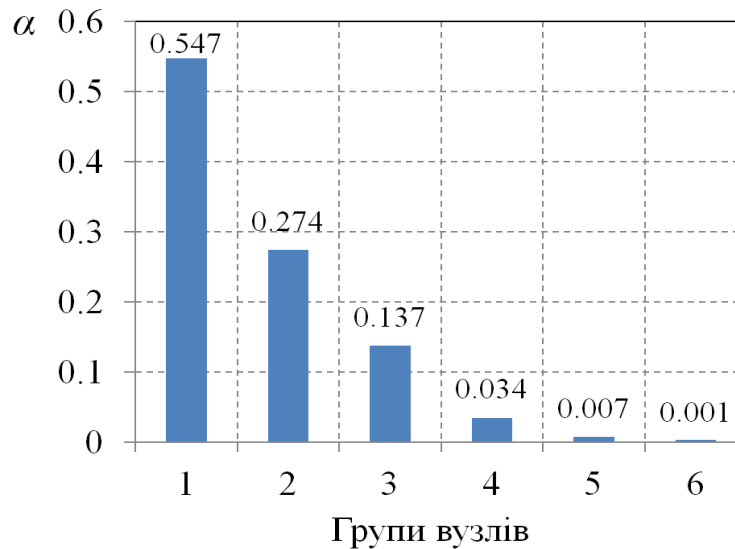


Рисунок 3.6 - Розподіл вагових коефіцієнтів груп вузлів локомотивів за значимістю їх відмов

3.5 Визначення ступеню впливу виду технологічних процесів ремонту на справність вузлів локомотивів

Необхідність у формалізації експертних тверджень щодо невідповідностей локомотиворемонтного виробництва вимагає визначення ступеню впливу виду технологічного процесу, на справність вузлів локомотивів після ремонту.

В сучасних умовах підвищення вартості енергоносіїв, пошуку додаткових резервів економії ресурсів та підвищення якості виробництва, питання визначення впливу технологічних процесів на стан вузлів і агрегатів машин стають об'єктом багатьох досліджень. Найбільш поширеним і простим методом визначення ступеню впливу технологічних процесів є експертна оцінка. Так в [166, 167] шляхом експертного

опитування визначаються коефіцієнти вагомості технологічних операцій підготовки сільськогосподарської техніки до зберігання. В [168] розраховується критичність порушення технологічних процесів на основі бальної експертної оцінки критеріїв в рамках процедури аналізу видів та наслідків потенціальних дефектів (Potential Failure Mode and Effects Analysis, FMEA). Недоліками підходів із застосуванням експертних оцінок є необхідність залучення багатьох кваліфікованих спеціалістів, складність при врахуванні рівня компетентності експертів, зниження адекватності результатів при збільшенні кількості об'єктів оцінки, що вказує на доцільність застосування розрахункових методів при вирішенні задач такого роду [169].

Для підвищення точності визначення вагомостей технологічних операцій в [170] пропонується використання регресійного аналізу результатів спостережень. В якості вихідних даних розрахунку використовують значення долі зношення, що приходить на одну технологічну операцію. Отримання таких даних пов'язане з великим обсягом спостережень, та потребує додаткових робіт для кожного окремого розрахунку при зміні умов експерименту. В роботі [171] ранг технологічних операцій визначають в результаті побудови графу технологічного процесу та визначення сумарної кількості зв'язків операцій. Такий підхід може давати позитивні результати при аналізі розгалужених технологічних процесів з великою кількістю зв'язків та переходів. Для аналізу технологічних процесів з послідовним виконанням операцій ранги всіх операцій будуть однакові.

Наявність досліджень в цьому напрямку вказує на актуальність задач, пов'язаних з визначенням впливу технологічних процесів на стан вузлів і агрегатів машин. Однак існуючі методи не дозволяють визначати ступінь впливу окремих технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів на їх справність після ремонту.

Ремонт машин полягає в виявленні та усуненні їх несправностей, що обумовлює основні відмінності ремонтного виробництва від машинобудівного. Ремонт вузлів і агрегатів локомотивів проводиться в рамках виробничого процесу, що обумовлює організацію та послідовність виконання ряду основних та допоміжних технологічних процесів ремонту. Існуюча технологія ремонту вузлів і агрегатів локомотивів формувалась до активного розвитку та поширення методів і засобів оцінки технічного стану об'єктів. Тому навіть для виявлення несправностей більшості вузлів і агрегатів проводиться їх розбирання. Виробничий процес ремонту більшості вузлів і агрегатів локомотива характеризується певним порядком виконання основних технологічних процесів з очищення, контролю стану, розбирання, відновлення, комплектування та збирання, обкатування та випробування (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 - Схема виробничого процесу ремонту вузла локомотива

Процес ремонту окремого вузла чи агрегату можна віднести до простих виробничих процесів, тобто таких, що складаються з технологічних процесів, що виконуються послідовно. Порушення в виконанні кожного технологічного процесу ремонту може призводити до не виявлення несправності вузла (деталі), чи навіть до появи несправності, і, як наслідок, випуску несправного вузла з ремонту. Технологічні процеси, що входять до виробничого процесу ремонту вузла локомотива різняться за складністю виконання, трудомісткістю, застосованим обладнанням, інструментом та точністю, отже порушення кожного з них може здійснювати вплив різного ступеню на відмову вузла після ремонту.

В [172] розглядаються питання визначення показників важливості окремих елементів системи. Вказується на те, що більшість відомих методів оцінки величини впливу окремих елементів на безвідмовність системи в цілому базується на знанні ймовірностей вихідних подій.

Найбільш поширеним показником, що характеризує ступінь впливу окремого елемента на надійність системи є «значимість» елемента. В залежності від конкретних умов, а значить і наявної інформації про систему, розділяють статистичну, структурну, номінальну чи ситуаційну значимість елемента [173]. За відсутності кількісної інформації про надійність елементів структурно-складної системи, їх вплив на надійність всієї системи можна визначити за допомогою поняття «вага» елемента в структурі [174]. Якщо виробничий процес ремонту вузла локомотива представити як структурну систему, що складається з окремих елементів (технологічних процесів та операцій), то визначення вказаних показників дозволить виявити вплив окремих технологічних процесів (операцій) ремонту на результат. В ряді галузей, що пов'язані з високим ступенем ризику (аерокосмічна, енергетична, хімічна, машинобудівна), для виявлення причинно-наслідкових зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями використовують формалізовані моделі

розвитку подій шляхом побудови та аналізу «дерева відмов» (FaultTreeAnalysis – FTA) [175, 176]. Структура «дерева відмов» включає одну головну подію (аварію, інцидент), що з'єднується з набором відповідних вихідних подій (помилки, відмов, несприятливих зовнішніх впливів), що утворюють причинні ланцюги (сценарії аварій). Для зв'язку між подіями у вузлах «дерев» використовуються оператори «І» і «АБО». 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 (рисунок 3.8).

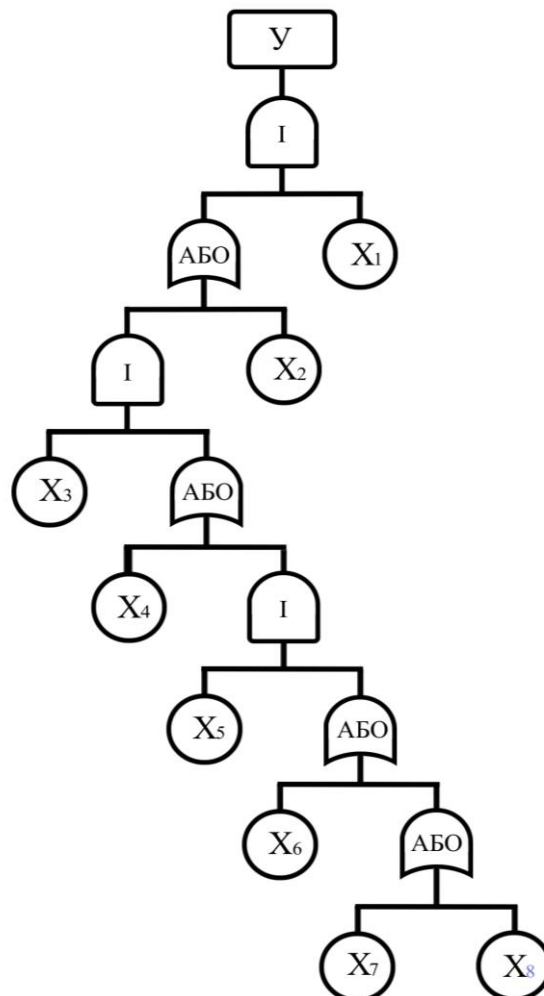


Рисунок 3.8 - Дерево відмов виробничого процесу ремонту вузла
локомотива

Отримана ДНФ не є досконалою (має різні ранги елементарних кон'юнкцій), для проведення подальших розрахункових процедур, ДНФ перетворюють до однієї з стандартних форм переходу, що допускають заміщення логічних змінних ймовірностями, а логічних операцій арифметичними. При логіко-ймовірнісному аналізі безпеки систем, ДНФ використовують для переходу функцій алгебри логіки до імовірнісних функцій. За відсутності статистичних даних по ймовірностям базисних подій, вплив елемента на стан системи доцільно визначати за його вагою, що базується на логічній моделі, відповідає показнику структурної значимості та згідно [177] визначається як

$$g_{x_i} = \frac{k_1^{(i)} - l_0^{(i)}}{2^{m-1}}, \quad (3.20)$$

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 залежністю (3.20), ДНФ функції необхідно перетворити в ДДНФ виду (3.21). Перетворення проводилось із застосуванням калькулятора логічних виразів спеціалізованих програмних засобів.

Розрахунок вагомості за залежністю (3.20), та за даними ДДНФ (3.21) дозволив визначити, що технологічні процеси ремонту різняться за ступенем впливу на справність вузла локомотива після ремонту (таблиця 3.4).

І якщо справність вузла – це його стан, за яким він відповідає усім вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації, то вагомість технологічного процесу ремонту можна сформулювати як показник, що визначає ступінь впливу технологічного процесу ремонту на справність вузла після випуску з ремонту.

Для перевірки адекватності отриманих результатів проводиться ранжування технологічних процесів. Експертною групою в рамках комплексної оцінки [127]. Ступінь узгодженості експертів визначається за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла (3.14).

Розрахований коефіцієнт конкордації проведеного ранжування складає 0,832, що вказує на високий ступінь узгодженості експертів. При порівнянні результатів визначення вагомості технологічних процесів видно, що дані ранжування відповідають значенням, отриманим розрахунковим шляхом (рисунок 3.9), що підтверджує їх адекватність.

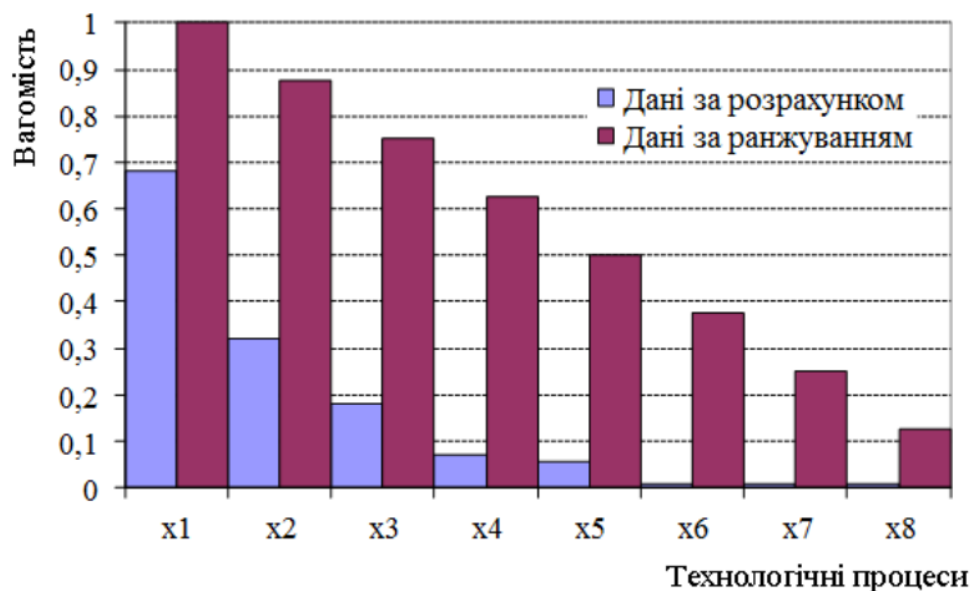


Рисунок 3.9 - Порівняння значень вагомості технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів локомотивів, визначених за розрахунком та ранжуванням

За результатами обчислень найбільше значення вагомості має технологічний процес «Обкатування та випробування». Причому в даних, отриманих за розрахунком, значення його вагомості більше за сумарну вагомість всіх попередніх технологічних процесів.

Отже визначено, що до виробничого процесу ремонту більшості вузлів і агрегатів локомотивів входять технологічні процеси очищення, контролю стану, розбирання, відновлення, комплектування та збирання, обкатування та випробування.

В процесі ремонту окремого вузла чи агрегату, порядок виконання вказаних технологічних процесів – послідовний. Означені технологічні процеси різняться за складністю виконання, трудомісткістю, застосованим обладнанням, інструментом та точністю, отже порушення кожного з них може здійснювати вплив різного ступеню на відмову вузла після ремонту.

Виявлено, що найбільш поширеним показником, який характеризує ступінь впливу окремого елемента на надійність системи, є «значимість» елемента. За відсутності кількісної інформації про надійність елементів структурно-складної системи, їх вплив на надійність всієї системи визначається за допомогою поняття «вага» елемента в структурі.

Для визначення ваги технологічних процесів, виробничий процес ремонту вузла локомотива представлявся як структурна система, що складається з окремих елементів (технологічних процесів та операцій). Виявлення причинно-наслідкових зв'язків відмов отриманої системи з відмовами її елементів та іншими подіями проводилось шляхом використання формалізованої моделі розвитку подій шляхом побудови та аналізу «дерева відмов» (FaultTreeAnalysis – FTA).

Виконано формалізацію дерева відмов в матричній та спрощеній формі. Отримана функція працездатності системи, що приводилась до ДНФ. Для обчислення ваги технологічних процесів, функція у ДНФ

перетворювалась до досконалої форми із застосуванням спеціалізованих програмних засобів.

Проведені обчислення показали, що технологічні процеси ремонту мають різну вагу, отже відрізняються за ступенем впливу на справність вузла після ремонту. Найбільший вплив (вагу) 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. Допоміжні процеси, які виконуються на початкових етапах ремонту (розбирання, передремонтна оцінка та очистка вузла) мають мінімальну вагу – 0,008.

Для перевірки адекватності отриманих результатів проводилось порівняння даних, отриманих в результаті розрахунку, та експертної оцінки (ранжування). Розташування процесів в порядку збільшення переваг за ранжуванням повністю відповідає їх розташуванню в порядку збільшення вагомості за розрахунком, що підтверджує їх адекватність.

3.6 Розробка комплексного показника технічного рівня локомотиворемонтного виробництва

Отримання кількісних оцінок складових (3.13) невідповідностей потребує пошуку методів, які могли б враховувати вплив цих складових на кінцевий результат діяльності.

Для оцінки альтернатив за векторним критерієм застосовуються перетворення, що переводять багатокритерійну задачу в однокритеріальну. Існує ряд підходів переводу векторного критерію в скалярний вид [178, 179]. Однак найбільш поширеним і простим є метод зваженої суми. Його

застосування для вирішення поставленого завдання може забезпечити більшу об'єктивність відносно інших методів з компенсуючим ефектом. З урахуванням того, що в процесі формалізації, обчислюється вагомість виявленої невідповідності виробництва, що може змінюватись в межах від 0 до 1, для визначення інтегральних оцінок невідповідностей ремонтних позицій можна використовувати вираз

$$R = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^p \gamma_k \lambda_i x_i t_i, \quad \sum x_i = 1, \quad \sum \lambda_i = 1, \quad \sum \gamma_k = 1, \quad R \rightarrow 0, \quad (3.22)$$

$$t_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо невідповідність виявлена} \\ 0, & \text{якщо невідповідність відсутня} \end{cases}$$

де λ_i – показник, що характеризує ступінь впливу невідповідності на технологічний процес ремонту;

x_i – коефіцієнт вагомості технологічних процесів ремонту;

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

γ_i – коефіцієнт вагомості компонента ремонтного виробництва.

Після отримання інтегральних оцінок невідповідностей ремонтних позицій (3.22), виникає необхідність їх агрегування, але вже з урахуванням значимості різних вузлів, що ремонтуються. Оцінка значимості вузлів локомотивів була проведена згідно ризикорієнтованого підходу, відповідно до значимості їх відмов в експлуатації. Оскільки ці дані залежать від особливостей конструкції вузлів локомотивів і ряду зовнішніх факторів, їх оцінку необхідно проводити окремо для кожного парку локомотивів в умовах певного полігону експлуатації. З огляду на обраний спосіб скаляризації критеріїв (3.22), обчислені вагові коефіцієнти

складових, загальний показник технічного рівня виробництва з ремонту локомотивів набуде вигляду потрійної адитивної згортки

$$K_c = 1 - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^p \alpha_j \gamma_k \lambda_i x_i t_i, \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad K_c \rightarrow 1, \quad (3.23)$$

де α_j – коефіцієнт вагомості значимості відмови вузла локомотива, при ремонті якого допускається невідповідність.

Визначений показник характеризує загальний технічний рівень ремонтного виробництва, причому, чим вище його значення, тим вище рівень.

За розробленою методикою проводилась оцінка рівня відповідності локомотиворемонтних підприємств українських залізниць. Аналіз результатів оцінки (таблиця 3.5) показує, що обстежені виробництва різняться за рівнем відповідності, а комплексний показник K_c лежить у межах 0,6...0,87. Відсутність суттєвих відмінностей значень K_c виробництв з ремонту тепловозів та електровозів пояснюється індивідуальним підходом при визначенні коефіцієнтів вагомості значимості α_j вузлів різних локомотивів.

У теперішній час стан ремонтного виробництва є основним чинником, що обумовлює надійність локомотивів в експлуатації, тому підтвердження адекватності отриманого показника технічного рівня ремонтного виробництва можливе за рахунок визначення його зв'язку з технічним станом локомотивів.

В умовах використання недосконалих форм реєстрації відмов та пошкоджень локомотивів, неможливості відстеження збільшення обсягу робіт при планових видах ремонту через низький технічний стан

локомотивів найбільш об'єктивним показником, що відображає стан локомотивів, є витрати на їх утримання.

Таблиця 3.5 - Значення показника технічного рівня локомотиворемонтних виробництв українських залізниць

		K_c виробництв з ремонту	
		електровозів	тепловозів
Підприємства з ремонту локомотивів	1	0,60	0,61
	2	0,62	0,64
	3	0,66	0,67
	4	0,68	0,70
	5	0,71	0,71
	6	0,73	0,77
	7	0,79	0,79
	8	0,81	0,83
	9	0,82	0,84
	10	0,87	0,86

Зважаючи на різний термін експлуатації та технічний стан локомотивів різних серій, витрати приводилися у вигляді питомого показника (коефіцієнту перевитрат $S_{ПВ}$)

$$S_{ПВ} = \frac{S_{\Phi}}{S_{Пл}}, \quad (3.24)$$

де S_{Φ} - фактичні витрати на ремонт локомотива в рік, тис. грн.;

$S_{Пл}$ - планові витрати на ремонт локомотива в рік, тис. грн.

На основі поля кореляції висувалася гіпотеза, що характер зв'язку між значеннями K_c та $S_{ПВ}$ має експоненціальний характер (рисунок 3.10).

Після визначення параметрів регресії методом найменших квадратів, були отримані регресійні залежності для виробництв з ремонту тепловозів (6) та електровозів (7):

$$S_{ПВ}^m = 7,11 \cdot e^{-1,884K_c} \quad (3.25)$$

$$S_{ПВ}^e = 3,87 \cdot e^{-1,352K_c} \quad (3.26)$$

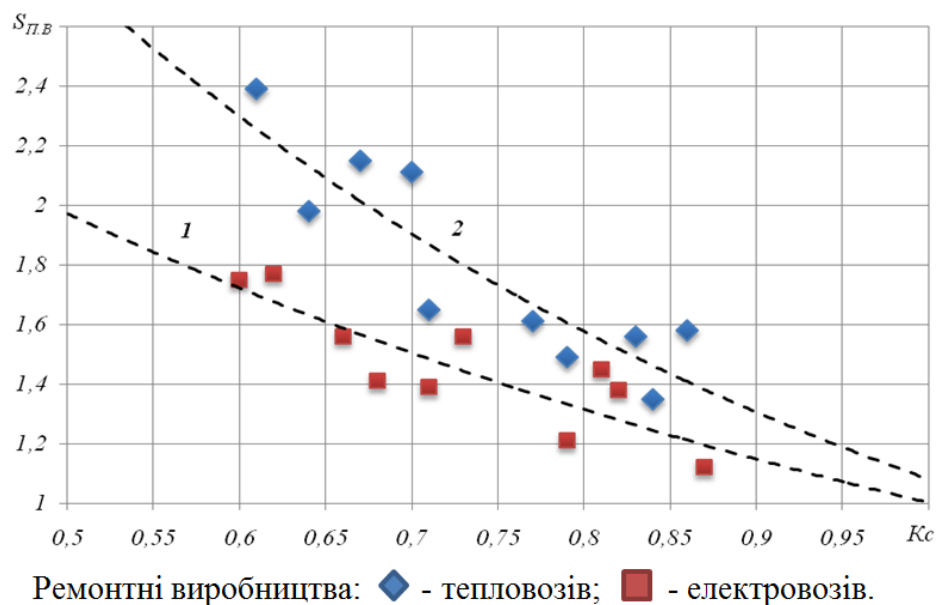


Рисунок 3.10 - Визначення характеру зв'язку відносних витрат на ремонт локомотивів від показника технічного рівня ремонтного виробництва

Статистична значимість рівнянь перевірена за допомогою коефіцієнта 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. Це вказує на високу точність підбору рівнянь регресії та добре узгоджується з тими

фактами, що причинами відмов локомотивів в експлуатації в 60 – 70 % випадків є неякісний ремонт. Отримані значення коефіцієнтів еластичності вказують, що збільшення показника технічного рівня ремонтного виробництва на 1 %, призведе до зменшення витрат на 1,88 % на утримання тепловозів та на 1,35 % на утримання електровозів. Що підтверджує адекватність визначеного показника технічного рівня локомотиворемонтного виробництва. З використанням F-критерію встановлено, що отримані рівняння регресії є статистично значимими ($F_T=32,38$, $F_e=20,36$, $F_{\text{табл}}=5,32$, $F_T > F_{\text{табл}}$, $F_e > F_{\text{табл}}$). Отримані результати доводять, що показник технічного рівня ремонтного виробництва здійснює значний вплив на перевитрати на ремонт локомотивів, що обумовлює їх технічний стан.

Аналіз даних обстежень локомотиворемонтних виробництв які проводять ремонт в обсязі ПР-3 показує, що загальна кількість виявлених невідповідностей лежить в межах 20-30. Природно, що найбільший негативний вплив матимуть невідповідності, які характеризуються максимальними значеннями критеріїв. Тобто визначення допустимих значень показника відповідності ремонтного виробництва пов'язано з оцінкою кожного критерію, що враховується при його обчисленні. На основі робіт [169, 180] визначались такі значення критеріїв показника відповідності, що можуть бути причиною тяжких наслідків при відмові відремонтованого локомотива в експлуатації (таблиця 3.6).

Тобто, невідповідність, що пов'язана з невиконанням технологічних операцій ($\lambda_i=0,75$) по післяремонтному випробуванню ($x_i=0,68$) вузла який безпосередньо впливає на безпеку руху ($\alpha_j=0,547$), з причин відсутності необхідного обладнання ($\gamma_k=0,368$) характеризується найбільшими значеннями критеріїв, та матиме вагомість 0,102.

Таблиця 3.6 - Визначення граничних значень критеріїв показника технічного рівня ремонтного виробництва

Рівень невідповідності	Критерії показника технічного рівня				Π	K_c
	λ_i	x_i	γ_k	α_j		
Високий	0,75	0,68	0,368	0,547	0,102	0,898
Середній	0,2	0,68	0,368	0,274	0,013	0,986
Низький	0,05	0,68	0,368	0,274	0,003	0,996

Виконання технологічного процесу з суттєвими порушеннями з ремонту вузла що не впливає на безпеку руху матиме невідповідність середнього рівня – 0,013. Тоді невідповідності низького рівня матимуть вагомість від 0,003. Розподіл невідповідностей різних рівнів на шкалі значень показника технічного рівня виробництва наведено на рисунку 3.11, що чітко показує на суттєву відстань по шкалі між значеннями рівнів невідповідностей «Низький» та «Середній» і «Високий». Такий розподіл можна вважати перевагою підходу, тому що однією з основних цілей визначення технічного рівня виробництв є виявлення та усунення саме критичних невідповідностей.

Однак під час визначення рівнів невідповідностей, вони розглядались в однині. Для оцінки інформативності загального показника технічного рівня, що може обчислюватись за кількома десятками невідповідностей, в роботі розглядались різні варіанти комбінацій невідповідностей. Як було зазначено вище, комплексний показник обстежених локомотиворемонтних виробництв K_c лежить у межах 0,6...0,87.

Значить загальний рівень невідповідностей знаходиться в межах $\Pi=0,4...0,13$. Для аналізу приймалось фіксоване значення – 0,4. Виходячи із обчислених граничних значень невідповідностей (таблиця 3.6), можна зазначити, що показник $\Pi=0,4$ може відповідати наступним комбінаціям

невідповідностей: 4 невідповідності низького рівня; 3 невідповідності низького та 7 невідповідностей середнього (або 27 невідповідностей високого) рівня; 2 невідповідності низького та 14 невідповідностей середнього (або 57 невідповідностей високого) рівня; 1 невідповідність низького та 22 невідповідностей середнього (або 87 невідповідностей високого) рівня; 29 невідповідностей середнього (або 117 невідповідностей високого) рівня (рисунок 3.12).

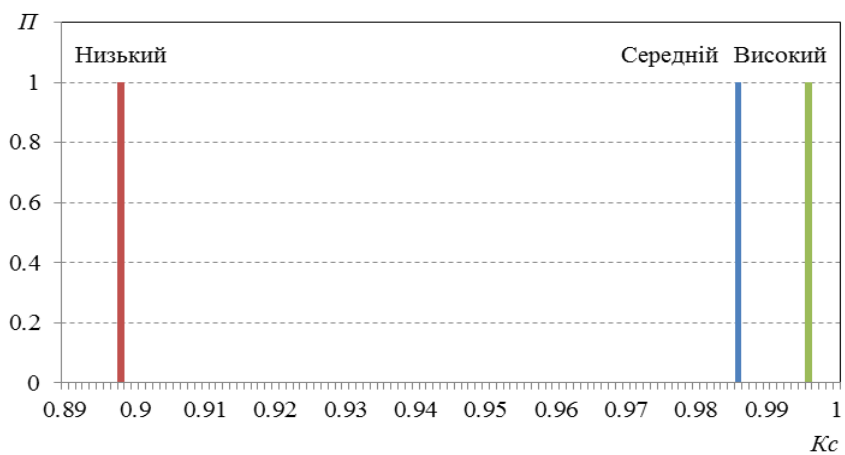


Рисунок 3.11 – Розподіл невідповідностей різних рівнів на шкалі значень показника технічного рівня виробництва

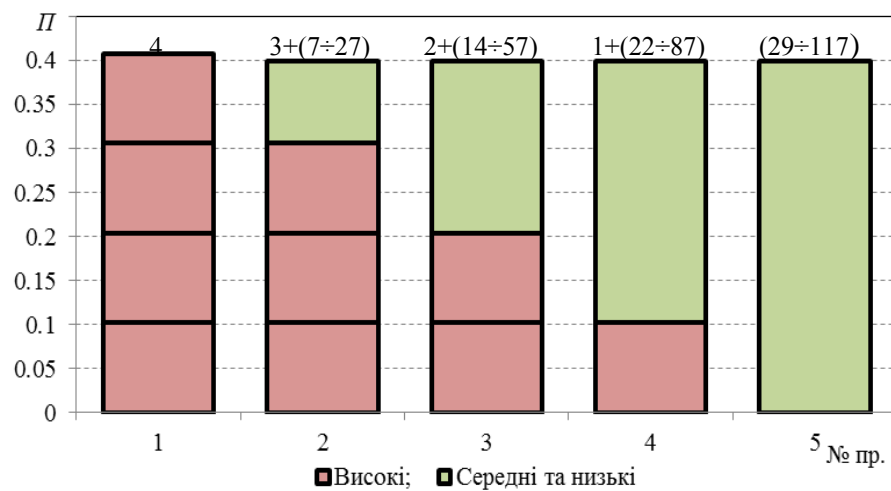


Рисунок 3.12 – Приклади комбінації рівнів невідповідностей ремонтних виробництв

З огляду на те, що обстеження одного локомотиворемонтного виробництва дозволяє виявити невідповідності в кількості 20-30 одиниць, можна зазначити, що виробництва що відповідають показнику технічного рівня 0,3-0,4 можуть мати будь який з наведених варіантів розподілу рівнів невідповідностей.

Це вимагає врахування під час розробки процедури визначення технічного рівня локомотиворемонтних виробництв в частині ідентифікації невідповідностей високого рівня на всіх етапах оцінки.

3.7 Висновки до розділу 3

1. Проведений аналіз показує, що існуючі методичні підходи до оцінки рівнів виробництва не відповідають вимогам системного підходу, що є принципово відмінною особливістю сучасної теорії розвитку виробництва і вимагає певної адаптації для використання їх в рамках стратегічного управління організаційно-технічним розвитком підприємств.

2. В результаті аналізу результатів обстеження локомотиворемонтних виробництв українських залізниць за період з 2002 по 2017 роки, виявлено, що всі експертні твердження невідповідностей ремонтного виробництва мають схожу структуру і можуть бути представлені у вигляді вектора, що включає вид виявленої невідповідності, вид вузла та тип технологічного процесу, під час виконання якого виявлено невідповідність. Виділені типові невідповідності ЛРВ за рядом виробничих компонент, проведено їх класифікацію за критерієм впливу на технологічний процес.

3. Проведено оцінку значимості вузлів локомотивів з точки зору ризик-орієнтованого підходу, відповідно до значимості наслідків їх відмов в експлуатації. На прикладі тепловоза з електричною передачею

визначено, що відмови 23% вузлів є найбільш значущими (впливають на безпеку руху), відмови 55% вузлів мають прямий вплив на функціональність та 22% вузлів частково або опосередковано впливають на функціональність. Призначення групам вузлів інтервалів можливих матеріальних збитків в результаті відмови дозволило обчислити вагові коефіцієнти вузлів локомотивів за рангами: катастрофічний – 0,547, критичний - 0,274, небезпечний – 0,137, дуже високий – 0,034, високий 0,007, 0.001.

4. Проведені обчислення показали, що технологічні процеси ремонту мають різну вагу, отже відрізняються за ступенем впливу на справність вузла після ремонту. Найбільший вплив (вагу) мають технологічні процеси, які виконуються на заключних етапах ремонту: «обкатування 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. Допоміжні процеси, які виконуються на початкових етапах ремонту (розбирання, передремонтна оцінка та очистка вузла) мають мінімальну вагу – 0,008.

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.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ РЕМОНТУ ВУЗЛІВ ЛОКОМОТИВІВ

4.1 Теоретичне обґрунтування застосування методології RCM для ремонту вузлів локомотивів

Надійна робота локомотивів в експлуатації забезпечується, в першу чергу, за рахунок науково-обґрунтованої і економічно виправданої стратегії їх технічного обслуговування і ремонту. Існуюча стратегія ТОіР призначена для попередження поступових відмов локомотивів, тому будується на планово-попереджувальному принципі. Під час її побудови прагнуть якомога повніше вичерпати ресурс деталей і вузлів, що закладений під час їх виготовлення. Оскільки існуюча стратегія має на меті попередження поступових відмов локомотивів, то пробіги між різними ремонтами встановлювались в залежності від інтенсивності зношувань найбільш відповідальних вузлів і деталей.

Довгий час в техніці переважав класичний погляд на закономірність відмов невідновлюваних об'єктів, властивість безвідмовності яких визначається інтенсивністю відмов (рисунок 4.1) [22]. Типова залежність інтенсивності відмов від часу має три характерних відрізка: I - період припрацювання і відмов неякісних виробів; II - період нормальної експлуатації, (інтенсивність відмов приблизно постійна); III - період старіння (відмови викликані зносом деталей та/чи старінням матеріалів). Інтенсивність відмов позначається $\lambda(t)$ та являє собою умовну щільність виникнення відмови об'єкта, яка визначається для даного моменту часу або напрацювання за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Інакше інтенсивність відмов - це відношення числа елементів $n(t)$, що відмовили в

одиницю часу або пробігу до числа елементів N_c , які справно працюють в даний відрізок часу Δt

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_c \Delta t}. \quad (4.1)$$

Інтенсивність відмов як кількісна характеристика надійності має ряд переваг: будучи функцією часу, дозволяє наочно встановити характерні періоди роботи об'єкту і тим самим визначити методи підвищення його надійності; дає можливість легко підрахувати інші показники надійності.

Недолік показника інтенсивності відмов полягає в тому, що він досить повно характеризує надійність об'єкту тільки до першої відмови і тому є зручною характеристикою лише для невідновлювальних об'єктів.



Рисунок 4.1 - Типова залежність інтенсивності відмов об'єктів від часу

Для локомотивів і їх збиральних одиниць, що підлягають ремонту, подібною характеристикою безвідмовності є параметр потоку відмов $\omega(t)$ -

щільність ймовірності виникнення відмови відновлюваності об'єкту, що визначається для певного моменту часу

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt}, \quad (4.2)$$

де $H(t)$ – математичне очікування числа відмов за час t .

Для визначення $\omega(t)$ за статистичними даними, застосовують формулу [22]

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i}{N_0 \Delta t} = \frac{m_{cp}(t + \Delta t) - m_{cp}(t)}{\Delta t}, \quad (4.3)$$

де N_0 – кількість об'єктів під спостереженням;

Δt – прийнятий інтервал часу;

m_i – кількість відмов i -го об'єкту в період часу від t до $t + \Delta t$;

m_{cp} – середня кількість відмов N_0 об'єктів за од часу від t до $t + \Delta t$.

Модель експлуатації сукупності відновлюваних об'єктів в [22, 181] описується наступним чином. Після певного напрацювання у кожного з об'єктів може виникнути відмова. Після відновлення об'єкт продовжує свою роботу. Час відновлення не враховується. Моменти відмов в таких умовах створюють певний потік відмов. Частіше за все цей потік є ординарним, без наслідку. В такому потоці дуже мала ймовірність появи одночасно більше однієї відмови, а ймовірність появи відмови об'єкта не залежить від відмов, що виникли раніше.

Для вирішення задач надійності локомотивів також застосовували потік відмов, що має властивості стаціонарності, ординарності та

відсутності наслідку, тобто найпростіший пуассоновський потік [182, 183]. Довгий час також інтенсивність відмов обладнання вважалась постійною.

Однак масштабні дослідження механізмів відмов, що були проведені в 60-80-х роках минулого століття привели до несподіваних висновків. Дослідження проводились в 1968 році в американській авіакомпанії United Airlines (UAL) на замовлення уряду США, потім в 1973 році в Швеції (Bromberg), і в 1982 році в військово-морському флоті США [183-185]. Виявилося, що тільки від 8% до 23% відмов відповідає уявленню, прийнятому планово-попереджувальною практикою, про те що інтенсивність відмов зростає з напрацюванням обладнання. Відмови такого характеру властиві відносно простим об'єктам. Що ж стосується технічно складних об'єктів, з'ясувалося, що між ймовірністю їх відмови і терміном експлуатації немає або майже немає взаємозв'язку (рисунок 4.2).

А це відповідає від 77% до 92% відмов. Для цих об'єктів інтенсивність відмови, принаймні, за межами інтервалу припрацювання, має постійну величину, що не змінюється з напрацюванням.

В результаті стало очевидно, що для 77-92% відмов безглуздо визначати момент попереджувального ТОіР за величиною напрацювання, так як напрацювання не дозволяє прогнозувати наближення відмови. Тому що в такому випадку необхідно спиратися не на напрацювання, а на фактичний технічний стан обладнання. Безсумнівно, це додало імпульс практиці попереджувального обслуговування за станом (Condition-Based Maintenance - CBM), теоретичні основи якого були розроблені в 1960-х роках [186, 187].

Однак, попереджувальне обслуговування було важко реалізувати на практиці через необхідність в складних і численних системах діагностування, які дозволяли б вимірювати і контролювати безліч технічних параметрів обладнання для обслуговування за станом, та значних затрат, необхідних для визначення характеристик надійності.

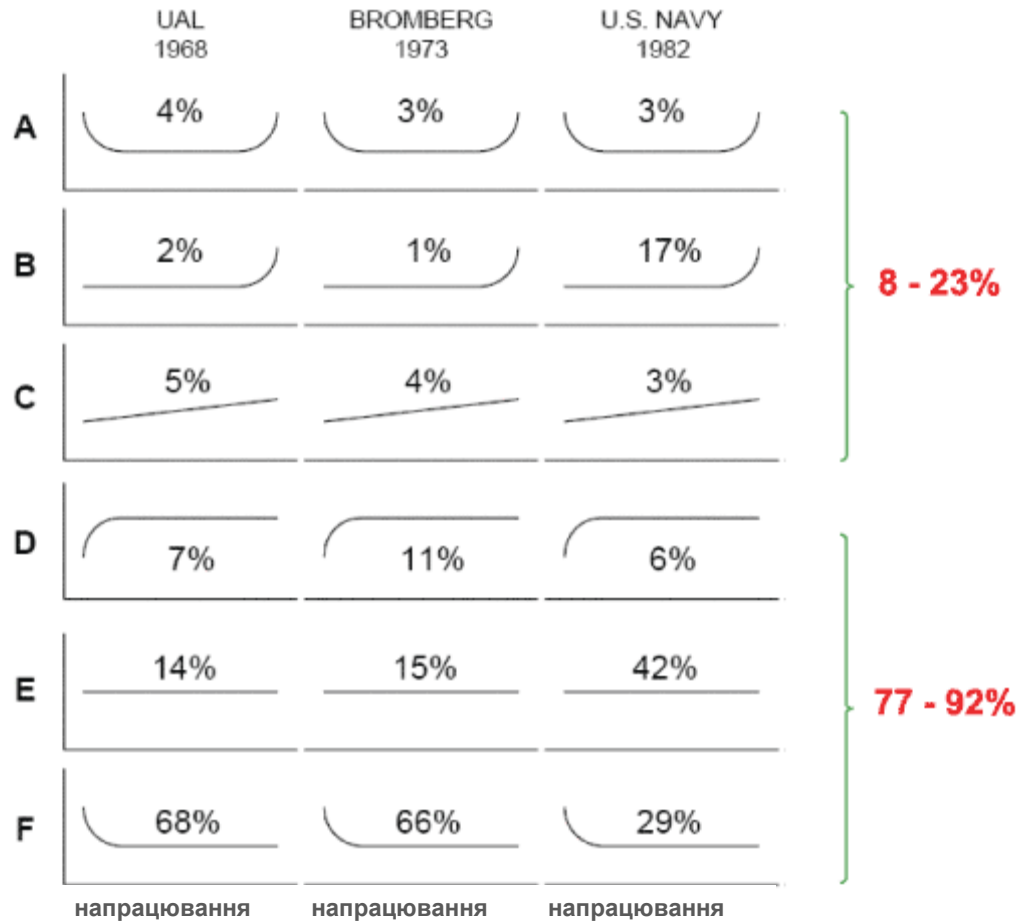


Рисунок 4.2 – Розподіл обладнання транспортних засобів за характером залежностей інтенсивності відмов від напрацювання

Підвищення ефективності організації виконання ТОіР можливо за рахунок застосування сучасних передових методологій ТОіР і їх комбінацій. В процесі вдосконалення підходів до проведення ТОіР, реактивний ремонт обладнання, що здійснювався за фактом його відмови поступово трансформувався у попереджувальне обслуговування PrM (в англійській літературі - Preventive maintenance) [188-190], яке розділяють на кілька видів:

- планове обслуговування PIM (Planned maintenance – технічне обслуговування, постановка на яке здійснюється відповідно до вимог нормативно-технічної або експлуатаційної документації);

- обслуговування (ремонт) станом CBM (Condition-based maintenance). Це ремонт, при якому контроль технічного стану виконується з періодичністю і в обсязі, встановленими в нормативно-технічній документації, а обсяг і момент початку ремонту визначається технічним станом виробу);

- попереджувальне обслуговування на основі прогнозних даних PdM (Predictive maintenance).

Кожен із зазначених підходів має свої переваги та недоліки, і повинен застосовуватися згідно встановлених вимог. В процесі пошуку підходів до мінімізації витрат на ТОіР, підхід, що полягає в розвитку обслуговування РІМ, показав себе не з кращого боку. Результатом таких змін ставало збільшення кількості аварійних робіт чи збільшення рівня витрат. Це пов'язано з наявністю залежності між витратами на ТОіР і надійністю обладнання, яка є нелінійною.

Підхід до проведення ТОіР «обслуговування, що орієнтоване на надійність» (ReliabilityCentered Maintenance - RCM) [183-185], є найбільш прогресивним в порівнянні з попередніми підходами, тому що він комбінує їх переваги. Згідно з методологією RCM, різні одиниці або групи обладнання мають різну значимість (критичність) для виконання технічною системою своїх функцій та уникнення можливих збитків. Відмови обладнання з різною критичністю відрізняються за небезпекою наслідків. Тому немає сенсу витрачати ресурси на попередження всіх відмов, а попереджати потрібно тільки ті, які можуть викликати значні наслідки. Таким чином, RCM переміщує увагу підприємства з відмов як таких на їх наслідки.

Реалізація RCM починається з функціонального аналізу обладнання:

- визначення функцій кожної одиниці або групи обладнання в конкретних умовах його експлуатації разом з вимогами до якості виконання цих функцій;

- визначення переліку функціональних відмов як нездатність виконувати функції відповідно до вимог;

- визначення переліку критичного обладнання, відмова якого веде до функціональної відмови, розрахунок індексу критичності обладнання.

Поряд з критичним обладнанням виділяється некритичне. Це може бути резервоване обладнання, тобто таке, відмова якого не викликає наслідків у вигляді функціональної відмови. Далі, по відношенню до некритичного обладнання застосовується підхід реактивних ремонтів, а по відношенню до критичного - поєднання практик обслуговування за станом та ППР (рисунок 4.3).

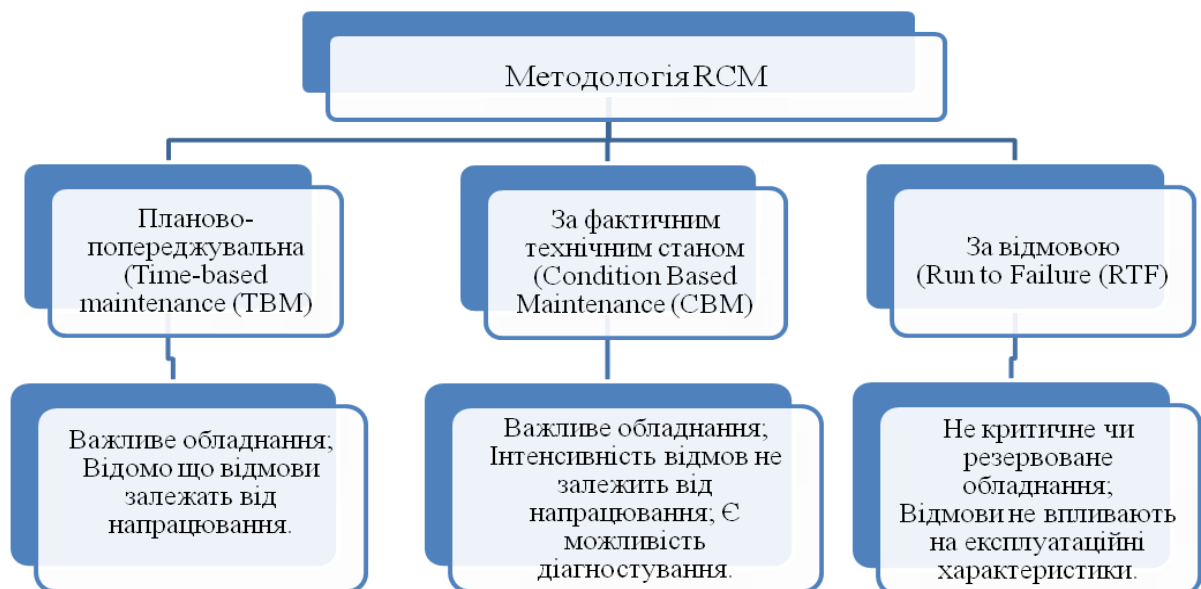


Рисунок 4.3 – Характеристики стратегій ТОiP в методології RCM

У підході RCM попереджувальні практики комбінуються з ремонтами по відмові. Відносно критичного обладнання застосовується комплексна стратегія підвищення надійності:

- АВПК-аналіз [150, 159, 160], формування моделей оцінки технічного стану, визначення параметрів надійності обладнання і інтенсивності видів відмов;

- вимірювання та моніторинг параметрів обладнання, використання їх як вихідних даних в моделях оцінки стану, застосування моделей для розрахунку результуючого індексу стану;

- розрахунок показника важливості (інтегральний показник індексу критичності і індексу стану);

- розподіл обладнання по зонам стратегій обслуговування в залежності від важливості [191]:

- ранг 4 - огляд і моніторинг;

- ранг 3 - поточний ремонт та обслуговування;

- ранг 2 - капітальний ремонт;

- ранг 1 - заміна обладнання;

Ранжування робіт по важливості виконується з метою направлення обмежених ресурсів на виконання в першу чергу тих робіт з ТОіР, які дадуть найбільший внесок в підвищення надійності. У складі критичного обладнання виділяється група, відносно якої неможливий контроль стану або застосування будь-яких видів обслуговування не призводить до підвищення надійності. Для такого обладнання застосовується проактивний підхід з виявленням корінних причин відмов, розробляються плани по реконструкції та модернізації обладнання для усунення головної причини.

Визначення критичності відмов обладнання в [192] визначають як добуток 3-х складових, що виражається в шкалах від 1 до 10 та характеризують ймовірність виникнення відмови (B_1), оцінку його наслідків (B_2) та ймовірність виявлення відмови при контролі стану (B_3)

$$C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3, \quad (4.4)$$

Як видно з приведеного виразу, для отримання адекватних результатів з критичності відмов по типам обладнання локомотива необхідна вхідна інформація по відмовам, наявності діагностичних засобів та контрольного обладнання. Крім того, для оцінки ймовірних наслідків відмов обладнання необхідна організація процедури для отримання даних експертними методами.

Завдяки стрімкому розвитку інтегральних технологій виготовлення надвеликих інтегральних схем, а також застосуванню надшвидкодіючих мікропроцесорних комплектів, відкрилась можливість організації необхідної чи навіть збиткової обчислювальної потужності в усіх сегментах складних технічних об'єктів, для реалізації оптимального процесу його функціонування, шляхом синтезу обчислювальних систем чи розподілених комп'ютерних мереж [193]. В умовах стохастичного характеру вихідних потоків первинної інформації, що надходить з складних динамічних систем, до яких відноситься рухомий залізничний транспорт, ефективним представляється організація паралельного недетермінованого процесу її обробки, в розподілених комп'ютерних мережах, для формування раціональних процедур керування режимами функціонування динамічних систем, включаючи діагностування і прогноз їх працездатності та відтворення працездатності. Це стало можливо шляхом використання сучасних математичних моделей, методів і алгоритмів з інтелектуальними властивостями, що і визначає сутність інноваційного підходу формування комп'ютерних технологій бортових систем моніторингу локомотивів. Бортові комп'ютерні системи орієнтовані на проведення, в реальному часі, моніторингу технічного стану обладнання локомотивів, дозволяють миттєво реагувати на нештатні ситуації, своєчасно виявляти та відслідковувати появу несправностей, реалізувати контроль працездатності шляхом обчислення комплексу показників роботи локомотивів та організувати сукупність керуючих

впливів у вигляді рекомендацій і відповідної інформації локомотивній бригаді. Сучасні бортові діагностичні комплекси локомотивів дозволяють визначати та реєструвати інформацію про вібрацію, температуру, тиск, швидкість руху по маршруту, динаміку напруги і струму який споживається на тягу та допоміжні потреби, відслідковують положення органів керування, координати місцезнаходження локомотива, дані про стан підшипникових вузлів, пневматичної гальмівної системи і ряд інших параметрів. При цьому, в процесі роботи бортових діагностичних систем вирішується комплекс таких задач як: визначення технічного стану обладнання; ідентифікація ймовірних причин зміни технічного стану обладнання; визначення вузлів або систем, що привело до зміни технічного стану; формування аварійних сигналів при досягненні граничних значень параметрів роботи обладнання; оперативний аналіз і прогноз функціонування обладнання за рядом критеріїв [39, 193-196]. Так наприклад система COMPACS-EXPRESS-TR3 [197] комплексної автоматичної оцінки технічного стану найбільш складного і найбільш схильного до експлуатаційного зношування і відмов обладнання рухомого складу (колісно-моторні блоки; струмоприймачі; пневматичне та електропневматичне обладнання гальмівної системи; електричні ланцюги управління; високовольтні силові ланцюги; ланцюги опалення і допоміжних машин). Відповідно до зазначеними класами обладнання система включає сім підсистем діагностики, що взаємодіють між собою в комплексі (рисунок 4.5).

Оброблені, відповідно бортовим алгоритмам, первинні дані виводяться на дисплей діагностичного контролера, що знаходиться в кабіні локомотива, а також передаються в наземну обчислювальну мережу. Отримані останнім часом широкі можливості щодо оперативного виявлення фактичного технічного стану вузлів локомотивів можуть стати тим вагомим поштовхом у зміні підходів до стратегії ТОіР.

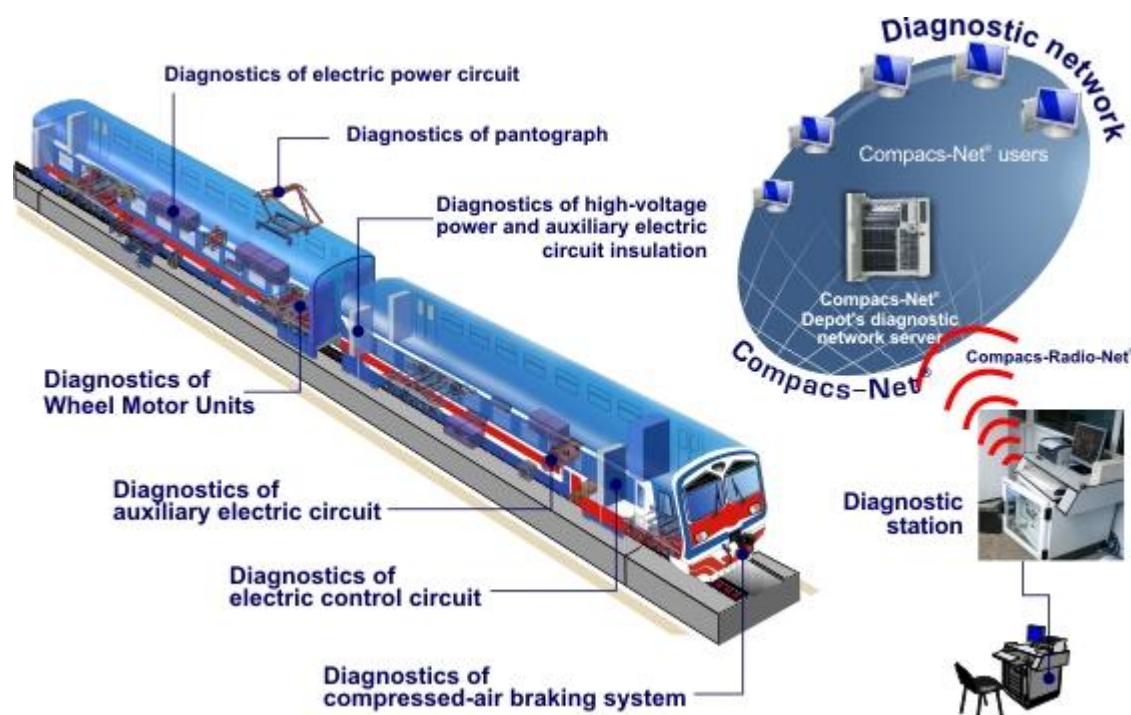


Рисунок 4.5 – Приклад реалізації бортової системи діагностування основних вузлів рухомого складу

В [198] приймається, що кінцевою метою застосування технічного діагностування до конкретної технічної системи (парк локомотивів) є організація ремонту по фактичному стану, тобто застосування стратегії ремонту і обслуговування, що дозволяє експлуатувати локомотиви з максимальною ефективністю (повного вичерпання ресурсу до ремонту).

Таким чином, з метою удосконалення підходів до формування стратегії ТОіР є доцільним застосування диференційного підходу до кожного елемента локомотива, що характеризується індивідуальними показниками (особливості конструкції, вплив на безпеку руху, ремонтпридатність, ймовірні наслідки відмови). Реалізація такого підходу можлива за умов проведення додаткових досліджень по визначенню значимості відмов, ймовірності їх виникнення, та можливості виявлення.

4.2 Розробка нечіткого класифікатора визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів

Локомотив як складна автономна багатофункціональна організаційно-технічна система, складається з сукупності різних підсистем і елементів. Вони характеризуються індивідуальними конструктивними особливостями, умовами експлуатації і режимами роботи. Високу ефективність при обслуговуванні та ремонті таких систем показує застосування диференційованого підходу, реалізованого в рамках методології, орієнтованої на надійність (RCM). Оскільки ключовим моментом RCM є оцінка ризиків відмов обладнання, то для реалізації даної методології, доцільно використовувати підходи, закладені в процедурах проведення аналізу видів відмов, їх наслідків та критичності (4.4).

Існуючі методики оцінки ризиків, ґрунтуються на експертних оцінках [192, 199, 200]. З огляду на неповноту і неоднозначність такої інформації, виникає питання пошуку адекватних математичних методів, що дозволяють оперувати суб'єктивними оцінками експертів, враховувати неясність і неточність даних. При труднощах чіткого визначення вхідних ознак найбільшу ефективність показують методи нечіткої логіки. Які дозволяють як формалізувати вхідні нечіткі ознаки, так і класифікувати об'єкти за вхідними ознаками [201].

Закріплення за кожним видом обладнання індивідуальної стратегії ТОР можна розглядати як задачу віднесення об'єктів до одного з раніше виділених класів, тобто завдання класифікації. А з урахуванням характеру вхідних даних, рішення цього завдання доцільно проводити в рамках експертної автоматичної системи на основі нечітких алгоритмів.

Завдання класифікації полягає у виконанні відображення вигляду [202]

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow y \in \{t_1, t_2, \dots, t_m\}, \quad (4.5)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n - вектор інформативних ознак об'єкта класифікації;

t_1, t_2, \dots, t_m - класи рішень класифікатора.

Нечітка класифікація реалізується згідно бази правил виду

$$\text{If } (x_1=a_{1j} \text{ and } x_2=a_{2j} \text{ and } x_n=a_{nj}), \text{ then } y=d_j, \quad j=\overline{1, m} \quad (4.6)$$

де m – кількість продукційних правил;

$d_j \in \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ - значення консеквента j -го правила;

a_{nj} - нечіткий терм, що оцінює признак x_n в j -му правилі.

Ступінь належності об'єкта $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ розраховують як

$$\mu_j(X^*) = \mu_j(x_1^*) \wedge \mu_j(x_2^*) \wedge \dots \wedge \mu_j(x_n^*), \quad j = \overline{1, m} \quad (4.7)$$

де $\mu_j(x_i^*)$ - ступінь належності значення x_i^* нечіткому терму a_{nj} ;

\wedge - t - норма, що реалізується операцією мінімуму;

Виходом нечіткого класифікатора є вектор, що описує приналежність об'єкта класам t_1, t_2, \dots, t_m . В якості вирішення y обирається клас з максимальним ступенем належності

$$y = \arg \max_{\{t_1, t_2, \dots, t_m\}} (\mu_{t_1}(x^*), \mu_{t_2}(x^*), \dots, \mu_{t_m}(x^*)), \quad (4.8)$$

Згідно [203] нечіткий класифікатор являє собою систему нечітких правил, які описують m класів в наявному наборі вихідних даних, і нечітку систему виводу для їх переробки з метою отримання результату класифікації (рисунок 4.6).

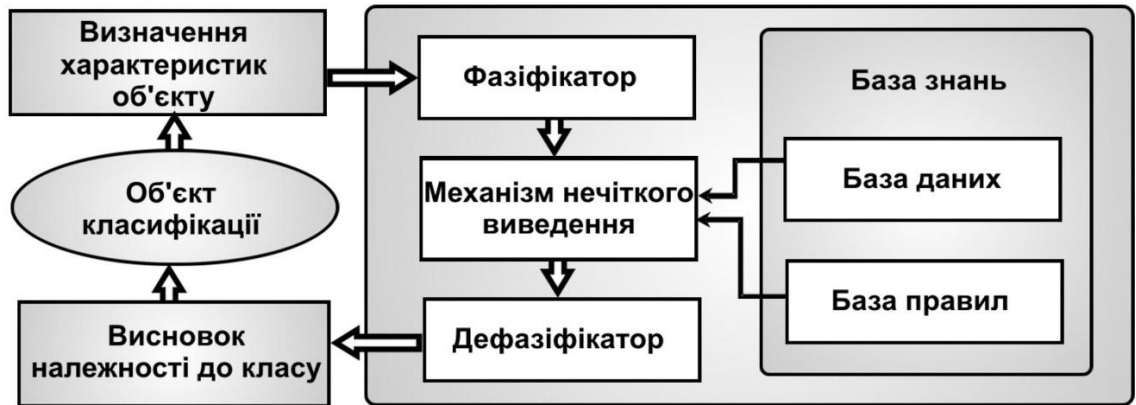


Рисунок 4.6 - Структурна схема нечіткого класифікатора

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 її чітких значень і множина лінгвістичних термів $T = \{T_{1j}, \dots, T_{mj}\}$, ($1 \leq j \leq m$, m_j - число термів ознаки a_j).

Для класифікатора визначення стратегії TOP агрегатів і вузлів локомотивів лінгвістичні змінні визначалися відповідно до (4.4) (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Параметри лінгвістичних змінних нечіткого класифікатора

Лінгвістичні змінні		Терми	
Позначення	Назва	Позначення	Назва (характеристика)
1	2	3	4
Вхідні змінні			
S	Значимість відмови	LW	Низька (знижена якість функціонування)
		NS	Незначна (затримка виконання роботи без небезпеки)

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
S	Значимість відмови	SG	Значна (нанесення збитків без травмування людей)
		HG	Висока (нанесення істотних збитків з травмуванням чи загибеллю людей)
O	Частота виникнення відмови	RR	Рідка (малоймовірна)
		PS	Можлива (можливо кілька випадків за термін служби)
		FQ	Часта (виникає постійно)
D	Можливість виявлення передвідмовного стану (ПВС)	LW	Низька (виявлення ПВС проблематично)
		MD	Середня (ПВС може виявлятися непрямыми методами)
		HG	Висока (ПВС виявляється прямими методами чи кількома способами)
Вихідна			
R	Стратегія ремонту	TBM	Планово-попереджувальна
		CBM	По технічному стану
		RTF	По відмові

Для побудови функцій приналежності лінгвістичних змінних використовувалися трапецієподібні функції (4.6), (рисунок 4.7).

$$M_A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a-x}{l}, & \text{якщо } a-l \leq x \leq a \\ 1, & \text{якщо } a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-a}{r}, & \text{якщо } b \leq x \leq b+r \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\beta_i \Leftarrow \prod_{j=1}^n \mu_A(x_j) \quad \text{или} \quad \beta_i \Leftarrow \min_{1 \leq j \leq n} (\mu_A(x_j)) \quad (4.11)$$

Нечіткий класифікатор був побудований в пакеті Fuzzy Logic Toolbox обчислювальної системи MATLAB (рисунок 4.8). В якості нечіткого класифікатора була використана система нечіткого логічного виведення типу Сугено, в якій класам рішень $\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ ставляться у відповідність терми вихідної змінної, а назви класів рішень задаються як елементи терм-множини вихідної змінної. В такому випадку параметри функцій належності вихідної змінної можуть бути довільними, оскільки вони не впливають на результат класифікації.

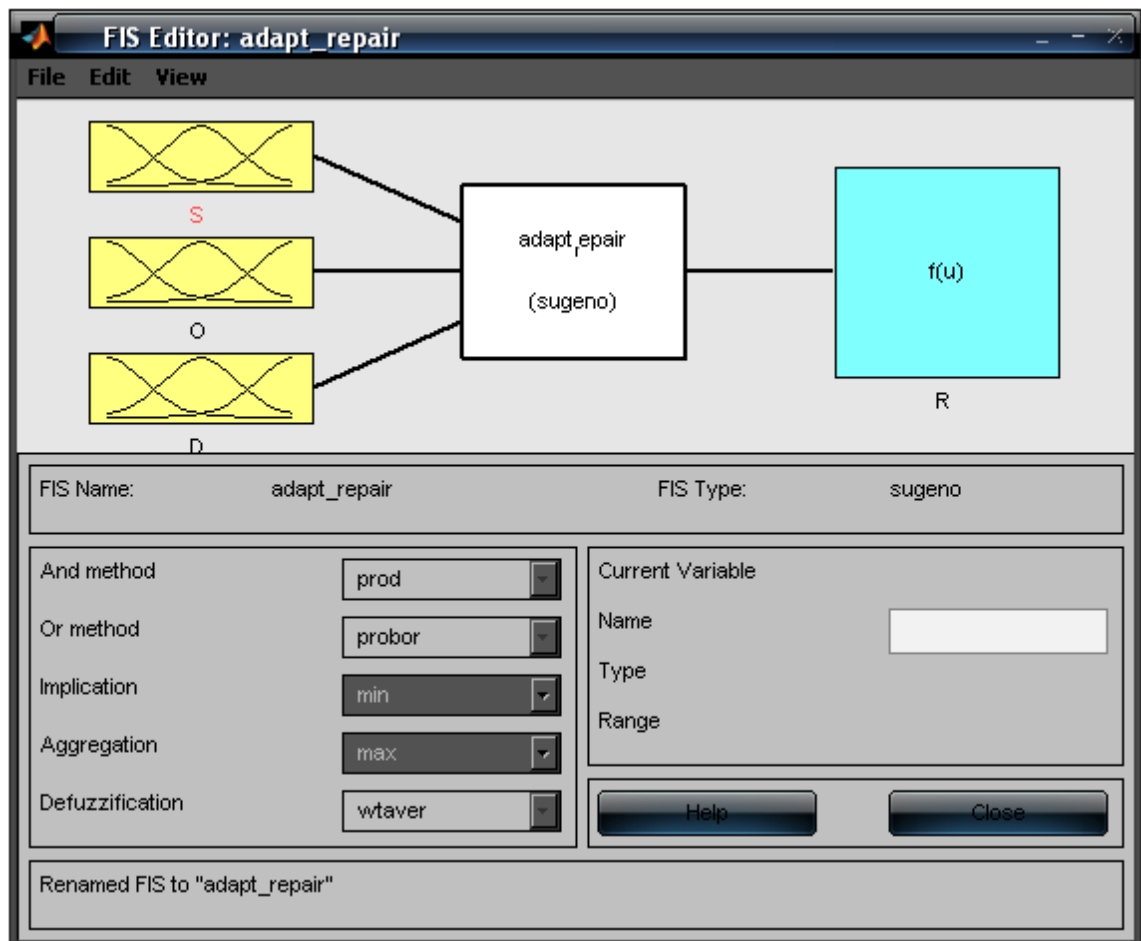


Рисунок 4.8 - Графічний інтерфейс пакету Fuzzy Logic Toolbox MATLAB для побудови систем нечітких логічних виведень

Візуалізація роботи класифікатора здійснюється шляхом побудови поверхонь нечіткого виведення (рисунк 4.9, 4.10, 4.11).

Отримані поверхні нечіткого виведення не мають різких збурень і розривів. Це вказує на повноту і несуперечність розробленої бази правил.

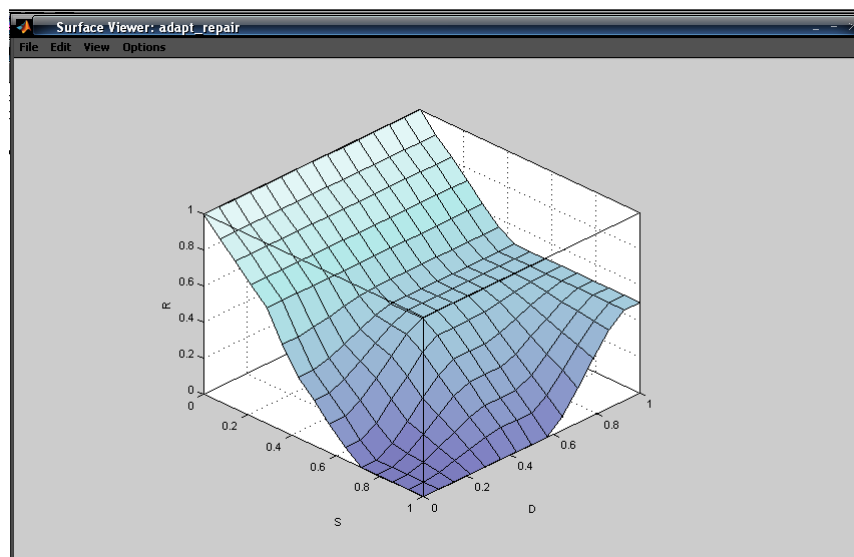


Рисунок 4.9 - Поверхня залежності нечіткого виведення від вхідних змінних «S» і «D»

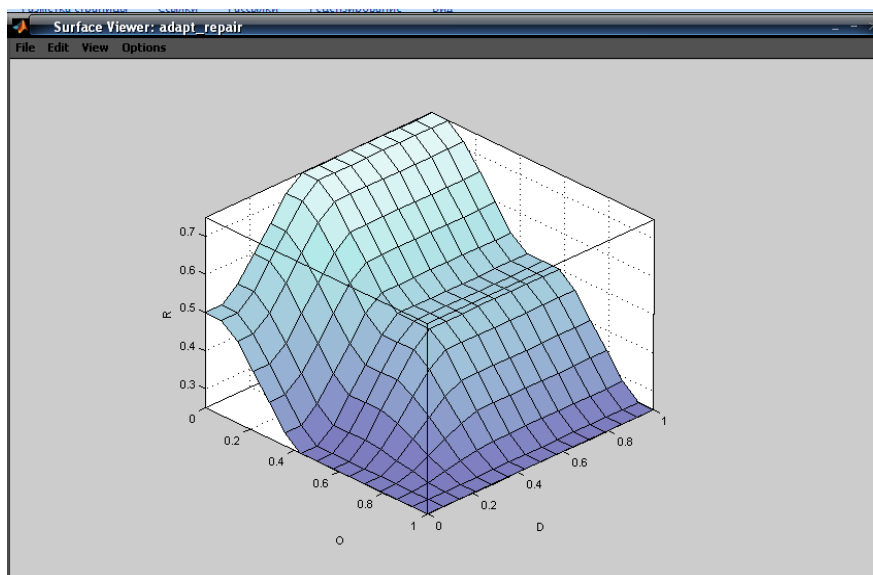


Рисунок 4.10 - Поверхня залежності нечіткого виведення від вхідних змінних «O» і «D»

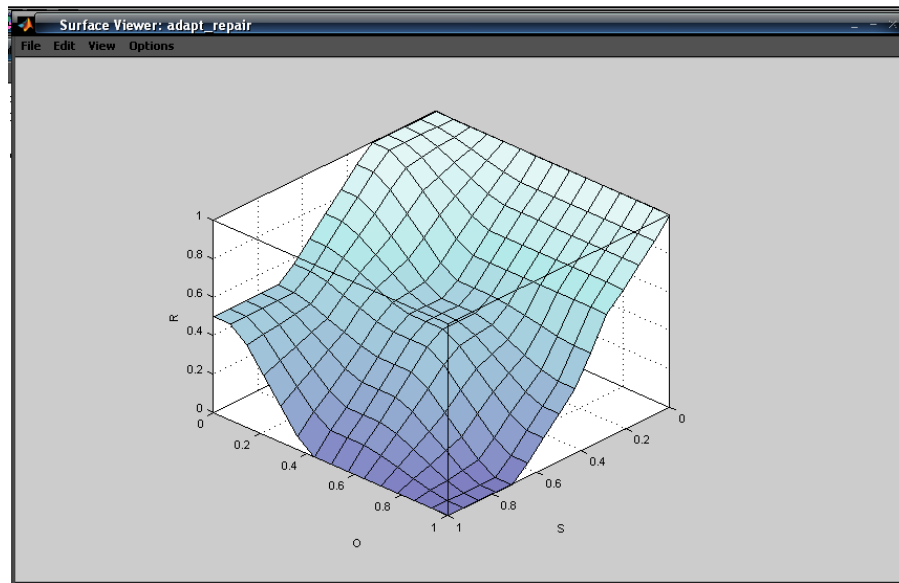


Рисунок 4.11 - Поверхня залежності нечіткого виведення від вхідних змінних « O » і « S »

При розробці нечіткої моделі виникає питання обґрунтування вибору структури і параметрів моделі. Зазначені завдання повинні бути вирішені на етапі ідентифікації моделі. Відомі два підходи до ідентифікації нечітких моделей: на основі знань експерта і на основі таблиць спостережень [204].

Після визначення типу нечіткої системи, вибору змінних та нечітких правил (структурної ідентифікації), проводять її параметричну ідентифікацію [205, 206]. До завдань ідентифікації параметрів відноситься визначення оптимальних значень всіх параметрів нечіткої системи (знаходження значень консеквента та параметрів функцій належності в антецеденті кожного правила) на основі заданих критеріїв якості та методу оптимізації обраного критерію

4.3 Параметрична ідентифікація нечіткого класифікатора визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів

4.3.1 Визначення параметрів функцій належності нечіткого класифікатора

Ключовим завданням під час побудови нечітких моделей є визначення параметрів функцій належності (ФН) в рамках їх параметричної ідентифікації.

Існує ряд методів побудови ФН нечітких моделей. Вони поділяються на прямі і непрямі, тобто ті, що використовують експертну інформацію або статистичні дані. У нечіткому класифікаторі визначення стратегій ТОР вузлів локомотивів використовуються наступні вхідні змінні: «S» - значимість відмови вузла, «O» - частота виникнення відмови вузла, «D» - можливість виявлення передвідмовного стану вузла. Формалізація таких понять ускладнена, а значить застосування прямих методів, які використовують експертну оцінку, буде нести частку суб'єктивізму, що може позначитися на точності класифікації. Більшу точністю мають методи, що засновані на використанні експериментальних даних, в яких ФН нечіткої множини будується відповідно до функцій щільності розподілу випадкових величин. Використання такого підходу пов'язане з необхідністю отримання значного обсягу експериментальних даних, що можливо не для всієї номенклатури вузлів локомотивів. В умовах використання невеликих вибірок експериментальних даних в [206, 207] запропоновано метод побудови ФН, заснований на нечіткій кластеризації цих даних. При цьому передбачається, що нечіткі кластери, є нечіткі множини A_k , що утворюють нечітке покриття вихідного множини об'єктів кластеризації A , для якого виконується умова

$$\sum_{k=1}^c \mu_{A_k}(a_i) = 1 \quad (\forall a_i \in A) \quad (4.12)$$

де c - загальна кількість нечітких кластерів $A_k (k \in \overline{1, \dots, c})$, яке вважається попередньо заданим ($c \in \mathbb{N}, c > 1$).

Для кожного нечіткого кластера розраховуються значення центрів

$$\gamma_k^j = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m \cdot x_j^i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m} \quad (\forall k \in \overline{1, \dots, c}, \forall p_j \in P), \quad (4.13)$$

де m - певний параметр, що називається експоненційною вагою і дорівнює деякому дійсному числу ($m > 1$).

Цільова функція являє собою суму квадратів зважених відхилень координат об'єктів кластеризації від центрів нечітких кластерів γ_k^j

$$f(A_k, \gamma_j^k) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (\mu_{A_k}(a_i))^m \sum_{j=1}^q (x_j^i - \gamma_j^k)^2 \rightarrow \min \quad (4.14)$$

В якості статистичних даних, використовувалися дані по відмовах основних вузлів локомотивів (тепловозів, Південної залізниці), результати обстеження ремонтних підприємств заданого парку локомотивів (таблиця 4.2). Обстеження локомотиворемонтних підприємств дозволяє оцінити їх технічний рівень, визначити їх забезпеченість нормативною і технологічною документацією, виробничими площами, персоналом, технологічним та діагностичним обладнанням, інструментом, запасними частинами і матеріалами [127, 128]. В якості даних за змінною D використовувався коефіцієнт, що характеризує технологічну можливість

підприємства виявлення передвідмовного стану основних вузлів локомотивів

$$V_d = \frac{N_f}{N_t}, \quad (4.15)$$

де N_f - кількість діагностичних параметрів, що контролюються наявним на підприємстві діагностичним обладнанням;

N_t - кількість діагностичних параметрів вузла локомотива.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для побудови ФН

Системи та вузли тепловоза			Частота відмов $\omega(t)$	V_d
1			2	3
Дизель	Блок дизеля	Поршень-втулка	0,014729	0,5
		Колінчастий вал, шатун	0,006202	0,5
	Системи	Повітрябезпечення	0,007442	0,43
		Масляна	0,002791	0,33
		Паливна	0,006977	0,5
Електро-передача	Електричні машини та апаратура	Тяговий генератор	0,023256	0,28
		Тяговий двигун	0,032558	0,37
		Акумуляторна батарея	0,027907	0,5
		Допоміжні машини	0,003488	0,33
	Системи управління та регулювання	0,013953	0,37	
Екіпажна частина	Рама тепловоза	Рама	0,004651	0,5
		Автозчеплення	0,002326	0,75
	Колісно-моторний блок	Колісна пара	0,002326	0,37
		Тяговий редуктор	0,009302	0,33
		Моторно-осьовий підшипник	0,005814	0,2
	Візок	Рама	0,02093	0,37
		Букса, підшипник	0,01124	0,33
		Ресорне підвішування	0,003488	0,33

Продовження таблиці 4.2

1		2	3	
Допоміжне обладнання	Система охолодження	Секції холодильників	0,025581	0,37
		Вентилятор охолодження	0,018605	0,33
	Гальмівне обладнання	Компресор	0,013953	0,33
		Арматура	0,000388	0,6
	Прилади безпеки		0,00155	0,55

Нечітка кластеризація експериментальних даних проводилася за допомогою функції `fcm` пакета `Fuzzy Logic Toolbox` системи `MATLAB`. Вхідними аргументами цієї функції є: `data`: матриця вихідних даних кластеризації, `cluster_n`: число нечітких кластерів. Вихідними аргументами функції `fcm` є: `center`: матриця центрів нечітких кластерів, `U`: матриця значень функцій належності нечіткого розбиття, `obj_fcm`: значення цільової функції на кожній з ітерацій роботи алгоритму [207]. Параметри оптимізованих ФН відповідають розподілу вихідних експериментальних даних (рисунок 4.11).

Отримані в результаті нечіткої кластеризації експериментальних даних ФН, значно відрізняються від ФН, побудованих на основі думок одного експерта. Для оцінки впливу зміни параметрів ФН на роботу нечіткого класифікатора, проводилося порівняння поверхонь його рішення з початковими і оптимізованими ФН (рисунок 4.12).

Аналіз отриманих поверхонь рішення нечіткого класифікатора, показує, що в результаті параметричної ідентифікації ФН, область рішень отримала більш чітке розділення на відповідні стратегії.

Отримані результати доводять доцільність застосування нечіткої кластеризації при побудові ФН нечіткого класифікатора стратегій ремонту вузлів локомотивів.

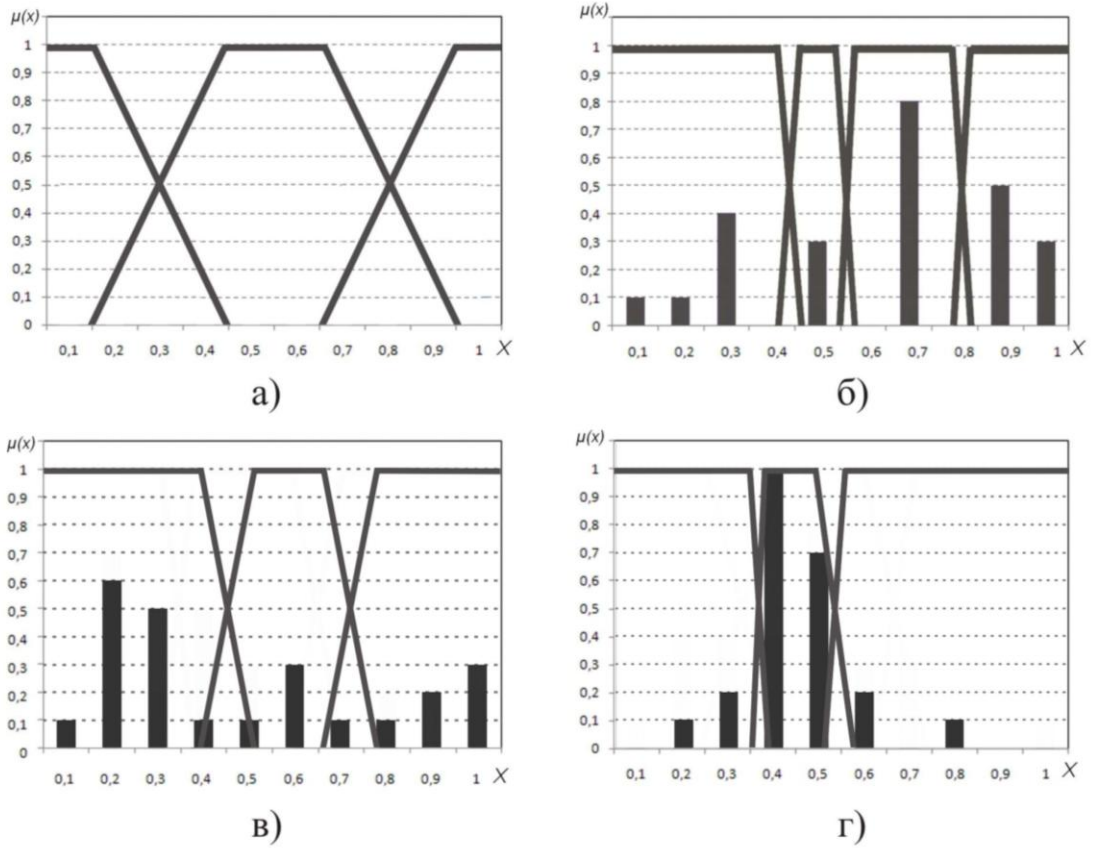


Рисунок 4.11 - ФН нечіткого класифікатора стратегій ремонту вузлів локомотивів: а) початкові ФН, що побудовані експертом; б), в), г) оптимізовані ФН змінних S , O , D відповідно

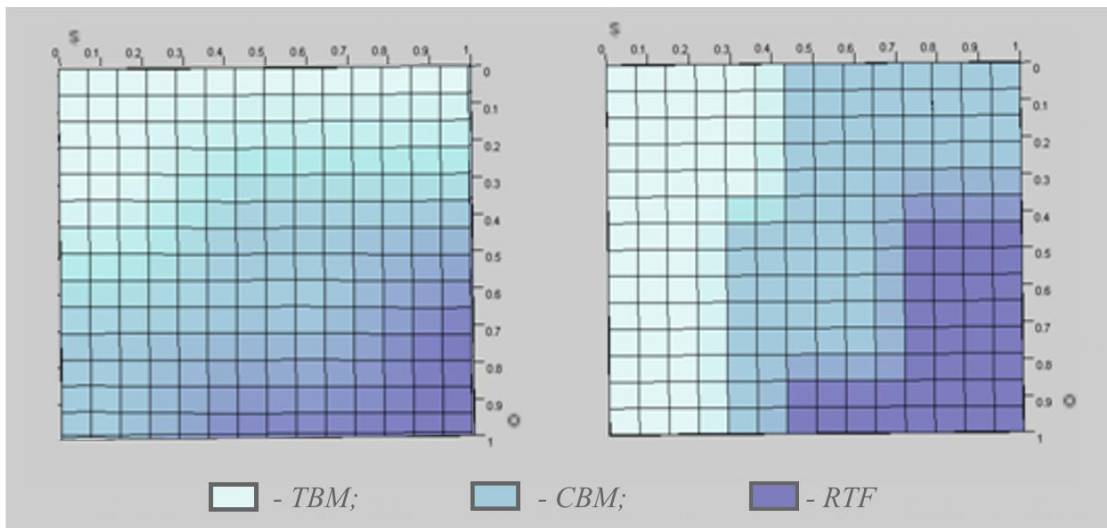


Рисунок 4.12 - Поверхні рішень нечіткого класифікатора до і після оптимізації ФН вхідних змінних

4.3.2 Оптимізація бази знань класифікатора

Для нечітких класифікаторів, як і для всіх нечітких систем, актуальним є завдання побудови та оптимізації бази знань, яка складається з бази правил і бази даних та містить параметри лінгвістичних змінних, за допомогою яких описуються об'єкти заданої множини. Таке завдання оптимізації відрізняється істотною обчислювальною та алгоритмічною складністю, що обумовлена високою розмірністю, процедурно заданою цільовою функцією, наявністю дискретних або змішаних змінних і т.д. [206, 208]. Для вирішення таких завдань використовують багато методів, що належать до двох груп. Перша група це класичні методи оптимізації, засновані на похідних: метод найменших квадратів, фільтр Калмана, метод Левенберга-Марквардта, градієнтний метод [209-211]. Ці методи дають досить точні результати, але згідно [210, 212] їх застосування пов'язано з проблемами локального екстремуму і «прокляттям розмірності». Друга група методів - метаевристичні (алгоритми мурашиної колонії, часток, що рояться, імітації відпалу, генетичні алгоритми), розроблені на основі принципів живої і неживої природи [213-216]. Їх переваги полягають у більшій стійкості в порівнянні з класичними методами. Більшість розробників, при формуванні нечітких класифікаторів намагаються використовувати еволюційні алгоритми, які дають хороші результати при вирішенні такого роду завдань оптимізації.

Одним із завдань формування нечіткої бази знань є вибір правил з певної, наперед визначеної множини кандидатів. Правила-кандидати можуть бути сформовані експертом або отримані шляхом обробки відповідних експериментальних даних. В ідеальному випадку нечітка база знань повинна бути і компактною, і адекватною [217]. Досягти цього в реальних задачах неможливо, тому на практиці намагаються вибрати базу знань з коректним балансом між цими суперечливими критеріями.

Необхідною умовою такого балансу є потрапляння бази знань на парето-фронт в координатах "Складність моделі - точність моделі".

Переваги генетичних алгоритмів (ГА) перед іншими методами оптимізації полягають в паралельній обробці множини альтернативних рішень. Важливою перевагою ГА є можливість завдання початкових параметрів завдання випадковим чином. При роботі алгоритму більша увага приділяється найбільш перспективним рішенням, однак і менш перспективні рішення також беруть участь в пошуку.

Генетичний алгоритм працює з популяцією особин (хромосом), кожна з яких представляє собою впорядкований набір параметрів завдання, що підлягають оптимізації [218, 219]. Основною характеристикою кожної особини є її міра пристосованості (функція пристосованості, функція придатності). Більш пристосовані особини беруть участь у відтворенні потомства шляхом схрещування з іншими особинами популяції, при цьому гени нащадків отримують свої значення шляхом обміну генів батьків. Найменш пристосовані особини поступово зникають з популяції в процесі еволюції. Таким чином, з покоління в покоління по всій популяції поширюються кращі характеристики. Іноді в популяції відбуваються мутації - випадкові зміни в генах деяких хромосом, за рахунок чого відбувається внесення деякої випадковості в процес роботи генетичного алгоритму, що знижує ймовірність застрягання в локальних мінімумах [218, 220].

Робота генетичного алгоритму являє собою ітераційний процес, який триває до виконання однієї з умов зупинки:

- виконання заданого числа поколінь;
- досягнення заданої точності;
- припинення поліпшення популяції.

Загальна схема генетичного алгоритму представлена на рисунку 4.13 [219].

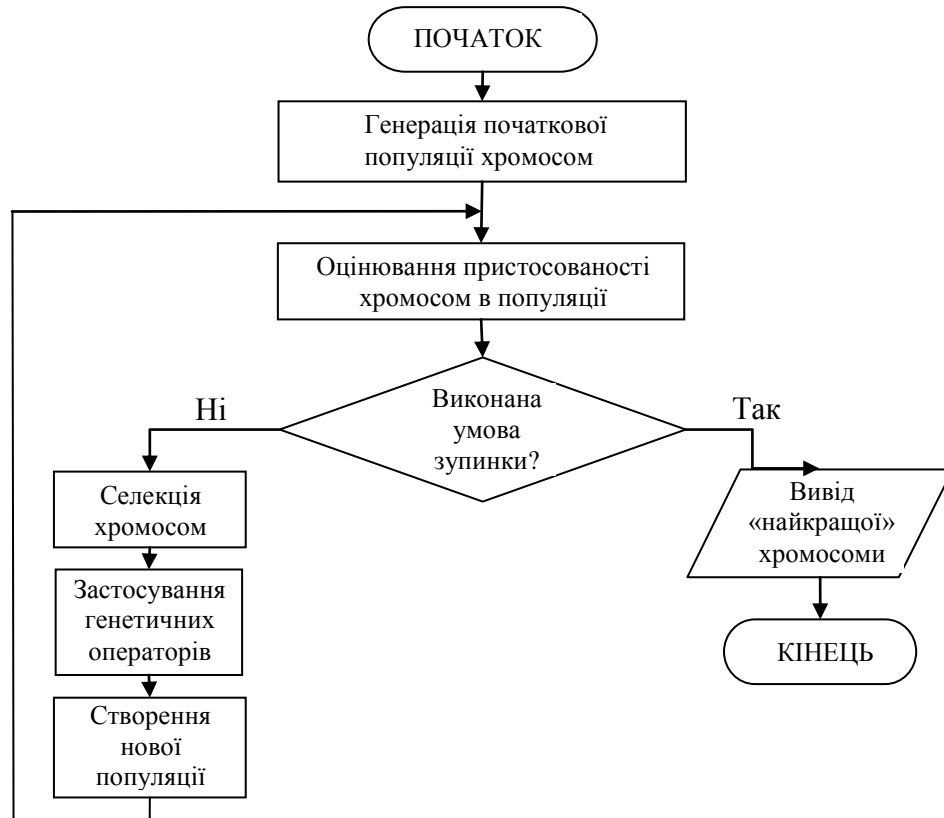


Рисунок 4.13 – Блок-схема генетичного алгоритму

При використанні генетичних алгоритмів для формування нечітких систем застосовують два основних підходи: Пітсбургський і Мічиганський [220, 221]. У роботі, для оптимізації бази правил використовувався Пітсбургський підхід, при якому відбір необхідних правил здійснюється між популяціями, а не в одній популяції, що збільшує простір кращих рішень. В результаті скорочується число правил в базі, що є доцільним з точки зору завдання виявлення прихованих знань. Крім того, у багатьох випадках точність класифікації після Пітсбургського етапу перевершує точність класифікації, отриманої на попередньому етапі, незважаючи на істотне скорочення числа правил [208]. Це означає, що «погані» правила надають негативний вплив на ефективність бази в цілому, що підтверджує

доцільність скорочення числа використовуваних правил з точки зору завдання класифікації.

Для реалізації цього підходу застосовувався кононічний генетичний алгоритм, модель якого має наступні характеристики:

- фіксований розмір популяції;
- фіксована розрядність генів;
- пропорційний відбір;
- особини для схрещування вибираються випадковим чином;
- одноклітинний кросовер і одноклітинні мутації.

Оператор кросовера (crossover operator) є основним генетичним оператором, за рахунок якого проводиться обмін генетичним матеріалом між особинами. Кросовер моделює процес схрещування особин. Нехай є дві батьківські особини з хромосомами $X = \{x_i, i = \overline{1, L}\}$ та $Y = \{y_i, i = \overline{1, L}\}$. Хромосоми, що представляють собою відображення рішень, мають бути гомологічними, так як є взаємозамінними альтернативами. Випадковим чином визначається точка всередині хромосоми, в якій обидві хромосоми діляться на дві частини і обмінюються ними. В англійській літературі вона називається точкою кросовера (crossover point).

Даний тип кросовера називається однокрапковим, оскільки під час його застосування батьківські хромосоми розрізаються тільки в одній випадковій точці.

Оператор мутації (mutation operator) необхідний для виведення популяції з локального екстремуму і сприяє захисту від передчасної збіжності. Це досягається за рахунок того, що в хромосомі інвертується випадково обраний біт.

Так само як і кросовер, мутація може проводитись не лише за однією випадковою точкою. Можна вибирати кілька точок в хромосомі для

За допомогою операції мутації створюються λ копій набору правил, де λ - кількість нащадків в популяції: деяка частина хромосом вибирається випадковим чином, і в кожній копії параметри цієї обраної частини змінюються додаванням нормально розподіленої величини. Потім обчислюється помилка для кожного елемента популяції. Кращий елемент стає батьком на наступному кроці. Оптимізація бази правил здійснюється шляхом виключення неефективних правил та об'єднанні схожих.

Робота алгоритму являє собою ітераційний процес, який триває до виконання однієї з умов зупинки:

- виконання заданого числа поколінь;
- припинення поліпшення популяції.

В локомотивному депо Укрзалізниці були зібрані експериментальні (експертні) дані про взаємозв'язок входів та виходів залежності, що досліджується

$$\langle o_1, d_1, r_1 \rangle \dots \langle o_m, d_m, r_m \rangle \quad (4.20)$$

Для отримання об'єктивних результатів класифікації експериментальні дані брались в локомотивному депо шляхом опитування інженерно-технічних робітників дільниці ремонту (Додаток Д). В якості експериментальної бази було обрано локомотивне депо, що характеризується низьким рівнем оснащеності ремонтного виробництва та локомотивами, які експлуатуються понаднормативний термін служби. 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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=1, M} (K - \bar{K})^2} \rightarrow \min \quad (4.21)$$

В результаті, початкова база правил нечіткого класифікатора була адаптована до реальних умов локомотивного депо (рисунок 4.14).

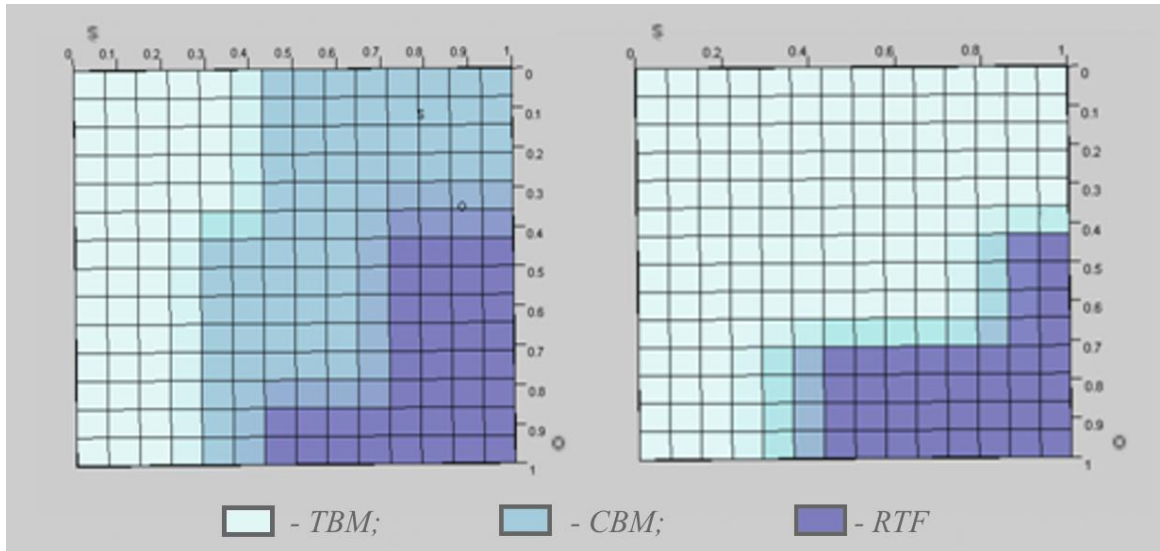


Рисунок 4.14 – Поверхні рішень нечіткого класифікатора стратегій TOP вузлів локомотивів: а) вихідний класифікатор, розроблений експертом; б) класифікатор побудований за даними локомотивного депо

Як видно з приведених поверхонь рішень, база знань вихідного класифікатора характеризується майже рівномірним розділенням на різні стратегії ремонту. Адаптація класифікатора до реальних умов суттєво змінює поведінку класифікатора. Більшість рішень класифікатора для локомотивного депо, лежить в області значень, що відповідає планово-попереджувальній стратегії ТОіР (таблиця 4.3). Що корелюється із фактичним технічним станом та рівнем оснащеності локомотивного депо.

Таблиця 4.3 – Приклад визначення індивідуальних стратегій ремонту основних систем та вузлів магістрального тепловоза

Системи та вузли тепловоза				Стратегія ремонту	Економії витрат, %
	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>		
Колісна пара	<i>HG</i>	<i>FQ</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	6
Прилади безпеки	<i>HG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Кузов	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Моторно-осьові підшипники	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Автозчеплення	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Тяговий редуктор	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	7
Рами візка	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>LW</i>	<i>TBM</i>	-
Буксові вузли	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>HG</i>	<i>CBM</i>	9
Гальмівне обладнання	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Дизель	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Турбокомпресор	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>TBM</i>	-
Паливна апаратура	<i>SG</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	7
Гальмівний компресор	<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	8
Ресорне підвішування	<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	6
Силове електричне обладнання	<i>NS</i>	<i>RR</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	10
Тяговий двигун	<i>NS</i>	<i>RR</i>	<i>MD</i>	<i>CBM</i>	9
Контрольно-вимір. прилади	<i>LW</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>RTF</i>	11
Акумуляторна батарея	<i>LW</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>RTF</i>	10
Електричні апарати	<i>LW</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>RTF</i>	9
Допоміжні електричні машини	<i>LW</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>RTF</i>	11
Система автоматич. управління	<i>LW</i>	<i>PS</i>	<i>MD</i>	<i>RTF</i>	10

4.4 Оцінка точності нечіткого класифікатора

Точність класифікації оцінювалась за тестовою вибіркою (Додаток Д). Оскільки задача класифікації передбачає дискретний вихід, то за

критерій точності обиралась частота помилок класифікації на виборці [222]

$$MCR = \frac{\sum_{r=1, M} \Delta_r}{M}, \quad (4.22)$$

$$\text{де } \Delta_r = \begin{cases} 1, & \text{якщо } y_r \neq F(X_r); \\ 0, & \text{якщо } y_r = F(X_r); \end{cases}$$

X_r та y_r – пара даних «входи – вихід» в r -ій строчці вибірки;

M – обсяг вибірки.

Переваги критерію (4.22) полягають в його простоті і наочній інтерпретації. Недолік критерію пов'язаний з тим, що не враховуються ступеня приналежності обраної і конкурентних альтернатив, тобто залишається без уваги «впевненість» нечіткого класифікатора при виборі одного рішення з усієї множини. Це відбувається тому, що в результаті виведення для поточного входного вектора X^* із отриманого нечіткого класу

$$\tilde{y}(X^*) = \left(\frac{\mu_{l_1}(X^*)}{l_1}, \frac{\mu_{l_2}(X^*)}{l_2}, \dots, \frac{\mu_{l_c}(X^*)}{l_c} \right) \quad (4.23)$$

обирають одну альтернативу з максимальним ступенем належності. Для врахування рівня впевненості під час прийняття рішень в [212] запропонований критерій точності в формі відстані між експериментальними даними та результатами нечіткої класифікації. Для цього значення входної змінної в тестовій виборці фазифікують наступним чином

$$\begin{cases} \tilde{y} = (1/l_1, 0/l_2, \dots, 0/l_C), & \text{якщо } y = l_1 \\ \tilde{y} = (0/l_1, 1/l_2, \dots, 0/l_C), & \text{якщо } y = l_2 \\ \dots \\ \tilde{y} = (0/l_1, 0/l_2, \dots, 1/l_C), & \text{якщо } y = l_C \end{cases} \quad (4.24)$$

Далі для кожного об'єкту розраховують відстань між результатами нечіткої класифікації $\tilde{y}(X^*)$ та бажаними нечіткими значеннями вихідної змінної (4.24). Тоді критерій точності по всій вибірці матиме вигляд

$$FD = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=1, M} D_r}, \quad (4.25)$$

де $D_r = \sum_{j=1, C} \mu_{l_j}(y_r) - \mu_{l_j}(X_r)^2$ - відстань між бажаним та отриманим

вихідними нечіткими множинами під час класифікації r -го об'єкта;

$\mu_{l_j}(y_r)$ - ступінь належності значення змінної із r -ї строчки вибірки експериментальних даних;

$\mu_{l_j}(X_r)$ - ступінь належності вхідного вектора X_r класу l_j , що розрахована в результаті нечіткого виведення.

Проведені обчислення дозволили отримати значення точності класифікації розробленого нечіткого класифікатора (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Оцінка точності нечіткого класифікатора

Характеристики класифікатора	База правил	
	початкова	оптимізована
1	2	3
Кількість правил у базі, од	36	13
Точність класифікації, %	92,3	96,8

Результати оцінки точності нечіткого класифікатора вказують на те, що в результаті оптимізації із застосуванням генетичних алгоритмів вдалося досягти зменшення кількості правил в базі знань з 36 до 13. При цьому точність класифікації, що визначалась за тестовою вибіркою експериментальних даних збільшилась з 92,3 до 96,8%.

4.5 Розроблення моделі ремонту вузла локомотива

Процес ремонту вузлів і агрегатів рухомого складу характеризується певним порядком виконання основних технологічних операцій з очищення, контролю стану, розбиранні, відновлення, складання, випробування. Як правило, ці операції виконуються послідовно [169, 223, 224]. Загальне зниження технічного рівня рухомого складу в даний час призводить до збільшення кількості незапланованих ремонтів та замін вузлів і агрегатів [225]. Внаслідок цього, при постановці рухомого складу на плановий ремонт технічний стан навіть однотипних вузлів може істотно відрізнятись. Застосування встановленої регламентної 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 зношувань-припрацювань після розбирання-збирання [226-228].

Така ситуація спонукає до розробки та впровадження заходів щодо підвищення якості та зниження собівартості робіт по ремонту вузлів локомотивів. Одним з резервів економії ресурсів є формування індивідуальних технологічних процесів ремонту для вузлів, що відрізняються за технічним станом. Тоді з можливих типів і видів технологічних операцій, що утворюють процес, знаходять такий склад і послідовність, які забезпечують встановлений якість з найменшими

витратами. Для умов промислового виробництва таке завдання успішно вирішується методами мережевого моделювання [229, 230]. Однак для ремонтного виробництва такий підхід не дасть позитивних результатів, оскільки технічний стан об'єктів ремонту може істотно відрізнятися, отже вимагати різних технологічних впливів.

З огляду на те, що функції розподілу ймовірностей параметрів технічного стану вузлів можуть бути відомі, прийняття рішення про вибір технології повинно виконуватися в умовах ризику. У такій ситуації завдання можна сформулювати в термінах теорії прийняття рішень [231, 232].

Оскільки технологія ремонту різних вузлів відрізняється, для моделювання виникає необхідність використання фактичних даних. В роботі, в якості вихідних даних використовувалася інформація з ремонту паливних форсунок дизелів тепловозів.

Встановлена технологія їх ремонту передбачає операції:

- очищення і перевірка роботи форсунок на стенді;
- розбирання;
- промивка, продування, огляд;
- очищення або заміна соплових наконечників;
- контроль стану пружини;
- заміна несправних деталей;
- притирання поверхонь корпусу форсунки, розпилювача і соплового наконечника;
- притирання голки до корпусу розпилювача;
- перевірка підйому голки;
- промивка та продувка деталей;
- складання;
- перевірка і регулювання на стенді.

Проведення такої технології доцільно тільки у випадку граничного зношення або пошкоджень основних елементів форсунки. Реалізація повної технології ремонту для форсунок з частковим зносом може привести до необґрунтованих витрат, і зниження ресурсу її елементів.

У процесі ремонту повинна існувати можливість приймати послідовні рішення щодо технологічних впливів на об'єкт ремонту. Для дослідження цього доцільно застосовувати графічний метод - «дерево рішень», що дозволяє зв'язати точки прийняття рішення, можливі стратегії A_i , їх наслідки з можливими факторами та умовами зовнішнього середовища. Побудова дерева рішень починається з більш раннього рішення, потім зображуються можливі дії і наслідки кожного дії (події), потім знову приймається рішення (вибір напрямку дії) і т. д., до тих пір, поки всі логічні наслідки результатів не будуть вичерпані.

Визначення необхідного обсягу технологічних впливів для форсунок з різним технічним станом вироблялося в процесі побудови дерева рішень (рисунок 4.15).

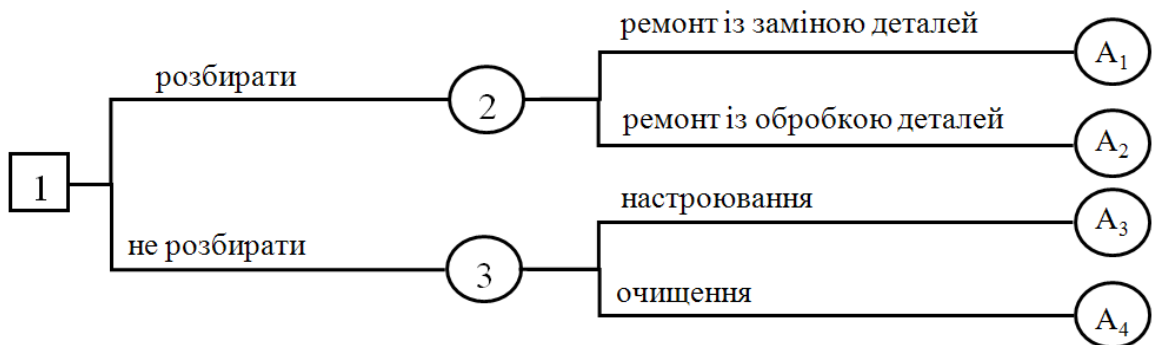


Рисунок 4.15 - Дерево рішень формування технології ремонту на прикладі паливної форсунки дизеля тепловоза

Аналіз побудованого дерева рішень показує, що для ремонту паливних форсунок тепловозів, в залежності від їх стану може

застосовуватися як мінімум чотири варіанти технологій (стратегій): A_1 - розбирати, ремонтувати із заміною деталей; A_2 - розбирати, ремонтувати шляхом обробки деталей; A_3 - не розбирати, регулювати; A_4 - не розбирати, чистити.

При цьому визначальними критеріями будуть: справність форсунки в цілому, розрегулювання форсунки, несправності окремих елементів форсунки. Ймовірності цих станів визначалися зі статистичних даних несправностей форсунок в ремонтному виробництві локомотивного депо (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Розподіл основних несправностей паливних форсунок дизелів тепловозів, що надійшли в ремонт

Вид несправності форсунки	Кількість форсунок, од	Ймовірність виникнення несправності
1	2	3
Забруднення отворів розпилювача	453	0,18
Порушення регулювань	578	0,23
Втрата герметичності	830	0,33
Пошкодження та відмови окремих деталей	654	0,26
Всього	2515	1,0

Оскільки одним із критеріїв оцінки технологічних процесів є витрати на їх реалізацію, виникає завдання їх визначення для умов локомотиворемонтного виробництва. Основні витрати на здійснення технологічної операції в процесі ремонту вузла локомотива можна визначати із залежності

$$C_{TO} = W + E_C + T_C + P_C \quad (4.26)$$

де W - заробітна плата персоналу, грн.;

Ec - витрати на експлуатацію та амортизацію обладнання, грн.;

Tc - витрати на експлуатацію інструменту і пристосувань, грн.;

Pc - витрати на запасні частини і матеріали, грн.

Якщо технологічний процес ремонту складається з $k \in 1, K$ операцій, то з урахуванням (1), модель витрат на процес матиме вигляд

$$C_{TP} = \sum_{k=1}^K C_{TO}, \quad (4.27)$$

Розрахунки по (4.27) дозволяють сформувати відповідну матрицю виграшів в відносних одиницях. Причому рядки матриці це можливі варіанти технології ремонту A_i (рисунок 4.16), а стовпці - можливі стани форсунок (таблиця 4.5)

$$A = \begin{pmatrix} 122 & -7 & -953 & -1025 \\ -250 & 1072 & 1037 & 1055 \\ -156 & -1200 & 1166 & 1149 \\ -138 & -1088 & -1182 & 1184 \end{pmatrix} \quad (4.28)$$

Після визначення стратегій і формування матриці виграшів, формалізацію задачі вважають завершеною.

Аналіз матриці виграшів дозволяє визначити гарантований виграш, який визначається нижньою $a = \max(a_i) = -250$, і верхньою ціною гри $b = \min(b_j) = 122$. Оскільки $a \neq b$, сідлова точка відсутня, а ціна гри знаходиться в межах $-250 \leq y \leq 122$.

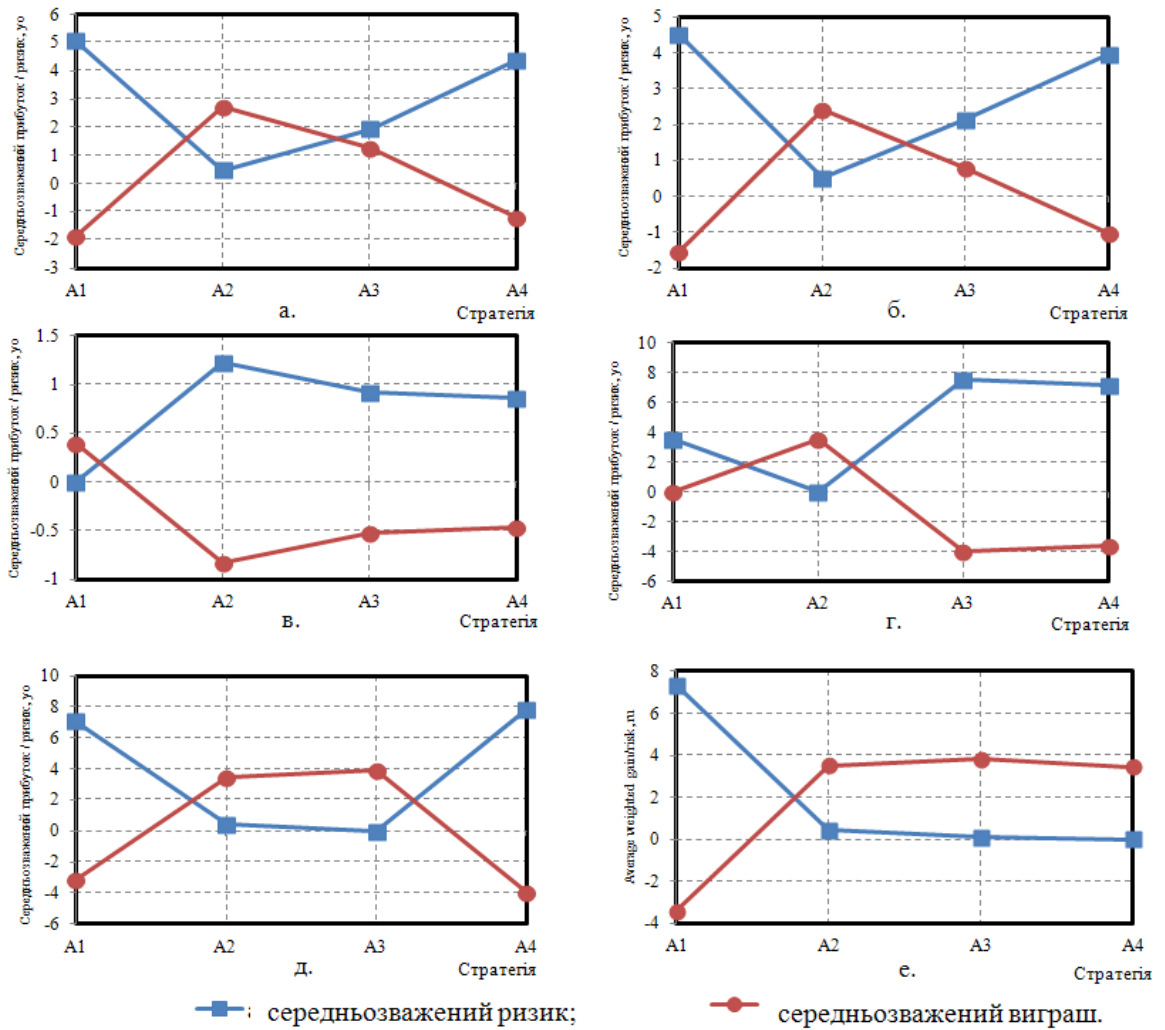


Рисунок 4.16 - Оцінка критеріїв різних технологій ремонту вузла локомотива: а) за статистичними даними; б) ймовірності станів форсунок рівні; в) домінування стану «Пошкодження та відмови окремих деталей»; г) домінування стану «Втрата герметичності»; д) домінування стану «Порушення налаштувань»; е) домінування стану «Забруднення отворів розпилювача»

Отже поставлена задача не має рішень в чистих стратегіях. Також було визначено, що жодна з чистих стратегій гравця не є ні домінуючою, ні домінованою. Застосовувана в даний час технологія (стратегія 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 форсунки з різним технічним станом (таблиця 4.5), доцільно застосовувати гнучкі, адаптивні технології ремонту.

Матриця виграшів не завжди повністю відображає всі існуючі умови для прийняття рішень. Тому аналіз моделі обов'язково повинен включати показники "хорошого" і "невдалого" вибору стратегії для кожного стану природи. Показником сприятливості стану Q_i природи Q називається найбільший виграш при цьому стані, тобто найбільший елемент j -го стовпця

$$\beta_j = \max_i a_{ij}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4.29)$$

Показник сприятливості природи використовують для визначення ризику r_{ij} - характеристики ступеня успішності використання гравцем стратегії A_i для стану природи Q_j

$$r_{ij} = \beta_j - a_{ij}. \quad (4.30)$$

Виходячи з (4.30) і даних матриці виграшів (4.28) отримують матрицю ризиків

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1078 & 2118 & 2208 \\ 372 & 0 & 128 & 128 \\ 278 & 2272 & 0 & 34 \\ 260 & 2160 & 2348 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4.31)$$

Аналіз матриці ризиків дозволяє розкрити певні особливості отриманої моделі. Так в матриці виграшів, для стратегії A_2 елементи a_{22} , a_{23} , a_{24} характеризуються практично рівнозначними виграшами (4.28). Але з точки зору ризиків, ці елементи далеко не рівноцінні. Для станів Q_3 і Q_4 ризик дорівнює 128, а для стану Q_2 - 0.

Методи прийняття рішень в умовах ризику використовують теорію вибору, що отримала назву теорії корисності. Відповідно до цієї теорії, стратегію A_i обирають із сукупності $A_i (i= 1...n)$, якщо вона максимізує очікувану вартість його функції корисності [231, 232]. Очікувану вартість реалізації кожної альтернативи визначають як середньозважений виграш \bar{a}_c з урахуванням ймовірностей w_i всіх можливих станів природи Q_j

$$\bar{a}_c = w_1 a_{i,1} + w_2 a_{i,2} + \dots + w_s a_{i,s} = \sum_{j=1}^s w_j a_{i,j} \quad (4.32)$$

Оптимальною стратегією є та, для якої середньозважений (виграш) максимальний.

Оцінка стратегій щодо ризику проводилася шляхом обчислення середньозваженого ризику

$$\bar{r}_c = w_1 r_{i,1} + w_2 r_{i,2} + \dots + w_s r_{i,s} = \sum_{j=1}^s w_j r_{i,j} \quad (4.33)$$

Порівняння критеріїв \bar{a}_c і \bar{r}_c для стратегій A_{1-4} дозволяє визначити доцільність їх застосування для існуючих (досліджуваних) ймовірностей станів (рисунок 4.16).

Максимальним середньозваженими виграшем і відповідно мінімальним середньозваженими ризиком характеризується стратегія A_2 . Якщо інтерпретувати цей результат до поставленого завдання, то можна

відзначити: для поточного розподілу ймовірностей стану форсунок, найбільший вигаш з мінімальними ризиками буде приносити реалізація технології ремонту з розбиранням і притиранням зношених деталей.

4.6 Розробка інтелектуалізованого випробувального обладнання для умов локомотиворемонтного виробництва

4.6.1 Основні передумови розробки інтелектуалізованого обладнання для випробування паливної апаратури

Паливна апаратура (ПА) напряму впливає на економічність дизелів, їх екологічні показники. Покращення режимів роботи ПА, її технічного стану є додатковими резервами скорочення витрат на енергоносії.

Скорочення витрат дизельного палива шляхом керованих впливів на ПА не є новим. На сьогоднішній день тепловози Укрзалізниці обладнуються автоматизованими системами оперативного обліку витрат палива, штатні регулятори частоти обертів замінюються електронними. Ці заходи призводять до певних скорочень витрат. Однак суттєвий вплив на витрати палива здійснює саме технічний стан ПА, що обумовлюється якістю ремонтних операцій.

Ремонт ПА дизелів тепловозів при проведенні ПР-2 та ПР-3 полягає в огляді і випробуваннях. При цьому один з основних з параметрів як форсунок так і плунжерних пар паливних насосів – гідравлічна щільність контролюється на спеціальних стендах гирьової конструкції для плунжерних пар (тип А53) та з ручним приводом нагнітального насосу для форсунок (тип А106), проекти яких були розроблені в середині 50-х років 20 століття. Під час випробування ПА в обох випадках існує ймовірність

помилки. Як у випадку коли справна одиниця ПА буде забракована, так і у випадку, коли несправна одиниця ПА буде направлена в експлуатацію.

Для визначення причин виникнення помилок при випробуванні ПА паливних насосів на гідравлічну щільність в [233] використовувався метод побудови «дерева подій», що дозволяє символічно представити існуючих в системі умови, які здатні призвести до помилки. Крім того, побудоване дерево дозволяє показати в явному вигляді слабкі місця системи і є наглядним засобом встановлення ступеню відповідності конструкції системи заданим вимогам. Структура «дерева подій» включає одну головну подію U – «несправна одиниця ПА прийнята як справна», що з'єднується з набором відповідних вихідних подій, які утворюють причинні ланцюги. Взаємодія вихідних подій може показуватись з використанням спеціальних операторів. З урахуванням того, що похибки й помилки під час випробувань ПА можуть бути наслідком помилок персоналу чи несправності обладнання і визначались основні групи вихідних подій. Кожна визначена подія X_i може призвести до результуючої U , тому в дереві подій використовувався оператор «або».

Аналітичні вирази умов появи проміжних подій $X_1 - X_3$ мають вигляд:

$$X_1 = (X_4 \cup X_5), \quad (4.34)$$

де X_1 – несправність випробувального стенду;

X_4 – порушення щільності гідравлічної системи випробувального стенду;

X_5 – збільшення тертя в важільній системі випробувального стенду;

$$X_2 = (X_6 \cup X_7 \cup X_8) \quad (4.35)$$

де X_2 – помилка персоналу під час прийняття рішення про придатність одиниці ПА (помилка мислення та прийняття рішень);

X_6 – помилка персоналу під час розрахунку середнього значення щільності одиниці ПА;

X_7 – помилка персоналу під час коригування щільності по температурі робочого тіла;

X_8 – помилка персоналу під час порівняння отриманого значення щільності одниці ПА з нормативним;

$$X_3 = (X_9 \cup X_{10}), \quad (4.36)$$

де X_3 – помилка персоналу при під час визначення параметрів щільності ПА (помилка сприйняття);

X_9 – помилка персоналу під час визначення щільності одиниці ПА що надійшла в ремонт;

X_{10} – помилка персоналу під час визначення щільності еталонної одниці ПА.

Тоді аналітичний вираз умов появи результуючої події U матиме вигляд структурної функції

$$U = X_1 \cup X_2 \cup X_3 = (X_4 \cup X_5) \cup (X_6 \cup X_7 \cup X_8) \cup (X_9 \cup X_{10}), \quad (4.37)$$

Якісний аналіз «дерева подій» полягає в виявленні небезпечних поєднань, що можуть призвести до появи результуючої події. Взаємодія подій в дереві, що розглядається показана тільки з використанням оператора «або». Отже кожна вихідна подія може призвести до появи події U . А значить мінімальна кількість небезпечних поєднань дорівнює кількості вихідних подій.

Кількісний аналіз «дерева подій» можна провести шляхом звертання виразу (4.37) за правилами булевої алгебри, тобто заміни оператора « \cup » на арифметичну дію « $+$ », а кодів вихідних подій на оцінки ймовірності їх появи $P(X_i)$. Після подібних перетворень для оцінки $P(Y)$ використовувались розрахункові багаточлени наступного вигляду

$$P(Y) = (1 - (1 - P(X_1))(1 - P(X_2))(1 - P(X_3))) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(X_i)) \quad (4.38)$$

де n – кількість вихідних подій нижчого порядку.

Для визначення ймовірності появи результуючої події Y за виразом (4.38) використовувались статистичні дані про причини повторного розбирання ПА за результатами обкатування на стенді, результати опитування виконавців та керівників ремонтних і випробувальних робіт ПА. Крім того використовувалась інформація відділів головного механіка ряду локомотивних депо щодо відмов стендового обладнання паливних відділень.

Так як певні події, враховані при побудові дерева можуть носити сезонний характер, ймовірність за виразом (4.38) обчислювалась за період в один рік. Ймовірнісні характеристики, що були отримані в результаті не можуть бути використані в безпосередній оцінці безпомилковості випробувального процесу. Це пояснюється їх імовірнісним характером та великою ступінню залежності від випадкових факторів, якими можуть бути й програма ремонту, організація роботи та ремонту, особливості технології, цілий ряд зовнішніх чинників. Найбільший же вплив здійснюють саме чинники, що пов'язані з людським впливом на результат випробувань. І якщо від впливу вказаних факторів, численні значення ймовірностей вихідних подій в різних локомотивних депо можуть різнитися, то характер їх відношення буде залишатись майже незмінним.

Що дозволяє оцінювати саме ступінь впливу кожної вихідної події на результуючу, та вважати отриманий результат адекватним.

Ступінь впливу вихідних подій на появу результуючої визначалася за величиною коефіцієнта значимості, що являє собою відношення імовірності вихідної події до імовірності результуючої події

$$K_i = \frac{P(X_i)}{P(Y)} \quad (4.39)$$

В таблиці 4.6 приведені розраховані значення ймовірності появи вихідних подій нижчого порядку та їх коефіцієнти значимості.

Таблиця 4.6 – Імовірнісні характеристики вихідних подій помилки при випробуванні ПП паливного насоса дизеля тепловоза

Позначення		Імовірність вихідної події $P(X_i)$	Коефіцієнт значимості K_i
X_1	X_4	0,0013	0,009126
	X_5	0,0018	0,012636
X_2	X_6	0,039	0,27378
	X_7	0,031	0,21762
	X_8	0,042	0,29484
X_3	X_9	0,026	0,18252
	X_{10}	0,01	0,0702

З отриманих даних видно, що сумарний коефіцієнт значимості вихідних подій, які виникають з вини персоналу (X_2+X_3) становить 98 %. Коефіцієнт значимості несправності стенду становить два відсотки, що

підтверджує високу надійність випробувального стенду, яка обумовлюється простотою конструкції та принципу дії.

Виходячи з результатів досліджень можна визначити напрямки підвищення якості та удосконалення технології ремонту паливної апаратури тепловозних дизелів. Для підвищення ефективності випробувальних операцій необхідна комплексна модернізація випробувального обладнання паливних відділень локомотивних депо.

Роботи по удосконаленню випробувального обладнання мають проводитись з метою усунення людського чинника від впливу на результат випробувань, особливо на етапах прийняття рішення щодо придатності вузлів паливної апаратури до експлуатації. Паралельно з операціями по випробуванню паливної апаратури має автоматично виконуватись протоколювання результатів випробувань, внесення даних в електронний паспорт вузла, обмін даними з сервером локомотивного депо, в межах інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів.

4.6.2 Дослідження впливу температури робочого тіла на процеси випробувань паливної апаратури дизелів тепловозів

Найбільший вплив на роботу дизельної ПА здійснює технічний стан прецизійних пар (ПП). Їх технічний стан визначається шляхом опресування на спеціальних стендах. Крім недоліків випробувань, що пов'язані із впливом на результат «людського фактору», є також суттєва залежність результату від зміни в'язкості опресувальної суміші. В умовах ремонтного виробництва це може суттєво знижувати точність та достовірність результатів. Під час розробки автоматизованого випробувального обладнання для ПА постають питання визначення впливу в'язкості опресувальної суміші на результати випробувань.

Зв'язок основних параметрів рідини та ПП відображається в виразах для обчислення витрат рідини в зазор. В [234] проводиться аналіз основних залежностей, що були отримані в різний час. Більшість дослідників брали за основу рівняння Пуазейля

$$Q = \frac{\pi D^4 (p_1 - p_2)}{128 \eta L}, \quad (4.40)$$

де D – діаметр трубопроводу;

$(p_1 - p_2)$ – різниця тиску на вході і на виході з труби;

η – в'язкість рідини;

L – довжина труби.

Розрахунки на основі таких залежностей характеризуються низькою точністю, особливо для зношених ПП. Випробування ПП на стенді проводиться параметрами значно нижчими за експлуатаційні показники, та при одному положенні плунжера (максимальна подача). Тому витрати палива при випробуваннях ПП можна визначати як витрати при ламінарному русі рідини через малий кільцевий зазор ($\delta \ll D$)

$$Q = \pi D \left[\frac{\delta^3}{12 \mu l} (p_1 - p_2) (1 + 1,5 \varepsilon^2) + \frac{v_{II} \delta}{2} \right], \quad (4.41)$$

де D – діаметр зовнішнього циліндра (гільзи плунжера);

δ – величина зазору;

v_{II} – швидкість руху поршня (плунжера);

$\varepsilon = \frac{e}{\delta}$ - відносний ексцентриситет;

μ – динамічна в'язкість;

l – довжина кільцевого зазору;

e – відстань між осями циліндрів.

Витрати палива Q з розмірністю $\text{м}^3/\text{с}$, можна представити як

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (4.42)$$

де V – об'єм палива, що пройшло в зазор ПП;

t – час, за який паливо пройшло в зазор;

Знаючи обсяг палива що проходить в зазор ПП під час випробувань, з (4.41) та (4.42) можна отримати

$$t = \frac{V}{\pi D \left[\frac{\delta^3}{12\mu l} (p_1 - p_2)(1 + 1,5\varepsilon^2) + \frac{\nu_{II}\delta}{2} \right]} \quad (4.43)$$

На рисунку 4.17 показана графічна залежність часу опресування (гідравлічної щільності) ПП від зазору, що розрахована згідно (4.43)

В [235] приводяться залежності впливу подачі паливних насосів дизелів від збільшення зазорів в плунжерних парах (рисунок 4.18).

З рисунку 4.18 видно, що для ПП паливних насосів дизелів типу Д49 збільшення діаметрального зазору до 6 мкм не впливає на зміну подачі. Проте подальше зношення та збільшення зазору викликає різке зниження подачі. Отже бракувальні значення діаметрального зазору плунжерних пар становлять 6-7 мкм. Адекватність отриманої кривої перевірялась в порівнянні розрахункових даних гідравлічної щільності плунжерних пар з допустимими та граничними значеннями. Задовільний результат вказує на адекватність отриманої залежності (4.43) та кривої (рисунок 4.17).

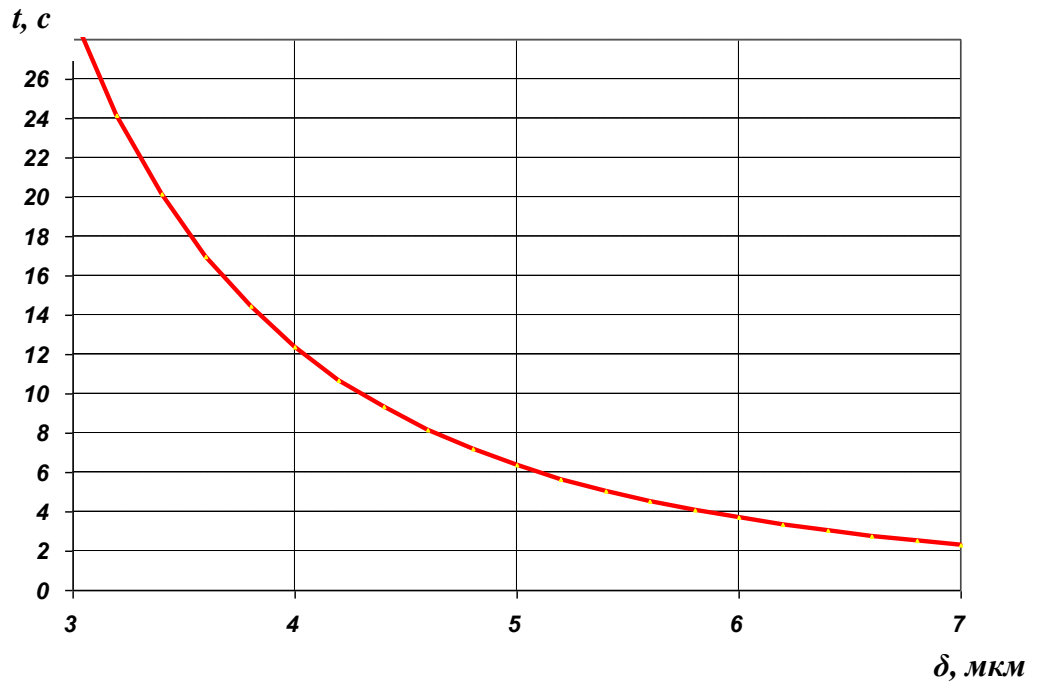


Рисунок 4.17 – Залежність часу опресування ПП дизеля типу Д49 від зазору

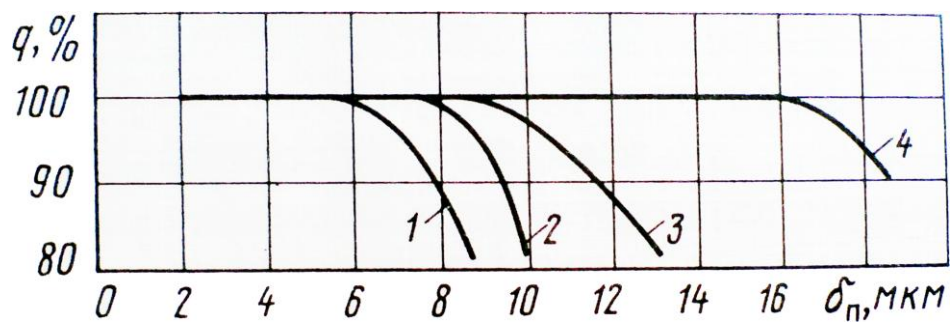


Рисунок 4.18 – Зміна подачі q паливних насосів дизелів в залежності від збільшення середнього діаметрального зазору, дизелів типів: 1) Д49; 2) Д50; 3) 11Д45; 4) 10Д100; 5) 2Д100

Для визначення впливу в'язкості опресувальної суміші на результати випробувань плунжерних пар необхідно було встановити її залежність від температури.

Існує велика кількість залежностей в'язкості від температури (формули Пуазейля, Торпа та Роджера, Коха, Гретца, Гааза, Слота, Деффа

та інші). Але ні одна з існуючих не може бути використана для здійснення коректувальних чи компенсуючих дій на результат вимірювань.

В теперішній час більшість авторів приходять до експоненціальної залежності в'язкості від температури

$$\mu = Ae^{\frac{B}{T}}, \quad (4.44)$$

де A, B – постійні для даної рідини;

T – температура рідини, °С.

В якості опресувальної рідини для випробування ПП ПА використовується суміш дизельного палива та масла з в'язкістю 9,9-10,9 сСт при температурі 20°С. Залежність в'язкості від температури будувалась за експериментальним даним, що були визначені при 15, 20, 25 та 30°С (рисунок 4.19).

Температура в випробувальному приміщенні паливного відділення локомотивних депо в різні пори року може сягати значень від +15° до +35° С. Для визначення критичних значень в'язкості, криві зміни верхньої та нижньої межі в'язкості накладались на допустиме поле 9,9-10,9 сСт (рисунок 4.20)

З рисунка 4.20 видно, що при зниженні температури опресувальної рідини до +15°С її в'язкість виходить за допустимі межі в діапазоні 10,9 – 11,46 сСт. Підвищення температури вже до +31,5° в'язкість опресувальної рідини повністю виходить за допустимі межі. При температурі +35 °С в'язкість опресувальної рідини може становити 8,73 сСт.

Вплив в'язкості опресувальної рідини, що виходить за допустимі межі визначався шляхом розрахунку часу опресування згідно залежності (4.43) та графічного відображення отриманих результатів (рисунок 4.21).

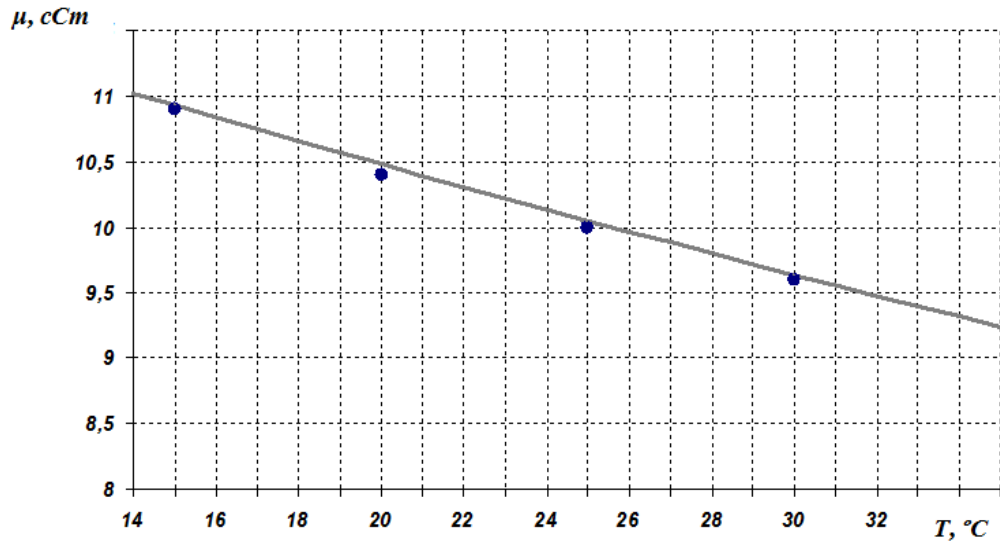


Рисунок 4.19 – Залежність в'язкості опресувальної рідини від температури

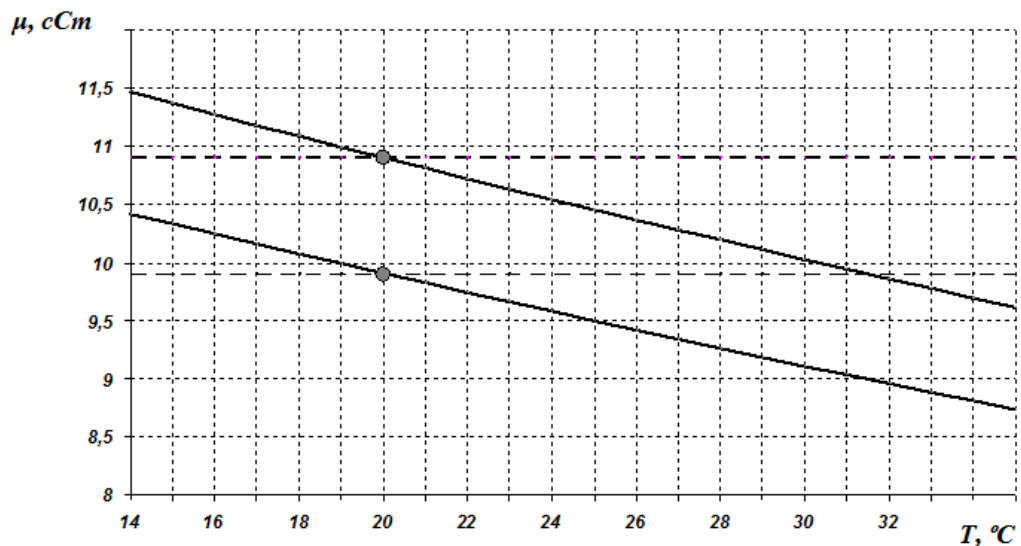


Рисунок 4.20 – Залежність верхньої та нижньої меж в'язкості опресувальної рідини від температури

Проведені розрахунки підтверджують вплив в'язкості рідини на значення гідравлічної щільності плунжерних пар при випробуваннях. Для нових плунжерних пар похибка отриманих значень гідравлічної щільності може становити 8 с при різних температурах. По мірі збільшення діаметрального зазору в плунжерній парі, вплив температури

опресувальної рідини зменшується. Для плунжерних пар з бракувальними значеннями зазорів розбіжність отриманої гідравлічної щільності складатиме 1 с. В нормативній документації на ремонт тепловозів вказано допустиму похибку вимірювань гідравлічної щільності плунжерних пар 10 %. З урахуванням цієї вимоги, на рисунку 4.22. порівнювалась допустима та розрахункова похибки визначення гідравлічної щільності плунжерних пар. Як видно, значення похибки від впливу в'язкості суміші для всіх значень діаметрального зазору плунжерних пар значно перевищує допустиму похибку, а значить може стати причиною помилки при випробуваннях.

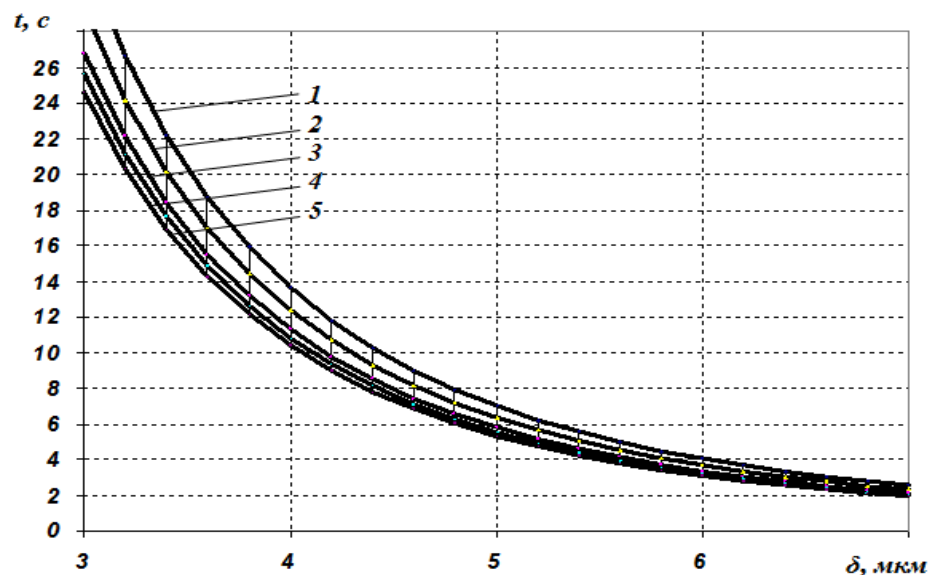


Рисунок 4.21 – Розрахункові залежності часу опресування плунжерної пари дизеля типу Д49 від зазору між плунжером та гільзою при різних температурах опресувальної рідини: 1) 15°C; 2) 20°C; 3) 25°C; 4) 30°C; 5) 35°C

Тому при розробці автоматизованих систем випробування плунжерних пар необхідно враховувати вплив температури та в'язкості

опресувальної рідини, а отримані значення корегувати з урахуванням залежностей (4.43) та (4.44).

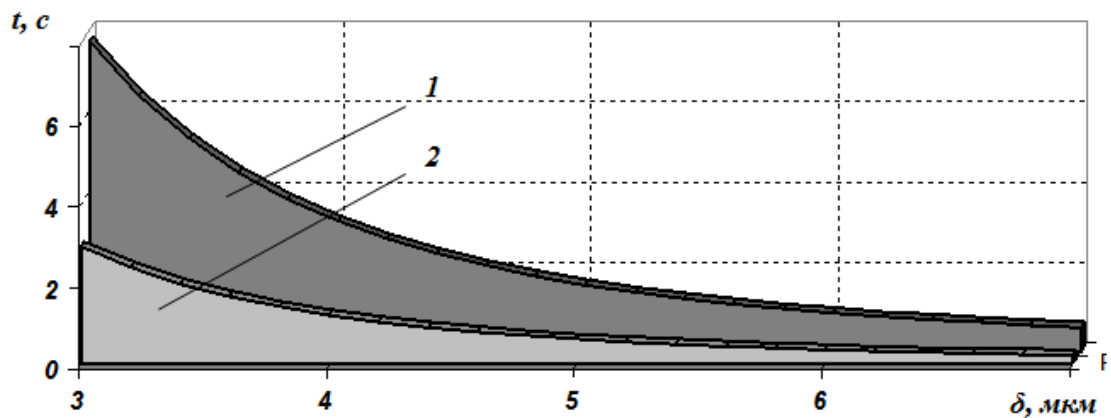


Рисунок 4.22 – Порівняння похибок вимірювань при визначенні гідравлічної щільності плунжерних пар: 1) похибка від впливу в'язкості опресувальної рідини; 2) допустима похибка для стенда типу А53

Отже, в результаті дослідження отримано залежність, що дозволяє визначати вплив в'язкості опресувальної рідини на час опресування ПП під час випробувань ПА. Найбільший вплив в'язкості опресувальної рідини здійснюється на значення щільності ПП з номінальними чи близькими до них діаметральними зазорами. Визначено, що похибка від впливу в'язкості опресувальної рідини перевищує допустиму похибку для існуючих випробувальних стендів для всіх значень діаметральних зазорів ПП.

4.6.3 Розробка інтелектуалізованого випробувального обладнання для випробувань і діагностування форсунок тепловозних дизелів

За завданням Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці було розроблено автоматизований діагностично-випробувальний стенд для перевірки параметрів роботи форсунок

тепловозних дизелів. В ньому реалізовані сучасні технічні рішення для визначення параметрів роботи паливних форсунок. Це реалізується за рахунок використання в його конструкції електронного датчика тиску, який вмонтований в паливний акумулятор, блока керування на мікропроцесорній основі, уловлювача дизельного палива (ДП) з вставкою, для регулювання діаметра уловлювача ДП, а також додаткового устаткування, зокрема: персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ) з монітором, що встановлені на рамі стенда. Технічний результат, який досягається при рішенні поставленої технічної задачі, полягає в отриманні даних безпосередньо через електронний датчик тиску, який вмонтований в паливний акумулятор, по випробовуванні паливної форсунки. Розроблений автоматизований стенд суттєво скорочує час, який затрачується на процес проведення випробування згідно з регламентованими правилами ремонту [236]. Конструктивно стенд складається з рами, на якій змонтований паливний бак з ДП, що сполучений через трубопровід подачі ДП низького тиску, з робочим модулем та трубопроводи подачі ДП високого тиску з паливним акумулятором, форсункою, яка закріплена на стійці і уловлювачем ДП. Останні утворюють камеру випробування, яка змонтована на рамі та закривається прозорою кришкою. Блок керування на мікропроцесорній основі, сполучений з насосом підкачки ДП з бака в ПНВТ, електронним датчиком тиску, який вмонтований в паливний акумулятор, кроковим двигуном для приведення в дію ПНВТ та ПНВТ, стенд додатково обладнаний ПЕОМ з монітором. У зв'язку з тим, що стенд обладнаний блоком керування на мікропроцесорній основі, який сполучений з електронним датчиком тиску, забезпечується підвищення якості проведення випробування паливних форсунок тепловозних дизелів, зменшується час технологічних операцій процесу проведення післяремонтного випробування паливної форсунки. За рахунок того, що в

стенді використовується уловлювач ДП, який має наближену форму циліндра дизеля та вставка, для регулювання діаметра уловлювача ДП відповідно до типу паливної форсунки, яка випробовується, досягається візуальна імітація процесу упорскування ДП форсункою (факел розпилення ДП). Завдяки розташуванню стійки кріплення форсунки, уловлювача ДП, який має вмонтовану горловину, що підключається до витяжної вентиляції камери випробовування, яка в свою чергу зачиняється прозорою кришкою, досягається безпечне спостереження за випробуваннями. Вбудована панель управління стенда, що сполучена з ПЕОМ і монітором забезпечує керування випробуванням паливних форсунок, відображення етапів випробовування на моніторі, побудова графіка випробування. Передбачена передача даних випробування паливних форсунок тепловозних дизелів у інформаційну мережу підприємства, відповідну ремонтну базу. Впровадження розробленого стенду дозволяють забезпечити зменшення часу на технологічні операції процесу проведення випробування паливної форсунки, підвищити якість проведення випробувань та контролю його виконання згідно існуючих вимог. Конструкція автоматизованого стенду для випробувань паливних форсунок тепловозних дизелів представлена на рисунку 4.23, що складається з рами 1, на якій встановлена стійка 2 для кріплення паливної форсунки, паливна форсунка 3, яка з'єднана з паливним акумулятором 4, з вмонтованим електронним датчиком тиску 5, робочим модулем 6, змонтованим паливним баком 7, паливної системи, яка включає в себе трубопроводи високого тиску 8, трубопроводи низького тиску 9, фільтр грубої очистки 21. Система керування процесом випробування паливної форсунки складається із блоку керування 18, ПЕОМ 19, введення необхідної інформації відбувається з панелі управління 10 (кнопки керування, кнопка екстреної зупинки роботи стенду). Також на рамі стенду встановлений уловлювач ДП 15, який має вмонтовану горловину 16, що

підключається до витяжної вентиляції і служить для відсмоктування парів ДП при роботі паливної форсунки, і має вставку для регулювання діаметра уловлювача ДП 22. Камера випробування розташована в лівій частині стенда та зачиняється прозорою кришкою 20. В ній встановлена стійка 2 кріплення паливної форсунки, трубопровід високого тиску 8, паливний акумулятор 4 з вмонтованим електричним датчиком тиску 5. Робочий модуль 6, включає в себе насос підкачки 11, кроковий двигун 12, ПНВТ 13, фільтр тонкої очистки 14. Панель управління 10 складається з монітора 17 та кнопок керування, кнопки екстреної зупинки роботи стенду.

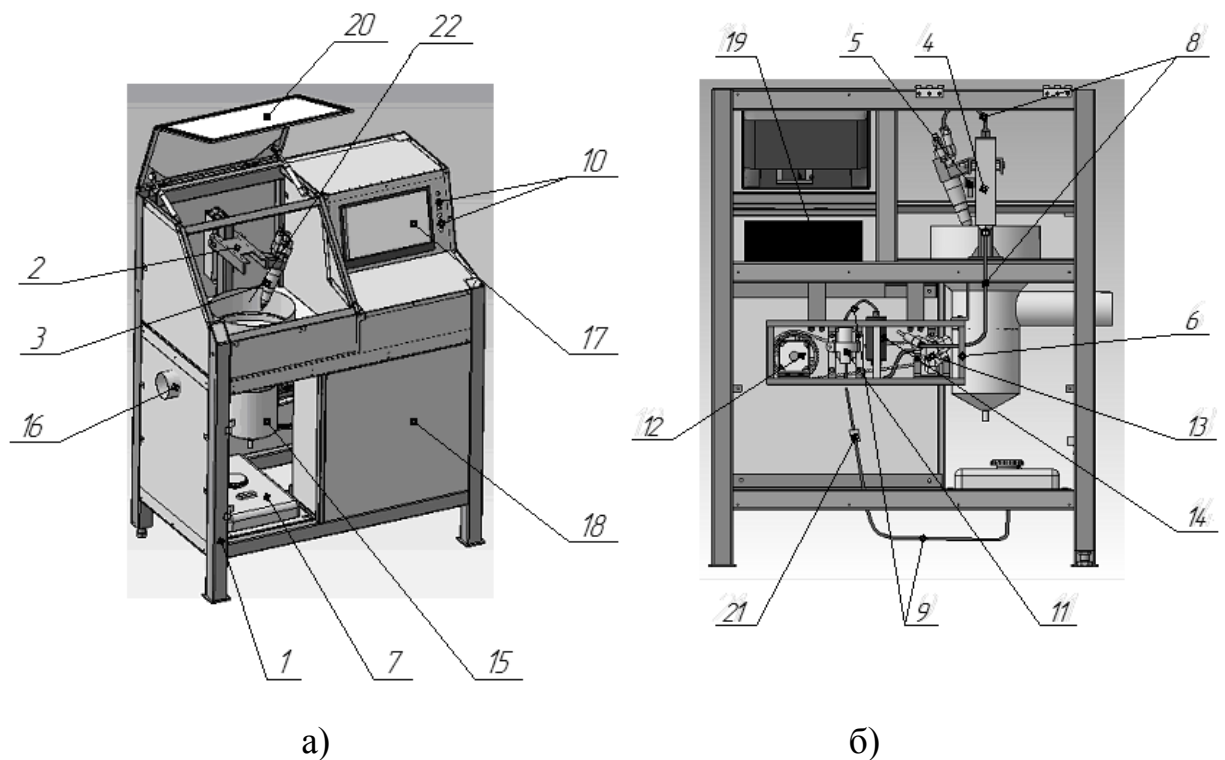


Рисунок 4.23 – Автоматизований стенд для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів: а) загальний вид; б) вид ззаду

Автоматизований стенд випробування паливних форсунок тепловозних дизелів працює наступним чином. Управління роботою стенда здійснюється оператором з панелі управління 10. Після включення стенда на моніторі 17 з'являється вікно випробувальної програми для

введення табельного номера оператора, далі вікно з вказаними типами паливних форсунок (що дозволяє обрати програму випробування форсунки певного типу). Після вибору типу форсунки, оператором вводиться її індивідуальний номер. Після цього за підказками програми обираються випробувальні тести (як окремо кожний, так і виконання всієї програми випробування послідовно). Автоматизований стенд випробування паливних форсунок тепловозних дизелів дозволяє виконувати основні операції необхідних для перевірки та регулювання паливних форсунок дизелів типу Д49, 10Д100, К6S310DR, а саме:

- перевірка гідравлічної щільності паливної форсунки;
- регулювання тиску початку упорскування ДП;
- перевірка перепаду тиску ДП за період його упорскування;
- перевірка якості розпилення ДП, що упорскується;
- визначення герметичності розпилювача по замикаючому конусу

тиском палива (рисунок 4.24).

Переключення типу форсунки передбачає встановлення трубопроводу високого тиску 8, який з'єднує паливну форсунку та акумулятор, що відповідає паливній форсунці 3, та регулювання діаметру уловлювача ДП шляхом відповідної вставки 22.

При виконанні перевірки щільності голки розпилювача в гідравлічному акумуляторі 12 одноразово нагнітається ДП до значення тиску 40 МПа (400 кгс/см^2) за допомогою ПНВТ 13. Час падіння тиску вимірюється за допомогою електронного таймера.

При регулюванні початку впорскування в паливному акумуляторі 4 постійно нагнітається ДП ПНВТ 13 до зупинки процесу оператором стенда. Поточні дані тиску фіксуються електронним датчиком тиску 5 та передаються до ПЕОМ 19 для подальшого відображення на моніторі 17.

При виконанні перевірки герметичності розпилювача по замикаючому конусу тиск в паливному акумуляторі 4 нагнітається до

значення 40 МПа (400 кгс/см^2) та утримується протягом 2 хвилин за допомогою ПНВТ 13. Дизельне паливо до ПНВТ подається по трубопроводу низького тиску 9 через фільтр грубої очистки 17, насос підкачки 11 та фільтр тонкої очистки 14. Після ПНВТ по трубопроводу високого тиску ДП надходить до паливного акумулятора 4, паливної форсунки 3.

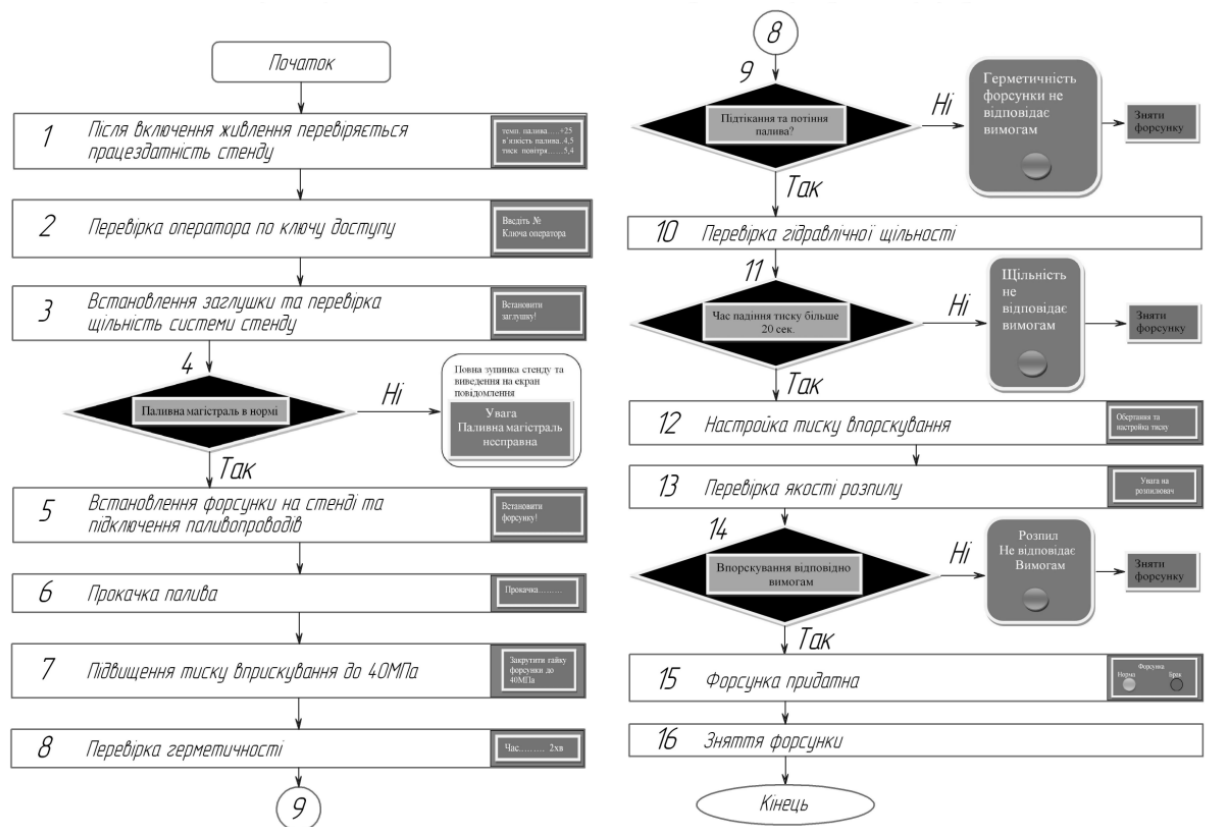


Рисунок 4.24 – Алгоритм роботи автоматизованого стенду для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів

У стенді передбачені наступні захисні системи блокування роботи та контролю виконання випробування:

- без вводу табельного номера оператора та номера паливної форсунки, виконання випробувальних тестів не можливе;

- тільки після проведення повної програми випробувань паливної форсунки (а не окремих її етапів) інформація про результати зберігається на ПЕОМ, та надсилається до інформаційної мережі підприємства;

- перевищення тиску в трубопроводі високого тиску, в залежності від вибраного випробування (для опресовування форсунки ДП - 50 МПа; настроювання форсунки та перевірки якості розпилу - 36 МПа).

Суттєвою перевагою стенду є також вбудована функція надання рекомендацій щодо формування індивідуальної технології ремонту форсунки, за результатами її випробувань. Надані рекомендації надаються в протоколі випробувань, що формується за їх результатами і може передаватись до автоматизованого робочого місця майстра відділення.

4.7 Висновки до розділу 4

1. На основі аналізу сучасних досліджень механізмів відмов обладнання засобів транспорту, розвитку засобів діагностування, з метою удосконалення підходів до формування стратегії ТОiP сформована доцільність застосування методології RCM, а саме диференційного підходу до кожного елемента локомотива, що характеризується індивідуальними показниками (особливості конструкції, вплив на безпеку руху, ремонтпридатність, ймовірні наслідки відмови).

2. З огляду на неповноту і неоднозначність інформації щодо ризик-орієнтованої оцінки вузлів локомотивів, запропоновано розглядати формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів як задачу віднесення об'єктів до одного з раніше виділених класів, тобто завдання класифікації. А з урахуванням характеру вхідних даних, рішення цього завдання запропоновано проводити в рамках інтелектуалізованої системи на основі нечітких алгоритмів.

3. Для визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів розроблений нечіткий класифікатор, що побудований на базі нечіткого алгоритму Сугено та має три вхідних змінних: Значимість відмови, Частота виникнення відмови, Можливість виявлення передвідмовного стану. Результати оцінки точності нечіткого класифікатора вказують на те, що в результаті оптимізації із застосуванням генетичних алгоритмів вдалося досягти зменшення кількості правил в базі знань з 36 до 13. При цьому точність класифікації, що визначалась за тестовою вибіркою експериментальних даних збільшилась з 92,3 до 96,8%.

4. 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.

5. Наявна сучасна елемента база дозволила розробити проект та виготовити діючий зразок автоматизованого стенду для випробувань паливних форсунок дизелів тепловозів, що реалізує інтелектуалізований підхід і дозволяє надавати рекомендації щодо індивідуальної технології ремонту паливних форсунок за результатами їх випробувань.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА АДАПТИВНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНИХ ВИРОБНИЦТВ

5.1 Формування організаційних структур підприємств на основі системного підходу

В основі теорії організації лежить теорія систем, так як термін «організація» в одному зі своїх лексичних значень означає впорядковану і організовану систему [89, 237, 238]. Оскільки система це множина взаємопов'язаних діючих елементів для цілеспрямованої діяльності, то основними ознаками організації як системи є [239, 240]:

- множина складових її елементів (підсистем);
- єдність головної мети для всіх підсистем;
- наявність зв'язків між елементами;
- цілісність і єдність підсистем;
- наявність структури та ієрархічності в організації;
- відносна самостійність підсистем;
- наявність управління елементами системи (організації).

Кожна організація повинна мати всі ознаки системи, відсутність хоча б однієї неминуче призводить організацію до ліквідації. Таким чином, системний характер організації це необхідна умова її діяльності.

Організація в теорії інтерпретується як досягнення структурованості, внутрішньої впорядкованості, узгодженості взаємодії щодо самостійних частин в системному об'єкті.

Виділяють також системні властивості організації [89, 238, 239]:

- властивість зв'язності: елементи набору можуть діяти тільки разом, в іншому випадку ефективність їх діяльності різко знижується;

- властивість емерджентності: потенціал системи може бути великим, рівним або меншим суми потенціалів елементів, що входять до її складу;

- властивість самозбереження: система прагне зберегти свою структуру незмінною за наявності збурюючих впливів і використовує для цього всі свої можливості;

- властивість організаційної цілісності: система має потребу в організації та управлінні.

За [241], з точки зору управління, віртуальні підприємства є класикою системного підходу до проблем бізнесу. Системний підхід означає, що мети підприємства можна досягти в результаті реалізації взаємозалежності основних функціональних призначень (місій) підприємства (попит, маркетинг, виробництво, фінанси, логістика). При цьому головним є досягнення оптимального поєднання різних дій і операцій для досягнення стратегічних цілей. Кожна з функціональних місій при всій важливості кожної не повинна бути протипоказаною іншим, а перебувати в стані взаємозв'язків, що забезпечить рівновагу (баланс) системи в цілому. У методологічному плані однією з основних невирішених проблем створення та функціонування віртуальних підприємств є, отримання уявлення про складні задачі взаємозв'язку, що властиві даній проблемі. Це можливо здійснити, використовуючи основні положення системного аналізу і теорії оптимізації.

Слід також зауважити, що на сьогоднішній день не існує єдиного визначення поняття «віртуальне підприємство». Поряд з цим поняттям можуть використовуватись терміни: «безмежні підприємства» [242-244], «мережеві підприємства» [244-246], «віртуальні корпорації» та «віртуальні організації» [247]. Як правило, мова йде про динамічну мережу партнерів (підприємств, організацій, окремих колективів і людей), що спільно здійснюють діяльність з розробки, виробництва і збуту певної продукції.

Основними визначеннями віртуального підприємства є:

- тимчасовий союз підприємств, які об'єднуються для обміну навичками чи основними компетенціями та ресурсами, щоб краще реагувати на можливості бізнесу, і співпраця яких підтримується комп'ютерними мережами [248-250];

- мережа самостійних в правовому, але залежних в економічному відношенні підприємств, які на основі загальних цілей поставляють на ринок певну послугу [251];

- форма кооперації кількох, як правило, незалежних партнерів (підприємств, інститутів, окремих осіб), що забезпечує завдяки оптимізації системи виробництва благ велику вигоду клієнтам [252];

- мережева, комп'ютерно опосередкована організаційна структура, що складається з неоднорідних компонентів розташованих в різних місцях [253];

- підприємство, яке створюється з різних підприємств на контрактній основі, не має єдиної юридичної організаційної структури, але має єдину інформаційну структуру з метою створення і використання комп'ютерної підтримки життєвого циклу конкретного виробу [254];

- підприємство, що створюється шляхом відбору необхідних організаційно-технологічних ресурсів від різних підприємств і їх інтеграції в гнучку і динамічну структуру, пристосовану для якнайшвидшого випуску нової продукції і її оперативної поставки її на ринок [91];

- динамічна відкрита бізнес-система на основі прогресивних інтернет-технологій, що представляє собою сукупність тимчасово об'єднаних на принципах кооперації в рамках єдиного інформаційного (віртуального) простору технологічних ресурсів автономних економічних агентів, здатних на підставі координації і оперативного розподілу виробляти кінцевий продукт або послугу [255];

- система, що має інформаційну архітектуру з підтримкою в глобальній мережі, яка з'єднує інформаційні системи компаній, що беруть участь у віртуальному бізнесі [256].

Наведені приклади підтверджують те, що область віртуальних підприємств досі розвивається та трансформується. А за [257] сама концепція навмисно не структурується, і залишається рухомою, щоб, принаймні - частково, уникнути жорсткої ієрархії і бюрократизації, які нерідко властиві традиційним організаціям.

В [247] з метою узагальнення основних визначень (без урахування правових аспектів віртуальних підприємств) виділяється один з ключових моментів - партнерство (кооперацію) декількох підприємств для створення, виробництва і збуту продукції.

Як зазначається в [252], першим імпульсом до утворення віртуального підприємства є саме надходження ринкового замовлення.

З практичної точки зору, звичайному підприємству, наприклад, для розробки і виведення нового товару на ринок потрібне залучення значних ресурсів. На відміну від нього віртуальне підприємство шукає нових партнерів, що мають відповідні ринковим потребам ресурси, знання та здібності, для спільної організації і реалізації цієї діяльності, тобто вибираються підприємства (організації, окремі колективи і люди), що володіють ключовою компетенцією у формі ресурсів і здібностей для досягнення конкурентної переваги на ринку.

Партнерство, укладається, як правило, на певний термін або до досягнення певного результату (наприклад, виконання замовлення). Іншими словами, партнерство є тимчасовим, і, наприклад, на певних етапах життєвого циклу виробу або при зміні ринкової ситуації в мережу можуть залучатися нові партнери або виключатися старі.

Природно, що підприємства-партнери для ефективного функціонування всієї мережі повинні діяти узгоджено.

Коли ж, наприклад, для найкращої відповідності ринковим потребам, в мережу об'єднується велика множина підприємств, найчастіше, віддалених географічно, то очевидно, що таким підприємствам важко узгодити свої дії без оперативної інформації та комунікацій. Отже, для вирішення інформаційних проблем віртуальне підприємство повинно мати єдину інформаційну систему, засновану на широкому застосуванні нових інформаційних і комунікаційних технологій. У деяких працях відзначається, що можливість докорінної перебудови ділових процесів і викликана розвитком і впровадженням інформаційних і комунікаційних технологій [253, 258]. В [247] також підкреслюється, що використання нових комп'ютерних та інформаційних технологій не є основою віртуального підприємства. Головним є саме єдина інформаційна система, під якою розуміється сукупність методів і засобів пошуку, збору, зберігання, обробки, аналізу і передачі внутрішньої і зовнішньої інформації, що вимагається для функціонування віртуального підприємства і прийняття спільних управлінських рішень.

З урахуванням цього можна зазначити, що віртуальне підприємство - це тимчасова коопераційна мережа учасників (організацій, окремих колективів і людей), що мають необхідні компетенції для найкращого виконання ринкового замовлення, та базується на єдиній інформаційній системі.

В [89, 238, 247] відзначають, що ключовими перевагами віртуальних форм організації є можливість вибирати і використовувати найкращі ресурси, знання і здібності з меншими тимчасовими витратами. Що дозволяє формулювати їх можливості та конкурентні переваги як швидкість виконання ринкового замовлення; зниження сукупних витрат; більш повне задоволення потреб замовника; гнучка адаптація до змін навколишнього середовища; зниження бар'єрів виходу на нові ринки.

При цьому основними характеристиками віртуальних форм організації вважають: відкриту розподілену структуру; гнучкість; пріоритет горизонтальних зв'язків; автономність і вузьку спеціалізацію членів мережі; високий статус інформаційних і кадрових засобів інтеграції.

Основними ж слабкими місцями віртуальних підприємств за [240, 259, 260] є:

- практична відсутність матеріальної та соціальної підтримки своїх членів внаслідок відмови від класичних довгострокових договірних форм і звичайних трудових відносин;

- перевага спеціалізації, концентрації на ключових компетенціях, що йде в розріз з іншими сучасними напрямками організації, які навпаки, виступають за багатопланову кваліфікацію загального профілю;

- надмірна залежність від кадрового складу, а тому схильністю до ризиків, пов'язаних з плінністю кадрів;

- небезпека надмірного ускладнення, що впливає, зокрема, з різномірності членів підприємства, неясності щодо членства в ній, відкритості мереж, динаміки самоорганізації, невизначеності в плануванні для членів віртуального підприємства.

Незважаючи на означені слабкі місця, віртуальні підприємства на сьогоднішній день є найбільш передовою і ефективною формою організації виробництв, що дозволяє швидко реагувати та адаптовуватись до умов високої складності, невизначеності та динамічності навколишнього соціально-економічного середовища.

5.2 Метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів

5.2.1 Визначення цілей та критеріїв формування віртуального виробництва з ремонту локомотивів

Локомотиворемонтні підприємства галузі працюють в умовах зменшення програми ремонту та постійного браку коштів. Для збільшення прибутковості та конкурентоспроможності ремонтні підприємства змушені розширювати номенклатуру ремонту типів рухомого складу за рахунок інших серій магістрального і промислового залізничного транспорту. При цьому ремонтні підприємства не завжди мають таку можливість, з огляду на високий рівень витрат на переналадження виробничого процесу, складну й інерційну структуру управління. Якісні зміни в такій ситуації можливі за рахунок кооперації підприємств, колективів та окремих людей задля вирішення поставлених завдань. Розвиток інформаційних та мережевих технологій викликав появу нових організаційно-виробничих форм – віртуальних підприємств, що характеризуються динамічною, гнучкою та адаптивною структурою. Для впровадження концепції віртуальних підприємств з ремонту локомотивів, крім вирішення правових та фінансових питань, потребує визначення процес пошуку можливих виконавців і ресурсів, що оптимально відповідають поставленим завданням.

Аналіз основних статей витрат під час ремонту локомотивів [261] показав, що 50 % від усіх витрат припадає на комплектуючі вироби й послуги підрядних організацій. На сировину і матеріали витрачається 11 %. Внутрішньовиробничі витрати становлять менше ніж 40 % від загальної калькуляції.

Це свідчить про те, що резерви скорочення витрат при ремонті локомотивів усередині підприємства практично вичерпані. Масштаб витрат на ремонт вузлів і виробництво комплектуючих на інших підприємствах доводить доцільність застосування віртуальних принципів організації ремонтних виробництв.

Вперше застосування віртуальних форм організації для локомотивного господарства було запропоновано в [146, 225]. Де пропонувалось удосконалити систему технічної експлуатації тягового рухомого складу за рахунок створення віртуальної системи управління технічною експлуатацією рухомого складу (ВСУТЕ), як нового, так і модернізованого та існуючого з урахуванням його стану, виду, ремонтного рівня депо та системи його ремонту в комплексі.

Запропонована ВСУТЕ полягала в тому, що удосконалення системи технічної експлуатації ТРС пропонувалось виконувати на основі системного підходу з врахуванням його конструкційних даних, системи обслуговування та ремонту, стану та можливостей ремонтних підприємств.

Послідовність реалізації запропонованої процедури розділялась на чотири етапи. На першому етапі виконувався аналіз конструкції ТРС та показників його надійності. На другому етапі проводилась оцінка технічного рівня локомотивних депо, що можуть, або експлуатують, обслуговують та ремонтують даний вид рухомого складу. Причому в якості критеріїв технічного рівня депо пропонувалось визначати: виробничу потужність; показники функціонування потокових ліній; показники рівня та ступеня механізації та автоматизації виробничих процесів та номенклатуру додаткових показників, які будуть характеризувати ремонтне підприємство. На третьому етапі визначались методи оцінки стану ТРС під час експлуатації та його підтримки. На четвертому етапі розроблялась безпосередньо ВСУТЕ, що включало етапи:

- аналіз підходів по розробці систем на базі віртуальних підприємств;

- визначення залежностей між параметрами конструкції ТРС, його надійністю, показниками експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, та показниками, що характеризують стан і технічні можливості ремонтних підприємств;

- розробка моделі ВСУТЕ (проекування процесів в системі, прив'язка їх до ресурсів та пошук ресурсів за контрактами);

- експлуатація створеної ВСУТЕ ТРС (моніторинг процесів, управління ВСУТЕ ТРС).

ВСУТЕ ТРС представляла собою мережеву комп'ютерну організаційну структуру, що складалась із неоднорідних компонентів, розташованих у різних місцях.

При цьому прикметник «віртуальне» інтерпретувався як «штучно утворене», або як «уявне, що не існує в реальному фізичному просторі», або як «розширене за рахунок спільних ресурсів».

Створення ВСУТЕ ТРС пропонувалось шляхом відбору необхідних організаційно-технологічних ресурсів з різних експлуатаційних, ремонтних локомотивних депо, наукових організацій, різних підприємств, зайнятих в ремонтному циклі та їх інтеграції з використанням комп'ютерної мережі [146].

Слід зауважити, що в запропонованому підході під час формування ремонтної складової ВСУТЕ враховувались тільки галузеві ремонтні виробництва (локомотивних депо), що значно звужує можливості віртуального підприємства. Визначення оптимального розміщення по базах ремонту проводилось на рівні одиниць рухомого складу (тепловозів), з урахуванням кількості стійл та часу очікування в черзі. На сьогодні зниження обсягів роботи, чисельності експлуатованого парку локомотивів та програми їх ремонту не призводить до появи черг локомотивів в очікуванні обслуговування чи ремонту. Нинішні реалії вимагають від підприємств можливості виконувати ремонт значно більшої номенклатури

рухомого складу різних років виготовлення, видів руху і навіть різних форм власності. Ремонт окремих вузлів та агрегатів локомотивів останнім часом може проводитися навіть невеликими спеціалізованими підприємствами різних форм власності [262, 263]. В таких умовах неабиякої актуальності набувають методи формування віртуальних підприємств із визначенням оптимальної структури для повузлового ремонту локомотивів за рядом певних критеріїв.

Для ефективного виконання робіт в рамках віртуального підприємства, згідно [243] необхідно розробити систему відбору і об'єднання партнерів, що вирішує дві взаємопов'язані і взаємодоповнюючі задачі:

1. Залучення нових учасників динамічної мережі, що володіють ключовими компетенціями для ефективного виконання окремих завдань, можливих ринкових замовлень і для функціонування довгострокового віртуального підприємства в цілому.

2. Оптимальний відбір і об'єднання виконавців і партнерів, що володіють ключовими компетенціями для виконання конкретного ринкового замовлення, відповідно до цілей і завдань проекту.

Другу задачу умовно можна розбити на наступні етапи:

1. Визначення необхідних ключових компетенцій і ресурсів, потрібних для виконання завдань і вимог проекту.

2. Пошук серед учасників динамічної мережі потенційних виконавців і партнерів, що володіють необхідними ключовими компетенціями та ресурсами для виконання ринкового замовлення.

3. Оцінка ключових компетенцій і ресурсів потенційних виконавців і партнерів з метою відбору партнерів, які найкращим чином можуть виконати певні завдання.

4. У разі відсутності в динамічній мережі відповідних ключових компетенцій і ресурсів проводиться пошук і оцінка потенційних виконавців і партнерів поза динамічної мережі.

5. Залучення потенційних виконавців і партнерів.

6. Оптимальний відбір виконавців і партнерів відповідно до цілей і завдань проекту, обмеженнями за часом, вартості, якості виконання і т.п.

7. Об'єднання виконавців і партнерів для виконання ринкового замовлення або проекту.

Одним з основних етапів ефективного управління віртуальним підприємством є відбір і об'єднання виконавців і партнерів, що володіють ключовими компетенціями для виконання конкретного замовлення, відповідно до цілей і завдань проекту

При відборі і розподілі партнерів віртуального підприємства необхідно керуватись зменшенням витрат і часу на виконання замовлення, покращенням якості робіт. Тому, за критерії оптимальності можна прийняти наступні характеристики виконання замовлення:

- вартість виконання замовлення;
- час виконання замовлення;
- відстань партнера (агента) від центру;
- якість виконання замовлення.

В кожній проблемі, що пов'язана з прийняттям рішень, важливо, щоб набір критеріїв, що використовуються був [264]:

- повним – охоплював всі важливі аспекти проблеми;
- дієвим – міг бути з користю застосований в аналізі;
- розкладуваним – для можливості спрощення процесу оцінки шляхом розкладання його на частини;
- не надмірним – не дублювати вплив різних аспектів наслідків;
- мінімальним – щоб розмірність проблеми залишалась мінімальною.

Для цього необхідно провести оцінку означених критеріїв. Вартість виконання замовлення є одним з основних критеріїв при виборі агентів. Визначається кожним підприємством-агентом та за необхідності може бути заявлена у вигляді бізнес-пропозиції. При нормуванні, вартість ремонту окремого вузла локомотива може бути виражена як відношення до вартості ремонту всього локомотива, чи будь-якого іншого значення, обумовленого центром (рисунок 5.1). Час виконання замовлення залежить від виробничих потужностей підприємства та оперативності поставок запасних частин і матеріалів. Визначається та декларується кожним підприємством-агентом. При нормуванні може бути виражений як відношення до часу, визначеного центром.

Значні відстані між підприємствами, що пов'язані в технологічному процесі можуть викликати затримки виконання робіт та збільшення їх вартості у зв'язку з логістичними процесами. Для невеликих обсягів ремонту, основні логістичні операції виконуються автомобільним транспортом. Переміщення вузлів локомотивів для ремонту на інше підприємство, як правило, здійснюється вантажними автомобілями вантажопідйомністю 1,5-8 т.

Розрахунок вартості перевезень показує її пряму залежність від відстані. В середньому, переміщення лінійного обладнання для ремонту виконується в межах 2-3 областей. Як видно, з рисунку 5.2, відстань між агентом і центром у 400 км відповідає витратам на логістику у межах 6-8 тис. грн. за один рейс (загальний пробіг 800 км), що у відношенні до вартості ремонту основних вузлів локомотивів складає 5-10%.

Поряд із впливом на вартість, переміщення ремонтних вузлів між підприємствами мережі пов'язано із витратами часу. В результаті розрахунків було визначено, що переміщення вузлів в межах 400 км вантажним автомобілем потребує до 3 діб додаткового часу. Тобто критерій «відстань партнера від центру» доцільно розкласти на дві

складових та враховувати їх вплив в критеріях вартості та терміну виконання замовлення.

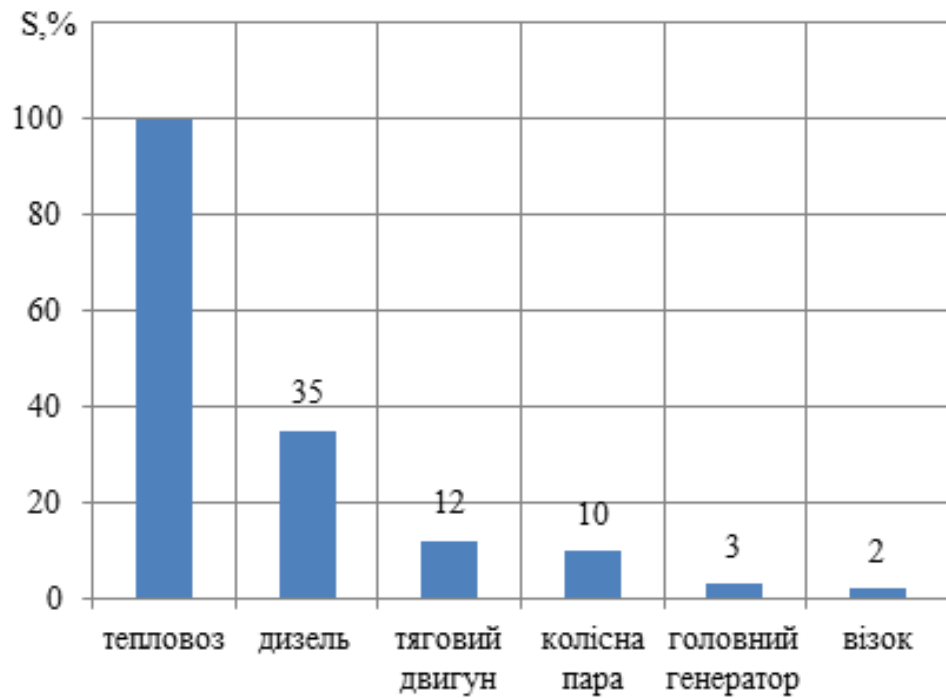


Рисунок 5.1 - Співвідношення вартості ремонту тепловоза та його основних вузлів в обсязі КР-1

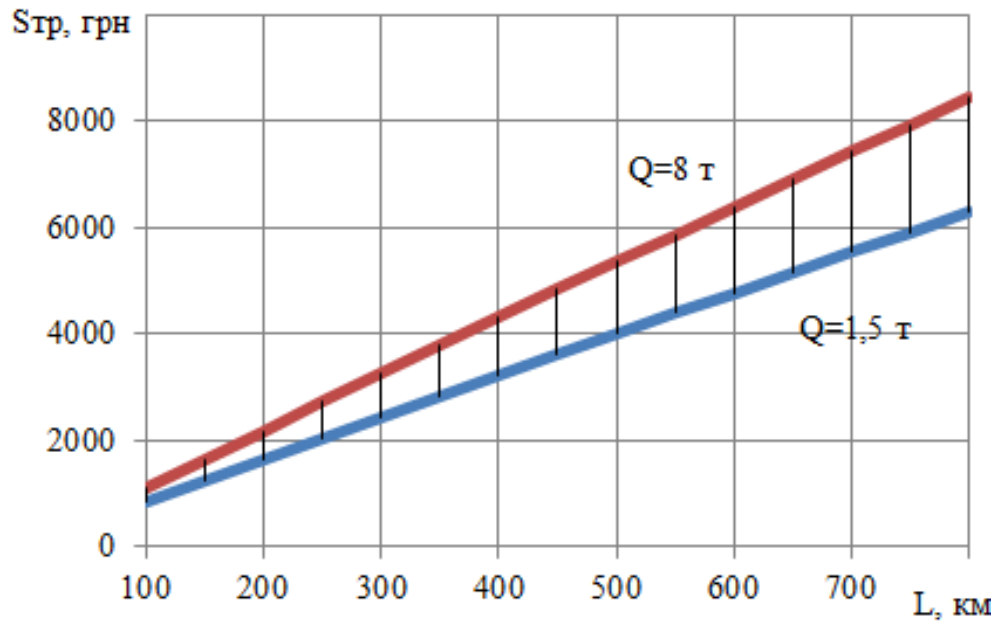


Рисунок 5.2 - Залежність вартості перевезень вузлів локомотивів від відстані автомобілями вантажопідйомністю 1,5 та 8 т.

Якість виконання замовлення підприємством - агентом залежить від цілого ряду факторів та не може бути однозначно формалізована [127]. Природно, що повна відповідність ремонтного виробництва певним вимогам буде обумовлювати необхідний рівень якості продукції. Найбільш простим шляхом в цьому напрямку є вимога до підприємства надавати підтверджуючий документ (атестат, сертифікат) про відповідність ремонтного виробництва.

При більш відповідальному підході необхідно проводити оцінку відповідності виробництва з визначенням відповідних коефіцієнтів [265].

З огляду на проведену оцінку цілей та критеріїв при формуванні віртуального підприємства з ремонту локомотивів, задача оптимізації буде мати вигляд

$$Z(x)=f(z_1, z_2, z_3), \quad (5.1)$$

де z_1 – критерій вартості ремонту;

z_2 – критерій тривалості ремонту;

z_3 – критерій технічного рівня ремонтного виробництва.

Задачі, такого типу необхідно розглядати в рамках методів багатокритеріальної або векторної оптимізації.

Отже під час формування віртуального підприємства з ремонту локомотивів в якості основних, визначено технічні та економічні критерії (вартість та термін ремонту, відповідність ремонтного виробництва). Відстань між підприємством агентом та центром доцільно не виділяти в окремий критерій, а враховувати її вплив як складову при оцінці вартості та тривалості ремонту. З урахуванням визначених критеріїв, задача формування віртуального підприємства має розглядатись як задача багатокритеріальної або векторної оптимізації.

5.2.2 Розробка методу формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів

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 властивості кожної її складової, а й низка принципово нових властивостей, системних якостей, породжених взаємодією цих частин [266].

Дослідження інтеграційних процесів складних систем [267, 268] нині 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 мають ключові компетенції для виконання конкретного замовлення відповідно до цілей і завдань проекту [263].

Для забезпечення позитивного синергетичного ефекту при формуванні віртуального підприємства з ремонту локомотивів необхідно уникати дублювання технологічних можливостей агентів. Якщо цю умову висловити через показник технічного рівня ремонтного виробництва, то вона матиме вигляд

$$K_{c1} + K_{c2} + \dots + K_{cn} \rightarrow 1 \quad (5.2)$$

де $K_{c1} \dots K_{cn}$ - показники технічного рівня виробництв агентів, що входять до складу віртуального ремонтного підприємства.

Підхід, в якому реалізується пошук підприємств - агентів з високим технічним рівнем (відповідно високим його показника) 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 може 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.

Показник технічного рівня ремонтного виробництва K_c є комплексним показником і його розрахунок проводиться за рядом компонентів ремонтного виробництва k_i : персонал, обладнання та інструмент, матеріали і запасні частини, виробниче середовище, документація, керівництво виробництвом. Виходячи з цього, в процесі вибору підприємств-агентів для віртуального підприємства з ремонту локомотивів обов'язковим є врахування технічного рівня підприємств за окремими компонентами (рисунок 5.3).

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.

Більшість існуючих методів багатокритеріального аналізу перетворюють вектор часткових критеріїв, за якими оцінюються альтернативи, в скалярний інтегральний критерій [269-271].

Однак застосування такого підходу не дозволяє враховувати якісні критерії, які оцінюють експерти. Оскільки визначення технічного рівня окремих ремонтних підрозділів виконується на основі експертної інформації та лінгвістичних оцінок. Проте застосування методу нечіткого

багатокритеріального аналізу варіантів, що дозволяє врахувати вказані особливості оцінок та не потребує кількісних оцінок часткових критеріїв і процедур скаляризації [212, 272-274].

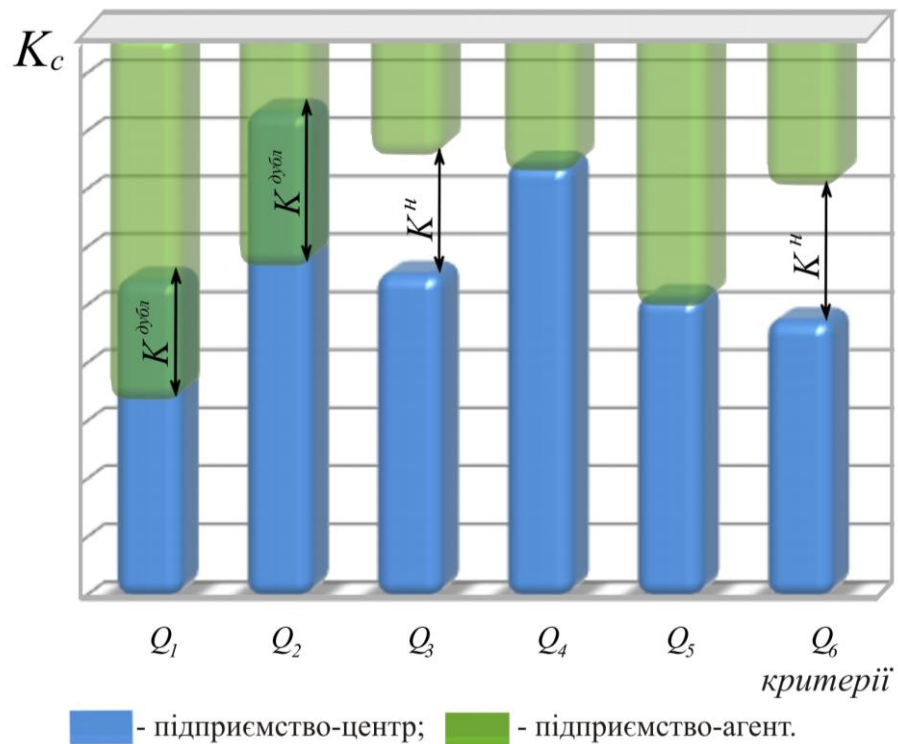


Рисунок 5.3 – Формування віртуального об'єднання підприємств з різними рівнями відповідності за окремими критеріями (компонентами)

Означений підхід базується на принципах:

- критерії розглядаються як нечіткі множини, що задані на універсальній множині альтернатив за допомогою функції належності;
- функції належності нечітких множин визначаються за експертними парними порівняннями альтернатив;
- коефіцієнти важливості критеріїв концентрують відповідні нечіткі множини;

- рішення приймається за схемою Беллмана-Заде [275] шляхом перетину нечітких множин критеріїв, що відповідає вибору варіанту, який краще за інші задовольняє одночасно всім критеріям.

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

$$\tilde{Q}_j = \left\{ \frac{\mu_{Q_j}(X_1)}{X_1}, \frac{\mu_{Q_j}(X_2)}{X_2}, \dots, \frac{\mu_{Q_j}(X_n)}{X_n} \right\}, \quad (5.3)$$

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

Визначення ступенів належності нечіткої множини (5.3) здійснювалось методом парних порівнянь [274, 276]. Для кожної пари підприємств експерт за критерієм \tilde{Q}_i , ($i = \overline{1, n}$) визначає перевагу одного варіанту перед іншим. Парні порівняння представлялись матрицею

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kk} \end{vmatrix}, \quad (5.4)$$

де a_{ij} – перевага підприємства X_i перед підприємством X_j ($i, j = \overline{1, k}$), що визначалась за дев'ятибальною шкалою Сааті [273].

Матриця парних порівнянь є діагональною ($a_{ij}=1$) та зворотно симетричною ($a_{ij}=1/a_{ji}$, $i, j = \overline{1, k}$). Ступенями належності нечіткої множини

(5.3) відповідають координати власного вектора $W=(w_1, w_2, \dots, w_k)^T$ матриці A : $\mu_{Q_j}(X_i) = w_j, j = \overline{1, k}$. Власний вектор матриці знаходять із системи рівнянь

$$\begin{cases} A \times W = \lambda_{\max} \times W \\ w_1 + w_2 + \dots + w_k = 1 \end{cases} \quad (5.5)$$

де λ_{\max} – найбільше власне значення матриці A .

За принципом Беллмана-Заде, найкращою буде альтернатива, що в найбільшому ступеню одночасно задовольняє всім критеріям. Нечітке рішення представляє собою перетин нечітких множин часткових критеріїв

$$\tilde{D} = \tilde{Q}_1^{\gamma_1} \cap \tilde{Q}_2^{\gamma_2} \cap \dots \cap \tilde{Q}_k^{\gamma_k} = \left\{ \frac{\min_{j=\overline{1, k}} (\mu_{Q_j}^{\gamma_j}(X_1))}{X_1}, \frac{\min_{j=\overline{1, k}} (\mu_{Q_j}^{\gamma_j}(X_2))}{X_2}, \dots, \frac{\min_{j=\overline{1, k}} (\mu_{Q_j}^{\gamma_j}(X_n))}{X_n} \right\}, \quad (5.6)$$

де γ_i – коефіцієнт відносної важливості критерію Q_j .

Показник ступеню γ_i концентрує функцію належності нечіткої множини \tilde{Q}_j у відповідності до важливості критерію Q_j .

У відповідності із нечітким рішенням (5.6) найкращою альтернативою буде підприємство із максимальним значенням функції належності

$$D = \operatorname{argmax}(\mu_{Q_1}(X_1), \mu_{Q_2}(X_2), \dots, \mu_{Q_k}(X_n)). \quad (5.7)$$

Для проведення обчислень моделювався випадок вибору підприємством-центром X_0 співвиконавця для проведення робіт з ремонту певного вузла локомотива. Замовник визначив чотири критерії, за якими необхідно було провести вибір. Нехай на той момент на ринку представлено чотири підприємства X_1 - X_4 , що мають технологічні

можливості виконання тах робіт. Визначення показника технічного рівня означених підприємств показало майже однакові результати таблиця 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення показника технічного рівня ремонтних підприємств-агентів

Критерії	X_1	X_2	X_3	X_4
1	2	3	4	5
Документація	0,41	0,3	0,34	0,26
Обладнання	0,24	0,37	0,32	0,41
Середовище	0,4	0,27	0,25	0,36
Персонал	0,3	0,33	0,38	0,24
Kc	0,3217	0,3237	0,3217	0,3291

З метою визначення важливості підприємств X_1 - X_4 для X_0 за критеріями Q_1 - Q_4 , проводилось їх експертна оцінка шляхом парних порівнянь (таблиця 5.2).

Після знаходження власного вектору матриць парних порівнянь, можна отримати нечіткі множини:

$$\tilde{Q}_1 = \left\{ \frac{0,06}{X_1}, \frac{0,26}{X_2}, \frac{0,12}{X_3}, \frac{0,56}{X_4} \right\}; \tilde{Q}_2 = \left\{ \frac{0,06}{X_1}, \frac{0,56}{X_2}, \frac{0,12}{X_3}, \frac{0,26}{X_4} \right\}; \quad (5.8)$$

$$\tilde{Q}_3 = \left\{ \frac{0,06}{X_1}, \frac{0,26}{X_2}, \frac{0,56}{X_3}, \frac{0,12}{X_4} \right\}; \tilde{Q}_4 = \left\{ \frac{0,12}{X_1}, \frac{0,26}{X_2}, \frac{0,56}{X_3}, \frac{0,06}{X_4} \right\}.$$

Аналіз отриманих нечітких множин (5.8) показує, що підприємства, яке б домінувало за всіма критеріями не існує. Отже рішення буде залежати від ступеню вагомості самих критеріїв Q_j , що розглядалися раніше як компоненти ремонтного виробництва.

Таблиця 5.2 – Парні порівняння підприємств-агентів за критеріями

 Q_1-Q_4

Q_j		Підприємства			
		X_1	X_2	X_3	X_4
Q_1	X_1	1	1/5	1/3	1/7
	X_2	5	1	3	1/3
	X_3	3	1/3	1	1/5
	X_4	7	3	5	1
Q_2	X_1	1	1/7	1/3	1/5
	X_2	7	1	5	3
	X_3	3	1/5	1	1/3
	X_4	5	1/3	3	1
Q_3	X_1	1	1/5	1/7	1/3
	X_2	5	1	1/3	3
	X_3	7	3	1	5
	X_4	3	1/3	1/5	1
Q_4	X_1	1	1/3	1/5	3
	X_2	3	1	1/3	5
	X_3	5	3	1	7
	X_4	1/3	1/5	1/7	1

З урахуванням важливості критеріїв за формулою (5.8) отримуємо такі нечіткі множини:

$$\tilde{Q}_1 = \left\{ \frac{0,06^{0,15}}{X_1}, \frac{0,26^{0,15}}{X_2}, \frac{0,12^{0,15}}{X_3}, \frac{0,56^{0,15}}{X_4} \right\} = \left\{ \frac{0,65}{X_1}, \frac{0,82}{X_2}, \frac{0,73}{X_3}, \frac{0,92}{X_4} \right\};$$

$$\tilde{Q}_2 = \left\{ \frac{0,06^{0,33}}{X_1}, \frac{0,56^{0,33}}{X_2}, \frac{0,12^{0,33}}{X_3}, \frac{0,26^{0,33}}{X_4} \right\} = \left\{ \frac{0,38}{X_1}, \frac{0,83}{X_2}, \frac{0,49}{X_3}, \frac{0,64}{X_4} \right\};$$

$$\tilde{Q}_3 = \left\{ \frac{0,06^{0,25}}{X_1}, \frac{0,26^{0,25}}{X_2}, \frac{0,56^{0,25}}{X_3}, \frac{0,12^{0,25}}{X_4} \right\} = \left\{ \frac{0,48}{X_1}, \frac{0,72}{X_2}, \frac{0,87}{X_3}, \frac{0,59}{X_4} \right\};$$

$$\tilde{Q}_4 = \left\{ \frac{0,12^{0,27}}{X_1}, \frac{0,26^{0,27}}{X_2}, \frac{0,56^{0,27}}{X_3}, \frac{0,06^{0,27}}{X_4} \right\} = \left\{ \frac{0,56}{X_1}, \frac{0,70}{X_2}, \frac{0,86}{X_3}, \frac{0,46}{X_4} \right\}$$

За рисунком 5.4 можливе візуальне порівняння підприємств X_1 - X_4 з урахуванням важливості критеріїв Q_1 - Q_4 .

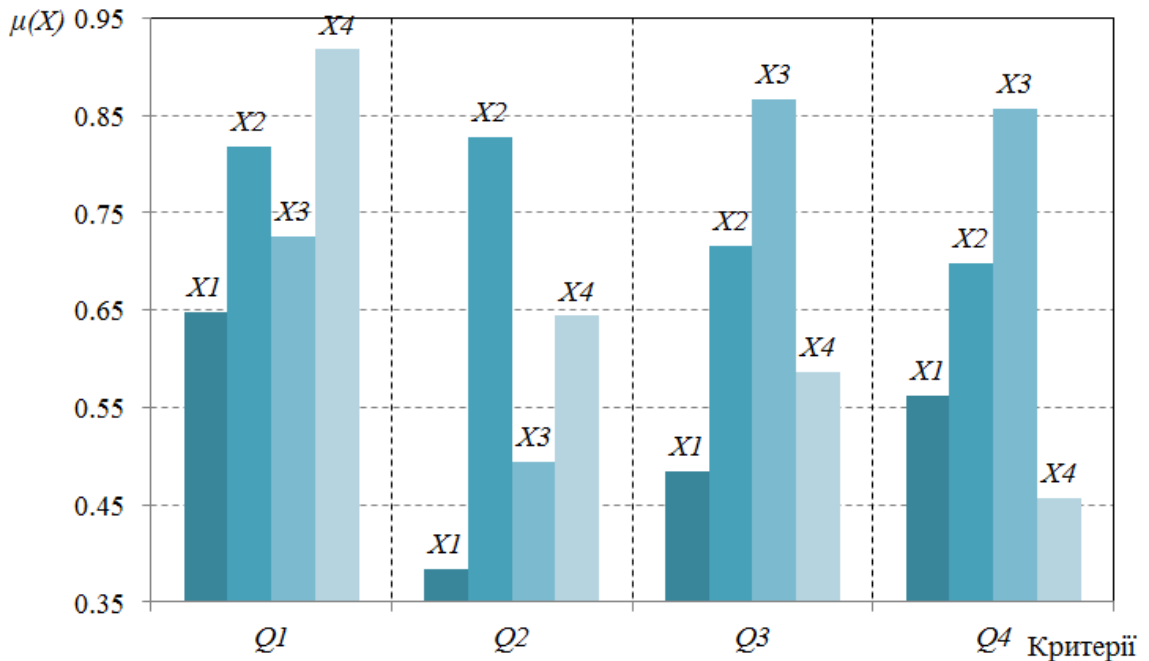


Рисунок 5.4 – Співвідношення нечітких множин критеріїв Q_1 - Q_4 для підприємств X_1 - X_4

В результаті перетину нечітких множин $\tilde{Q}_1 \cap \tilde{Q}_2 \cap \dots \cap \tilde{Q}_k$ була отримана нечітка множина

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0,38}{X_1}, \frac{0,70}{X_2}, \frac{0,49}{X_3}, \frac{0,46}{X_4} \right\},$$

що вказує на перевагу підприємства X_2 перед іншими. Тобто підприємство X_2 краще за інші одночасно задовольняє вимогам за всіма критеріями з урахуванням їх важливості.

5.3 Метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі інтелектуалізованої експертної системи

5.3.1 Аналіз ризиків під час оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва

Як показують попередні дослідження, оцінка технічного рівня локомотиворемонтного виробництва є ключовим джерелом інформації для визначення стратегії та технології ремонту вузлів локомотивів, формування організаційних структур ремонтних підприємств.

В локомотивному господарстві залізниць України з метою оцінки технічного рівня, проводиться процедура атестації локомотиворемонтних виробництв. Основним шляхом отримання інформації про ремонтне виробництво на різних етапах атестації є експертні обстеження, що по суті являються одним з видів технічного (технологічного) аудиту.

Основними інструментами аудиту є - опитування, перевірка документації та спостереження, що проводяться фахівцями-експертами. Саме ключова роль людини в процесі аудиту обумовлює наявність істотної суб'єктивної складової. До ризиків, які можуть вплинути на об'єктивність процесу аудиту та аналізу його результатів за даними робіт [278-281] можна віднести:

- залежність організатора аудиту чи окремих аудиторів (експертів) від об'єкта аудиту, яка не дозволяє отримати об'єктивні результати аудиту;

- суб'єктивність оцінки глибини аудиту. Пошук відповідності об'єкта аудиту встановленим критеріям вимагає від експерта (аудитора) охоплення всіх аспектів об'єкта аудиту в цілому а не глибокого занурення в деталі елементів. Фактор браку цілісності сприйняття може призводити до помилкових припущень, неточно відобразити існуючий стан об'єкта аудиту;

- суб'єктивність оцінки ймовірності. Експеру (аудитору) властива тенденція завищувати або занижувати ймовірність виникнення тієї чи іншої події, оскільки така оцінка заснована виключно на його особистому досвіді. Експерт (аудитор) вважає, що його обмежений досвід відображає глобальну ситуацію;

- суб'єктивність оцінки вибору. Особисті уподобання експерта (аудитора) напружують в ньому тенденцію обирати предмети, ґрунтуючись на обмеженому обсязі базових фактів. Експерт (аудитор) прагне ігнорувати ті факти, які не зовсім вписуються в очікувану їм схему. Експерт (аудитор) може зосередити свою увагу на важливих для нього фізичних характеристиках або очевидних фактах і ігнорувати ознаки, які могли б надати більш значиму для цілей аудиту інформацію;

- суб'єктивність, що обумовлена звичкою. В будь-якій конкретній ситуації експерт (аудитор) прагне обирати найбільш звичні рішення і схеми. Факти і процеси, які збігаються з його психічними образами (або упередженими думками), легше засвоюються. Він прагне діяти у відповідності зі схемами свого попереднього досвіду, навіть якщо вони не є оптимальними рішеннями в даній ситуації;

- суб'єктивність відповідності. Експерту (аудитору) властива тенденція відшукувати результати, які підтримують його гіпотезу, а не ту інформацію, яка суперечить їй. У міру підтвердження його гіпотези він не приділяє увагу фактам, які в повному обсязі відповідають тому, що вже «склалося» в гіпотезу;

- суб'єктивність, що обумовлена підпорядкуванням думки групи або «шаблонним мисленням»: варіантом суб'єктивності, зумовленої підпорядкуванням, є «шаблонне мислення». У багатьох спостерігається тенденція погоджуватися з рішеннями більшості, люди піддаються груповому тиску і приводять свою думку у відповідність з думкою групи.

Люди не хочуть порушувати гармонію групи шляхом відмови від загальноприйнятої психологічної моделі;

- суб'єктивність, що обумовлена самовпевненістю. Люди схильні переоцінювати свої можливості, своє знання ситуації та її наслідків. В результаті увага приділяється тільки інформації, яка підтверджує правильність їх вибору, а факти, що суперечать цьому ігноруються;

- суб'єктивність, що обумовлена особистістю аудитора. Аудитор схильний спиратися на свій досвід, свої знання, своє уявлення про ситуацію і її наслідки. В результаті увага приділяється тільки інформації, яка є значимою для аудитора;

- суб'єктивність, що обумовлена виконавчою дисципліною. Вся можлива об'єктивність програм, процедур, планів, графіків аудиту може бути зведена на нівець недостатньою виконавчою дисципліною аудиторів. Відсутність регулярного моніторингу та перевірок саме процесу проведення аудиту сприяє ослабленню виконавчої дисципліни;

- суб'єктивність, що обумовлена упередженим ставленням до учасників аудиту. Фактори упередженості між учасниками аудиту позначаються на раціональності використання часу, уваги та інших ресурсів і можуть приводити до помилкових припущень, неточно відображати існуючу ситуацію.

Міжнародні стандарти аудиту серії ISA (International Standards on Auditing) визначають аудиторський ризик, як ймовірність того, що звітність об'єкта аудиту може містити не виявлені суттєві помилки чи викривлення після підтвердження її достовірності або визнання, що вона містить суттєві викривлення, коли насправді такі відсутні [282, 283]. Аудиторський ризик являє собою похідну від ризиків суттєвого викривлення та ризику не виявлення.

Ризик суттєвого викривлення ідентифікується в ISA 200 як ризик того, що істотне викривлення було допущено у фінансовій звітності до початку

проведення аудиту, і включає дві компоненти: невід'ємний ризик та ризик засобів контролю.

Ризик невиявлення - полягає в тому, що в результаті виконання аудитором процедур з метою зниження аудиторського ризику до прийнятно низького рівня не буде виявлено існуюче спотворення, яке може бути суттєвим окремо або в сукупності з іншими спотвореннями.

Загальну модель аудиторського ризику (*AR*) представляють як дво- чи трифакторну [284, 285]:

$$AR = RMM \times DR, \quad (5.9)$$

$$AR = IR \times CR \times DR, \quad (5.10)$$

де *RMM* (*Risk of Material Misstatement*) - ризик істотного спотворення, що складається з добутку невід'ємного ризику (*IR - Inherent Risk*) і ризику засобів контролю (*CR - Control Risk*);

DR (*Detection Risk*) - ризик невиявлення.

Уникнення означених ризиків в ході експертного аудиту вимагає хорошої підготовки експертів, а значить і високої вартості таких робіт. Крім того, експертні твердження погано формалізуються та будується здебільшого на особистому досвіді і інтуїції. Підвищення ефективності та достовірності аудиторської діяльності можливе за рахунок застосування систем, заснованих на знаннях.

5.3.2 Розробка структури експертної системи оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва

Для зниження впливу людського фактору та звуження ряду можливих помилок, оцінку технічного рівня локомотиворемонтного виробництва необхідно проводити із застосуванням систем штучного інтелекту.

Окрема область штучного інтелекту - інженерія знань - займається розробкою експертних систем і баз даних та відноситься до аспектів, пов'язаних з побудовою, підтримкою і використанням систем, заснованих на знаннях. Вивчає методи і засоби вилучення, уявлення, структурування і використання знань до програмної реалізації компонентів системи [286, 287].

Експертна система (ЕС) - система штучного інтелекту, що містить знання про певну слабо структуровану і важко формалізовану вузьку предметну область та здатна пропонувати користувачеві розумні рішення і їх пояснення [288-290].

Пропонуєма ЕС оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва складається з основних компонентів: інтерфейсу користувача, вирішувача (інтерпретатора), робочої пам'яті, яку називають також базою даних, бази знань (онтології), модулів набуття знань та пояснень (рисунок 5.5).

Інтерфейс користувача - комплекс програм, що реалізують діалог користувача з ЕС як на стадії введення інформації, отримання результатів і «пояснення» рішення.

База даних (робоча пам'ять) призначена для зберігання початкових та проміжних фактів поставленого завдання. Як правило, розміщується в оперативній пам'яті ЕОМ і відображає поточний стан предметної області.

База знань - ядро ЕС, сукупність формалізованих знань предметної області, записана на машинний носій в формі, зрозумілою експерту і інженеру по знаннях. В роботі представлена у вигляді OWL-онтології.

Вирішувач (машина виведення, інтерпретатор) - програма, що моделює хід міркувань експерта на підставі формалізованих знань, наявних в БЗ і вихідних даних (факти), що отримуються від користувача.

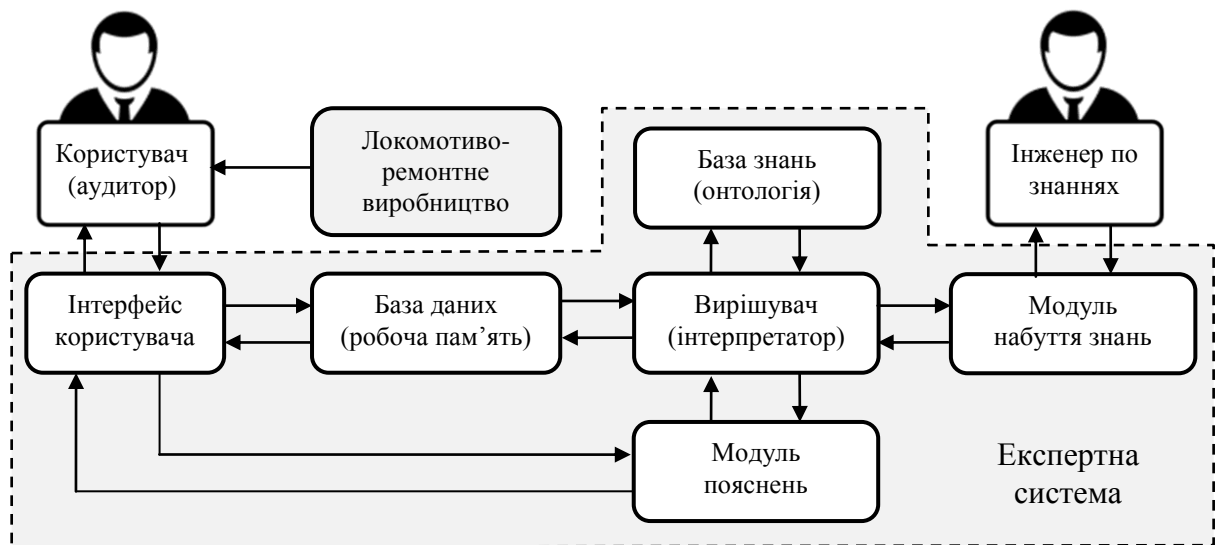


Рисунок 5.5 – Структура експертної системи оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва

Підсистема пояснень - програма, що протоколює роботу вирішувача у вигляді «ланцюжка логічних висновків». Вона дозволяє користувачеві отримати відповіді на питання; "Як була отримана та чи інша рекомендація?" і "Чому система прийняла таке рішення?"

Модуль набуття знань - програма, що представляє інженеру по знаннях можливість створювати і поповнювати базу знань в діалоговому режимі. Її поповнення здійснюється введенням формалізованих знань.. Включає в себе систему вкладених меню, шаблонів мови представлення

знань, підказок і інших сервісних засобів, що полегшують роботу з базою знань.

Експертна система може працювати в двох режимах: набуття знань та рішення задачі (режим консультації).

В режимі набуття знань з ЕС взаємодіє експерт (через інженера по знаннях). В цьому режимі експерт, використовуючи модуль набуття знань (редактор БЗ), наповнює систему знаннями, які дозволяють ЕС в режимі рішення самостійно (без експерта) вирішувати завдання з проблемної області. Експерт описує проблемну область у вигляді сукупності даних і правил. Дані визначають об'єкти, їх характеристики і значення, що існують в області оцінки. Правила визначають способи маніпулювання з даними, характерні для даної галузі.

В процесі набуття знань, на етапі тестування експерт використовує також модуль пояснень. Це дозволяє йому локалізувати причини невдалої роботи ЕС, цілеспрямовано модифікувати старі або вводити нові знання. Модуль пояснень надає відомості щодо використання інформації користувача, зроблені висновки та інше. Всі пояснення виконуються в символному чи графічному вигляді.

В режимі консультації спілкування з ЕС здійснює користувач, якого цікавить результат та спосіб його отримання. Слід відзначити, що для проведення робіт з оцінки технічного рівня ремонтних виробництв мають залучатись фахівці з профільною вищою освітою та досвідом роботи в галузі. Тобто експертна система не може замінити фахівця в області визначення невідповідностей виробництва. Її основна задача консультація щодо напрямків та обсягів обстеження і формалізація виявлених невідповідностей. В режимі консультації дані, що вводяться користувачем обробляються інтерфейсом, що виконує функції:

- перетворює дані користувача про завдання, представлені звичною для користувача мовою, на внутрішню мову системи;

- перетворює повідомлення системи, представлені внутрішньою мовою, в повідомлення мовою, звичною для користувача (обмежена природна мова або мова графіки).

Після обробки дані надходять до бази даних. На основі вхідних даних в бізі даних, загальних даних про проблемну область та моделей з бази знань вирішувач (інтерпретатор) формує рішення задачі. ЕС під час вирішення завдання не тільки виконує визначену послідовність операції, але і попередньо формує її. Якщо реакція системи не зрозуміла користувачу, то він може вимагати пояснення, яке буде надане модулем пояснень.

5.3.3 Розробка методу оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва

Оцінка технічного рівня локомотиворемонтного виробництва може проводитись за різними формами. Основними з них є зовнішня та внутрішня.

Зовнішня оцінка має здійснюватись незалежним технічним аудитором чи спеціалізованою організацією. В якості замовників можуть виступати власники, акціонери, інвестори та державні органи.

Внутрішня оцінка виконується в рамках системи внутрішнього контролю на підприємстві. Має здійснюватись з певною періодичністю (але не рідше одного разу на рік) групою висококваліфікованих спеціалістів (експертною групою), створеної наказом начальника підприємства. Внутрішня оцінка дозволяє керівництву ефективно формувати стратегію розвитку підприємства, правильно оцінювати використання активів, аналізувати ефективність фінансових вкладень і т.д.

Початок роботи експертної групи визначається вступною нарадою за участю керівного складу підприємства, на якій роз'яснюються мета й завдання процедури обстеження підприємства, обговорюється план обстеження, закріплюються відповідальні від підприємства по кожному об'єкту обстеження, встановлюються форми спілкування між членами експертної групи, керівництвом і фахівцями підрозділів.

Під час роботи експертної групи усі процедури, що пов'язані з оцінкою робочих параметрів, передбачених нормативною документацією, виконуються членами експертної групи у присутності відповідального виконавця відповідного підрозділу.

Оцінка проводиться по кожному ремонтному підрозділу, який передбачений організаційною структурою підприємства. Обстеженню підлягають: технологія ремонту, кваліфікація персоналу та наявність системи її підвищення, наявність та характеристики необхідного обладнання, метрологічне та інструментальне забезпечення, впровадження нових засобів контролю та діагностування, наявність раціоналізації та винахідництва тощо. Результати обстеження кожного підрозділу обговорюються експертною групою та після узгодження вводяться до ЕС оцінки технічного рівня. ЕС обчислює та надає експертній групі показники технічного рівня обстежених підрозділів. Експертна група аналізує надану інформацію, та у випадку згоди, надає дозвіл на внесення цієї інформації до бази знань. Таким же чином здійснюється обчислення та збереження значень загального показника технічного рівня всього виробництва.

Закінчення процедури оцінки технічного рівня визначається заключною нарадою, за участю керівного складу підприємства та представників експертної групи. На нараді експертна група звітує про виявлені невідповідності та наочно демонструє інформацію, надану модулем пояснень ЕС. Надаються загальні висновки та рекомендації експертної групи щодо технічного рівня ремонтного виробництва.

5.4 Дослідження економічних показників інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів

5.4.1 Визначення раціональної структури локомотиворемонтного виробництва за економічними критеріями

В умовах планової економіки, ремонтні підприємства державної власності мали типову виробничу структуру [291, 292]. Для тепловозоремонтного виробництва у обсязі капітальних ремонтів передбачалась виробнича структура із основними та допоміжними цехами. До основних цехів відносили ті, що виробляли продукцію: збиральні (тепловозозбиральний, дизельний, візковий, електромашинний, електроапаратний, колісний, цех гідропередач), заготівельні (ковальський, ливарний), оброблювальні (гальвано-термічний, механічний). Групу допоміжних складали цехи: інструментальний, нестандартного обладнання, ремонтно-механічний, енергосиловий, ремонтно-будівельний, транспортний [293].

Створення підприємства такого рівня із розгалуженою структурою в теперішній час неможливе з причин інвестиційної непривабливості. Тому під час організації ремонту локомотивів та їх окремих вузлів дедалі більше поширення набувають підприємства з гнучкою структурою [225, 262, 263]. Визначення майбутньої виробничої структури такого підприємства є одним із перших і найважливіших етапів, що здійснюється в рамках технологічної підготовки. Від правильності визначення виробничої структури залежить подальша ефективність та успішність підприємства. Найбільш вагомими критеріями під час організації нового виробництва, зокрема для інвесторів є ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок терміну окупності проекту залежить від рівномірності розподілення прибутків від інвестицій за роками. Якщо прибуток розподіляється за роками рівномірно, то термін окупності визначають за формулою [294]

$$T_{ок} = \frac{i}{p} \quad (5.11)$$

де i – інвестиційні витрати;

p – середньорічний чистий прибуток.

Якщо у якості інвестиційного проекту представляти організацію гнучкого (віртуального) тепловозремонтного виробництва, то термін окупності доцільно визначати за окремими ремонтними підрозділами. Причому до уваги необхідно брати ті підрозділи, що виробляють продукцію (тепловозобиральний – «ТЗ», дизельний – «Д», візковий – «В», електромашинний – «ЕМ», електроапаратний – «ЕА», колісний – «К», цех гідропередач – «ГП»)

$$T_{ок} = \frac{i_{ТЗ}}{p_{ТЗ}} + \frac{i_{Д}}{p_{Д}} + \frac{i_{В}}{p_{В}} + \frac{i_{ЕМ}}{p_{ЕМ}} + \frac{i_{ЕА}}{p_{ЕА}} + \frac{i_{К}}{p_{К}} + \frac{i_{ГП}}{p_{ГП}} \quad (5.12)$$

Інвестиційні витрати на організацію кожного ремонтного підрозділу можуть суттєво відрізнятись. Це залежить від ступеню прогресивності технології ремонту, необхідних документації, технологічного обладнання, вимірювального інструменту, виробничого персоналу та приміщень. Прибутки від ремонту різних вузлів рухомого складу теж мають суттєву різницю, їх значення можуть змінюватись навіть в залежності від регіону розташування підприємства. Найбільший вплив на формування прибутків від ремонту рухомого складу здійснюють чинники:

- кількість та ступінь зношеності парку локомотивів обраної серії (в регіоні та в країні);
- наявність існуючих підприємств такого типу (в регіоні та в країні);
- наявність доступного ринку запасних частин для локомотивів обраної серії;
- наявність та вмотивованість ремонтного персоналу в регіоні.

В таких умовах визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного виробництва може розглядатись як оптимізаційна задача, що має враховувати особливості регіону розташування і характеристики парку обраної серії рухомого складу.

Для її постановки необхідно прийняти множину ремонтних підрозділів n , дані щодо обсягів інвестицій для організації кожного ремонтного підрозділу i_j та значення середньорічних прибутків p_j від роботи кожного підрозділу. Для кожного конкретного випадку, загальні обсяги інвестицій обмежені певним значенням M . Необхідно визначити оптимальний склад ремонтних підрозділів виробничої структури, щоб загальні прибутки були максимальні за умови виконання обмежень на обсяг інвестицій. Поставлену задачу можна розглядати як задачу комбінаторної оптимізації [295, 296] та представити у вигляді

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n i_j \cdot x_j \leq M \\ x_j \in \{0; 1\}, \quad j = \overline{1, n}, \\ x_j - \text{цілі} \end{cases} \quad (5.13)$$

де у якості оптимізаційного критерію є функція

$$F(x) = \sum_{j=1}^n p_j \cdot x_j \rightarrow \max \quad (5.14)$$

Нехай $x_j = \{0;1\}$ - j -тий ремонтний підрозділ і якщо він буде входити до складу підприємства, то $x_j = 1$, інакше $x_j = 0$.

За вихідні дані приймалися розрахункові значення інвестицій для організації ремонтних підрозділів та прогнозовані значення прибутків для умов харківського регіону. З метою узгодження розмірності значень, дані щодо прибутку прийнято такими, що відповідають програмі ремонту 30 тепловозів на рік (рисунок 5.6).

Поставлена задача розв'язувалась методами динамічного програмування. Обсяги загальних інвестицій змінювались від максимальних 3,2 млн. у.о. до мінімальних 0,2 млн. у.о. з кроком 0,2 млн. у.о. Результати розрахунків наведені в матриці (таблиця 5.3).

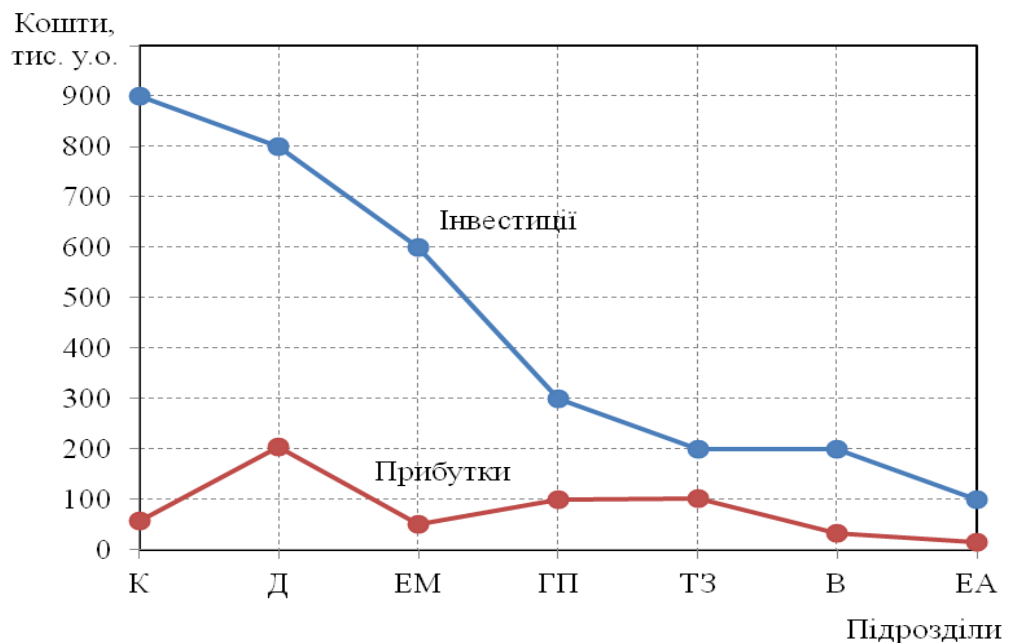


Рисунок 5.6 - Економічні показники окремих підрозділів тепловозоремонтного виробництва

Таблиця 5.3- Матриця вирішення задачі визначення раціональної структури нового виробництва з ремонту локомотивів

Обсяг інвестицій, млн. у.о.	Ремонтні підрозділи						
	ТЗ	Д	В	ЕМ	ЕА	К	ГП
3,2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	0	1	1
2,8	1	1	0	1	0	1	1
2,6	1	1	1	0	1	1	1
2,4	1	1	1	1	1	0	1
2,2	1	1	1	1	1	0	1
2	1	1	0	1	1	0	1
1,8	1	1	1	0	1	0	1
1,6	1	1	1	0	1	0	1
1,4	1	1	0	0	1	0	1
1,2	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
0,8	1	0	1	0	1	0	1
0,6	1	0	0	0	1	0	1
0,4	1	0	1	0	0	0	0
0,2	1	0	0	0	0	0	0

Аналіз результатів показує, що за різних обсягів інвестування виробнича структура підприємства може суттєво різнитись. Однак за будь-яких умов фінансування, тепловозобиральний виробничий підрозділ має обов'язково входити до структури виробництва.

Це пояснюється незначними витратами під час його організації та суттєвою прибутковістю роботи. На підтвердження цього можна

вказати, що сьогодні в Україні існує цілий ряд приватних підприємств, які здійснюють ремонти тепловозів здебільше промислового транспорту, маючи в активах лише тепловозобиральний цех. Ремонт основних вузлів і агрегатів в такому випадку проводиться підрядними організаціями.

Згідно розрахунків також можна виділити підрозділи з ремонту дизелів та гідропередач, що характеризуються високою прибутковістю роботи та мають високу частоту входження до виробничої структури.

Підрозділи з ремонту колісних пар та електричних машин під час організації потребують придбання дорогого обладнання, що спричинює великий обсяг фінансових витрат. Ці підрозділи характеризуються меншою частотою попадання до складу виробничої структури.

Якщо обчислити суми значень отриманої матриці по стовпцях, можна отримати гістограму, що покаже частоту входження кожного ремонтного підрозділу до складу виробництва за різних обсягів фінансування. Порівнявши отримані значення з кількістю існуючих ремонтних виробництв відповідної направленості в регіоні можна оцінити адекватність отриманих результатів (рисунки 5.7).

Розрахункові значення добре узгоджуються із фактичними. Обчислений коефіцієнт Фішера склав $F = 65,58$. Табличне значення критерію зі ступенями свободи $k_1 = 1$ та $k_2 = 5$, становить $F_{\text{табл}} = 6,61$. Відповідність числових значень рівнянню $F > F_{\text{табл}}$, доводить адекватність запропонованого підходу.

Під час організації нового локомотиворемонтного підприємства та визначення його майбутньої виробничої структури найбільш вагомими критеріями для інвесторів слід вважати ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного підприємства за критерієм максимізації загальних прибутків та обмежень на обсяг інвестицій запропоновано розглядати як

задачу комбінаторної оптимізації. Застосування методів динамічного програмування дозволило визначити індивідуальні варіанти виробничої структури для різних обсягів інвестування. За розрахунками, ключовими підрозділами з високою прибутковістю є: тепловозозбиральний, дизельний та цех гідропередач. «Найважчими» з точки зору інвестування є підрозділи з ремонту колісних пар та електричних машин.

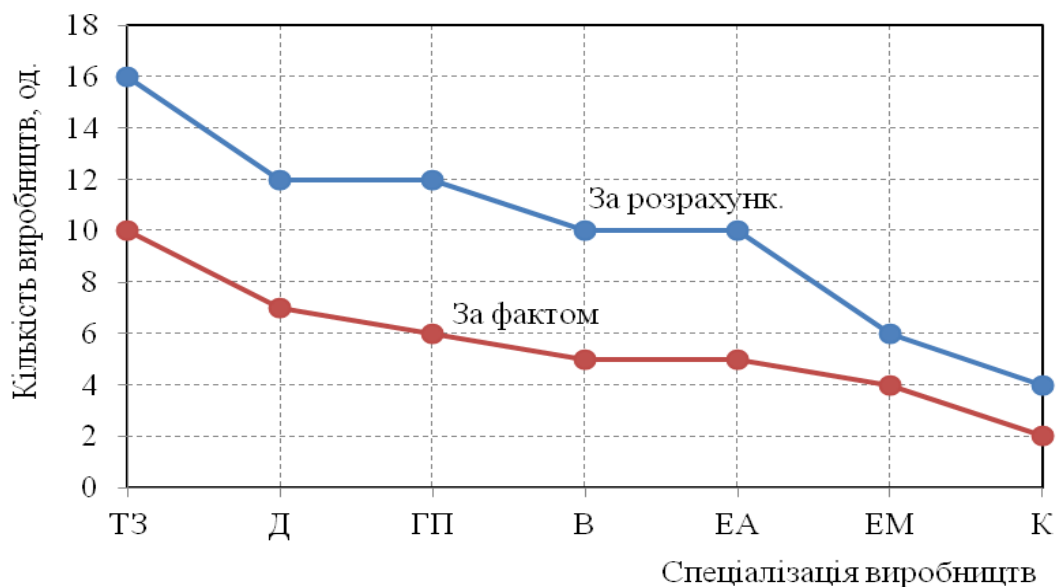


Рисунок 5.7 - Порівняння розрахованої та фактичної кількості ремонтних виробництв за спеціалізаціями

Порівняння частоти появи окремих підрозділів у розрахованих варіантах організаційної структури з їх кількістю у існуючих ремонтних підприємствах регіону показує високу узгодженість. Обчислений коефіцієнт Фішера склав $F = 65,58$, що у порівнянні з табличним значенням критерію зі ступенями свободи $k_1=1$ та $k_2=5$, $F_{\text{табл}} = 6,61$ дає відповідність рівнянню $F > F_{\text{табл}}$, та доводить адекватність отриманих результатів.

5.4.2 Оцінка ефективності впровадження інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів

За теорією економічної ефективності інвестиційних заходів [297], економічний ефект за розрахунковий період визначається як різниця вартісної оцінки результатів та витрат на здійснення заходів за лунковий/лунковий період.

Впровадження інтелектуалізованої системи ремонту на залізничному транспорті дуже складний і багатоетапний процес, що пов'язаний в першу чергу з низкою нормативно-організаційних заходів. Визначення витрат на їх здійснення також потребує окремих розрахунків. Однак на першому етапі оцінки ефективності цікавість представляють саме можливі результати впровадження запропонованих заходів.

Основним результатом впровадження інтелектуалізованої системи ремонту є покращення технічного стану локомотивів за рахунок:

- оптимізації обсягу регламентних робіт під час планових видів поточних ремонтів (в умовах браку коштів найбільша увага вузлам, відмови яких в експлуатації викликають тяжкі наслідки);
- розширення технологічних можливостей ремонтних підприємств, шляхом утворення віртуальних виробництв.

В результаті стає можливим економія коштів за рахунок зниження витрат на:

- проведення поточних ремонтів локомотивів;
- усунення наслідків відмов вузлів локомотивів в експлуатації (зниження кількості непланових ремонтів);
- ремонт лінійного обладнання на інших підприємствах.

Прямі витрати на відновлення працездатного стану вузлів і агрегатів складаються з витрат на матеріали і запасні частини, амортизації ремонтного обладнання, оплати праці працівників, відрахування до фондів

і оплати паливно-енергетичних ресурсів. Витрати на усунення дефекту в депо можна визначити як

$$B = C_m + A + C_n + C_e, \quad (5.15)$$

де C_m – витрати на матеріали, грн.;

A – витрати на амортизацію, грн.;

C_n – витрати на заробітну платню, грн.;

C_e – витрати на електроенергію, грн.

Кожна відмова, що виникла виключає використання локомотива на певний проміжок часу в експлуатаційній роботі, пов'язаній із транспортуванням поїздів. Основна робота локомотивного парку здійснюється головним ходом залізниці, тому в розрахунках доцільно враховувати саме такий, найбільш складний випадок [298]. Середній час подолання головного ходу залізниці

$$t_{cp} = \frac{S}{V_{cp}}, \quad (5.16)$$

де S – протяжність дільниці головного ходу залізниці, км;

V_{cp} - середня швидкість по головному ходу залізниці, км/год.

Показником ефективності роботи локомотивного парку є тонно-кілометрова робота. Однак для розрахунку необхідно враховувати середню вартість однієї тонни корисного вантажу, перевезеної локомотивами. Використання даних залізниці за звітний період дозволить визначити усереднений дохід від однієї тонни вантажу, що перевозиться

$$C_v = \frac{G_\Sigma}{W_\Sigma}, \quad (5.17)$$

де G_Σ - сумарний прибуток залізниці від перевезення вантажів по головному ходу за звітний період, грн.;

W_Σ - сумарна вага перевезених вантажів по головному ходу за звітний період, т.

На підставі усередненого доходу від однієї тонни вантажу, що перевозиться розрачується прогнозний дохід від перевезення поїзда одним локомотивом певної серії по основному напрямку

$$P_c = C_v \cdot m_{\text{норм}}, \quad (5.18)$$

де $m_{\text{норм}}$ - середня вага поїзда, що перевозиться одним локомотивом певної серії головним ходом залізниці, т.

Після визначення прогнозного доходу від перевезення поїзда одним локомотивом ділянкою головного ходу залізниці та враховуючи час подолання цієї ділянки знаходять ймовірний дохід від перевезення поїзда з вантажем по головному ходу залізниці за 1 годину

$$P_A = \frac{P}{t_{cp}}. \quad (5.19)$$

Визначений показник виступає в ролі неотриманих чи втрачених прибутків від непланового ремонту локомотива. Тоді витрати від 1 години простою локомотива в неплановому ремонті визначаються як

$$B = I + ((M_{\text{ПЕР}} + P_A) \cdot t_n), \quad (5.20)$$

де $M_{ПЕР}$ – експлуатаційні витрати на паливно-енергетичні ресурси в простої локомотива за одну годину, грн.;

t_n – загальний час простою локомотива в неплановому ремонті, год.

В розвернутому вигляді вираз (5.21) має вигляд

$$B = (C_m + A + C_n + C_e) + \left(\left(M_{ПЕР} + \frac{G_{\Sigma} \cdot S \cdot m_{норм}}{W_{\Sigma} \cdot V_{cp}} \right) t_n \right). \quad (5.21)$$

Зниження витрат на ремонт окремих вузлів локомотивів шляхом утворення віртуальних виробництв досягається завдяки синергетичному ефекту. По суті, це потенціал, який може бути реалізований при правильній організації і розподілі ресурсів [299]. Для запропонованого підходу організації ремонту N -ої кількості вузлів він може бути обчислений як

$$CE = (B^I - B^B) \cdot N, \quad (5.22)$$

де B^I , B^B – витрати на ремонт вузла локомотива на іншому підприємстві та у рамках віртуального виробництва відповідно, грн.

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 проведення ПР-3 локомотива складе 8%, для підприємств з технічним рівнем 0,9-0,95 – 9,25%. За значеннями планової собівартості ремонтів на 2021 рік для однієї секції тепловоза серії 2ТЕ116 це буде становити 334-397 тис. грн.

5.5 Висновки до розділу 5

1. В теперішній час для організації локомотиворемонтних виробництв віртуальні підприємства є найбільш передовою і ефективною формою, що дозволяє швидко реагувати та адаптуватись до умов високої складності, невизначеності та динамічності навколишнього соціально-економічного середовища.

2. Під час формування віртуального підприємства з ремонту локомотивів в якості основних визначено технічні та економічні критерії (вартість та тривалість ремонту, технічний рівень ремонтного виробництва). Відстань між підприємством агентом та центром доцільно не виділяти в окремий критерій, а враховувати її вплив як складову під час оцінки вартості та тривалості ремонту. З урахуванням визначених критеріїв, задача формування віртуального підприємства має розглядатись як задача багатокритеріальної або векторної оптимізації.

3. 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.

4. Оцінка технічного рівня локомотиворемонтних виробництв в теперішній час проводиться шляхом залучення експертів та полягає в опитуванні, перевірці документації та спостереженнях. Такий підхід пов'язаний з великою кількістю ризиків суб'єктивного характеру оцінки. Уникнення суб'єктивних ризиків в ході експертної оцінки вимагає суттєвої кваліфікації та досвіду експертів, а значить і високої вартості таких робіт. Крім того, експертні твердження погано формалізуються та будуються здебільшого на особистому досвіді і інтуїції. Підвищення ефективності та

достовірності аудиторської діяльності можливе за рахунок застосування систем, заснованих на знаннях.

5. Для зниження впливу людського фактору та уникнення ряду можливих помилок, оцінку технічного рівня локомотиворемонтного виробництва запропоновано проводити із застосуванням експертної системи що базується на технологіях штучного інтелекту та використовує в якості бази знань OWL-онтологію ремонтного виробництва. Розроблений метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва передбачає сумісну роботу експертної групи та експертної системи з обов'язковою перевіркою даних, що вносяться системою до бази знань.

6. Визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного підприємства за критерієм максимізації загальних прибутків та обмежень на обсяг інвестицій запропоновано розглядати як задачу комбінаторної оптимізації. Застосування методів динамічного програмування дозволило визначити індивідуальні варіанти виробничої структури для різних обсягів інвестування. За розрахунками, ключовими підрозділами з високою прибутковістю є: тепловозозбиральний, дизельний та цех гідропередач. «Найважчими» з точки зору інвестування є підрозділи з ремонту колісних пар та електричних машин.

7. 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 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 проведення ПР-3 локомотива складе 8%, для підприємств з технічним рівнем 0,9-0,95 – 9,25%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Березовый Н. И. Проблемы использования частных локомотивов для выполнения перевозок на магистральном железнодорожном транспорте. *Транспортные системы и технологии перевозок*. 2012. №. 3. С 40-46.
2. Річний інтегрований звіт АТ «Укрзалізниця» 2019. URL: http://sustainability.uz.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/Book_UZ_19_UA_FIN_web.pdf (дата звернення: 30.11.2020).
3. Статистичні дані про Українські залізниці. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html> (дата звернення: 10.01.2021).
4. Проект трансформації АТ "Українська залізниця". URL: <http://zbk.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/Проект-трансформації-УЗ-2020.pdf> (дата звернення: 16.01.2021).
5. Аналіз стану безпеки руху в структурі АТ «Укрзалізниця» за 2020 рік. Київ: АТ «Укрзалізниця», 2021. 10 с.
6. Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки: Постанова Кабінету Міністрів України від 1 серпня 2011 р. № 840. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF> (дата звернення: 10.04.2016).
7. Оприлюднено основні аспекти стратегії розвитку ПАТ "Укрзалізниця" на 2017—2021 роки. URL: <https://agrecs.ua/oprilyudneno-osnovni-aspekti-strategiyi-rozvitku-pat-ukrzalznitsya-na-2017-2021-roki> (дата звернення: 15.09.2018).
8. Макаров Л.Л. Серия Э. Паровоз и эпоха. Тула: Салон оператив. Полиграфии, 2019. 423 с.

9. Залит Н. Н., Вульф В. В. Справочник по ремонту паровозов. М.: Трансжелдориздат, 1943. 472 с.
10. Подшивалов, Б. Д. Ремонт мощных паровозов серий ФД и ИС. М.: Трансжелдориздат, 1942. 415 с.
11. Рахматулин М. Д. Технология ремонта тепловозов. М.: Транспорт, 1983. 319 с.
12. Слащев В. А. Локомотив: рождение и эволюция. Луганск: Ноулидж, 2011. 236 с.
13. Агрегатный метод и концентрация ремонта локомотивов. М.: Трансжелдориздат, 1958. 207 с.
14. Крюгер П.К. Система ремонта локомотивов при новых видах тяги. Оренбург: ДорНТО, 1958. 362 с.
15. Рахматулин М.Д. Методика определения сроков межремонтной работы тепловозов. *Тр. МИИТ*. 1960. Вып. 130. С. 147 - 169.
16. Фуфрянский Н.А. Эксплуатационная надежность тепловозов. М.: Транспорт, 1966. 208 с.
17. Малоземов Н.А., Шапошников В.А. Резервы тепловозной тяги. *Электрическая и тепловозная тяга*. 1967. № 2. С. 34-36.
18. Исаев И.П., Журавлев Г.Н, Седов В.И. Разработка оптимальной системы ремонта локомотивов. *Железнодорожный транспорт*. 1970. №10. С. 40-44.
19. Исаев И.П. Принципы организации системы бездефектных ремонтов локомотивов. *Повышение надежности локомотивов и система их ремонта*: Материалы сетевого научно-технического совещания. Омск. 1976. С. 115.
20. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надежность локомотивов. М.: Маршрут, 2003. 415 с.

21. Павлович Е.С., Серегин Д.А., Четвергов В.А. Определение оптимальных пробегов тепловозов между ремонтами. *Науч. тр. ОмИИТ*. 1968. т. 87. 102 с.
22. Галкин В.Г., Парамзин В.Н., Четвергов В.А. Надежность тягового подвижного состава. М.: Транспорт, 1981. 184 с.
23. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. М.: Транспорт, 1994. 208 с.
24. Горский А.В., Воробьев А.А. Сравнительный анализ использования ресурса бандажей колесных пар электровозов в разных условиях эксплуатации. *Локомотивы и локомотивное хозяйство*. 1996, Вып. 2. С 37-43.
25. Горский А.В., Воробьев А.А., Омарбеков А.К., Скребков А.В. Система ремонта локомотивов с учетом их фактического технического состояния. *Железнодорожный транспорт*. 2001. №9. С. 67-73
26. Осяев А.Т., Кондратенко А.Н. Система ремонта на базе диагностики. *Железнодорожный транспорт*. 1989. №1. С. 24-26.
27. Осяев А.Т., Исаев И.П., Горский А.В. Система ремонта локомотивов с четом их фактического состояния на основе технической диагностики. *Вестник ВНИИЖТ*. 1991. №6. С. 31.
28. Осяев А.Т. Комплексная система ремонта локомотивов. *Локомотив*. 1997. №11. С.4-5.
29. Бутько Т.В. Методика выбора оптимальных объемов и периодичностей проведения ТО-3 и ТР-1 с прогнозированием ресурса ответственных сборочных единиц магистральных тепловозов. *Межвуз. сб. научн. трудов*. Харьков. ХИИТ. Вып. 20. 1992. С. 13-20.
30. Бутько Т.В., Ефименко В.И. Пузырь В.Г. Имитационное моделирование процессов технического обслуживания локомотивов в депо. *Межвуз. сб. научн. трудов*. Харьков. ХИИТ. Вып. 8. 1989. С. 32-36.

31. Бутько Т.В. Совершенствование методов расчета параметров системы технического содержания локомотивов: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.22.07. Харьков, 1996. 47 с.
32. Стрекопытов В.В. Повышение надежности локомотивов и эффективности их работы. СПб.: ПГУПС, 2003. 110 с.
33. Стрекопытов В.В., Иванов В.Н. Теоретический анализ существующей системы ремонта. *Сборн ПГУПС*. 2003. 105 -109 с.
34. Давыдов, Ю.А. Принципы моделирования информационной системы локомотивного депо. Хабаровск: ДВГУПС, 2000. 163 с.
35. Давыдов Ю. А., Пляскин А. К., Маршалко Р. И. О проблемах обслуживания тягового подвижного состава в сервисных депо. *Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона*. 2019. №. 2. С. 6-10.
36. Чаплинский, С.И. Совершенствование системы технической эксплуатации локомотивов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.07. СПб. 2009. 156 с.
37. Грищенко А. В. Изменение системы технического обслуживания локомотивов. *Наука и образование транспорту*. 2017. №. 1. С. 25-27.
38. Bodnar, B. Ye., Ochkasov, A. B., Bobyr, D. V. Improving operation and maintenance of locomotives of ukrainian railway. *Technologijos ir Menas Technology and Art*. 2016. No. 7. p.109-114.
39. Bodnar B., Ochkasov O. System choice of the technical maintenance of locomotives equipped with on-board diagnostic systems. *Transport Means- Proceedings of the International Conference*. 2017. С. 43-47.
40. Bodnar B. E., Hryshechkina T. S., Bodnar E. B. Choosing the system of locomotive maintenance in view of the effect of dependent failures. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2018. №. 6. С. 47-58.

41. Капіца М. І. Розвиток наукових основ удосконалення систем утримування тягового рухомого складу. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. Дніпропетровськ, 2010. 359 с.

42. Капіца М. І. Організація раціональної системи утримування тепловозів серії ТГМ4 на прикладі ВАТ Металургійний комбінат Запоріжсталь. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2008. №. 21. С. 41-45.

43. Босов А. А., Капица М. И. Математическое моделирование в задачах рационального содержания транспортных средств. *Вісн. Східноукр. держ. ун-ту*. Луганськ. 2000. №. 7. С. 29.

44. Капіца М.І., Коренюк Р.О. Стратегії експлуатації, технічного обслуговування та ремонту локомотивів. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна*. 2012. Вип. 40. С.63-65.

45. Бабанін О. Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. Харків. 2001. 27 с.

46. Бабанін О. Б., Сиротенко А. О. До оцінки ефективності сервісного обслуговування магістральних тепловозів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи і технології*. 2018. №. 32 (1). С. 166-174.

47. Устенко О. В. Критерії технічної ефективності віртуальної системи технічної експлуатації тягового рухомого складу. *Зб. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ*. 2010. №23. С. 134-142.

48. Устенко О. В. Модель технічної експлуатації рухомого складу локомотивного депо. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2011. №1. С. 59-64.

49. Устенко О.В. Удосконалення системи технічної експлуатації рухомого складу залізниць України в період їх реформування. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. Луганськ. 2010. №4(147). С.90-95.

50. Устенко О.В. Удосконалення системи технічної експлуатації рухомого складу залізниць України в період їх реформування. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. Луганськ. 2010. №5 (147). С.46-50.

51. Крашенінін О.С. Розвиток наукових основ визначення системи утримання локомотивів при подовженні терміну експлуатації понад нормативний: дис. д-ра техн. наук: 05.22.07. УкрДАЗТ. Х., 2013. 380 с.

52. Крашенинин О. С., Гогаев В. А. Направления совершенствования системы содержания моторвагонного подвижного состава. Наука и прогресс транспорта. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2014. №. 4 (52). 119-126 с.

53. Крашенінін О. С., Пономаренко О. В., Яковлев С. С. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у післянормативний період. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. №. 167. С. 25-33.

54. Крашенінін О. С., Костюченко М. М., Соколенко С. І. Обґрунтування резервів ремонтного господарства при переході на утримання ШРС. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. №. 164.

55. Клименко, А. В., Фалендиш, А. П., Гатченко, В. О., Барибін, М. А. Автоматизована система визначення міжремонтних пробігів для модернізованих маневрових тепловозів ЧМЕЗ. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи і технології*. 2019. № 33 (1). С. 21-32.

56. Фалендиш А. П., Сумцов А. Л., Артеменко О. В. Програмний комплекс вибору системи технічної експлуатації маневрового тепловозу. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. №. 1. С. 54-61.
57. Фалендиш А. П. Моделювання зміни коефіцієнту технічного використання маневрового тепловозу для різних систем утримання. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. №. 1 (3). С. 24-31.
58. Eisenberger D., Fink O. Assessment of maintenance strategies for railway vehicles using Petri-nets. *Transportation Research Procedia*. 2017. Т. 27. P. 205-214.
59. Rokhforoz, P., Gjorgiev, B., Sansavini, G., Fink, O. Multi-agent maintenance scheduling based on the coordination between central operator and decentralized producers in an electricity market. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Т. 210. P. 107-119.
60. Erguido, A., Márquez, A. C., Castellano, E., Flores, J. L., Fernández, J. G.. Reliability-based advanced maintenance modelling to enhance rolling stock manufacturers' objectives. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Т. 144. P. 106-116.
61. Cheng Y. H., Tsao H. L. Rolling stock maintenance strategy selection, spares parts estimation, and replacements interval calculation. *International Journal of Production Economics*. 2010. Т. 128. №. 1. P. 404-412.
62. Liu, B., Lin, J., Zhang, L., Kumar, U. A dynamic prescriptive maintenance model considering system aging and degradation. *IEEE Access*. 2019. Т. 7. P. 931-943.
63. Lin J., Asplund M., Parida A. Bayesian parametric analysis for reliability study of locomotive wheels. *Proceedings annual reliability and maintainability symposium (RAMS) IEEE*. 2013. P. 1-6.

64. Супчинский Олег Павлович. Повышение эффективности управления техническим состоянием магистральных локомотивов: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.07. Омск. 2019. 173 с.

65. Теслик А. Г., Дацун Ю. М., Зіньківський А. М. Аналіз систем технічного обслуговування та ремонту рухомого складу залізниць країн Європи та Північної Америки. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 1. С. 57–60.

66. Осяев А. Т., Никифоров В. А. О системе обслуживания локомотивов за рубежом. *Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. 2012. №. 5. С. 56-62.

67. Георгіаді Н. Г., Вільгуцька Р. Б. Організаційна структура управління як складова системи менеджменту підприємства. *Вісник Національного університету Львівська політехніка*. 2012. №. 748. С. 33-40.

68. Кармінська-Белоброва М. В. Організаційні структури управління підприємством. *Бізнес Інформ*. 2012. №. 12. С. 192-195.

69. Ведомственные нормы технологического проектирования электровозных, тепловозных, моторвагонных депо, экипировочных устройств и пунктов технического обслуживания. М.: Транспорт, 1991. 47 с.

70. Сборник типовых проектов локомотивных депо железных дорог СССР. М.: Транспорт, 1979. 98 с.

71. 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.

72. Вебер М. Избранные произведения. М.: Прогресс, 1990. 808 с.

73. Глебова А. Аналіз структурних змін у системі управління підприємствами і організаціями залізничного транспорту України. *Економічний аналіз*. 2012. №. 10 (3). С. 249-253.
74. Demil B., Lecocq X. Neither market nor hierarchy nor network: The emergence of bazaar governance. *Organization studies*. 2006. №. 10. P. 1447-1466.
75. Fredrickson J. W. The strategic decision process and organizational structure. *Academy of management review*. 1986. Т. 11. №. 2. P. 280-297.
76. Fouraker L. E., Stopford J. M. Organizational structure and the multinational strategy. *Administrative Science Quarterly*. 1968. P. 47-64.
77. Steiger J. S., Hammou K. A., Galib M. H. An examination of the influence of organizational structure types and management levels on knowledge management practices in organizations. *International Journal of Business and Management*. 2014. Т. 9. №. 6. P. 43.
78. Бандурин, А. В., Чуб Б.А. Стратегический менеджмент организации М.: Москва, 2003. 232 с.
79. Damanpour F., Aravind D. Organizational structure and innovation revisited: From organic to ambidextrous structure. *Handbook of organizational creativity*. 2012. P. 483-513.
80. Gosselin M. The effect of strategy and organizational structure on the adoption and implementation of activity-based costing. *Accounting, organizations and society*. 1997. Т. 22. №. 2. P. 105-122.
81. Вишневецький В. П., Князєв С. І. Як підвищити готовність промисловості України до смарт-трансформацій. *Наука та інновації*. 2018. Т. 14. № 4. С. 55-69.
82. Kagermann H., Lukas W. D., Wahlster W. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten*. 2011. Т. 13. №. 1. P. 2-3.

83. Lasi H. Industry 4.0. *Business & information systems engineering*. 2014. Т. 6. №. 4. P. 239-242.
84. Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J. P. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*. 2016. Т. 9. №. 3. P. 811-833.
85. Quinn J. B. *Intelligent Enterprise: A Knowledge and Service Based Paradigm for Industry*. Simon and Schuster, 1992. 473 p.
86. Брюховецька Н. Ю., Чорна О. А. Інтелектуалізація як пріоритетний напрям розвитку промислових підприємств в умовах індустрії 4.0. *Економіка промисловості*. 2019. С. 28-57.
87. Брюховецька Н. Ю., Богуцька О. А. Інтелектуалізація підприємств: підходи, сутність, структура. *Економічний вісник Донбасу*. 2020. С. 92-100.
88. Ситник Й.С. Інтелектуалізація систем менеджменту промислових підприємств: дис. ... докт. техн.наук: 08.00.04. Львів. 2018. 615 с.
89. Мильнер Б. З. Теория организации. М.: ИНФРА-М,1998. 336 с.
90. Тарасов В.Б. Новые стратегии реорганизации и автоматизации предприятий: на пути к интеллектуальным предприятиям. *Новости искусственного интеллекта*. 1996. №4. С.40-84.
91. Тарасов В.Б. Предприятия XXI-го века: проблемы проектирования и управления. *Автоматизация проектирования*. 1998. №4 (10). С.4552.
92. Тарасов В.Б. Интеллектуальные предприятия и управление знаниями: на пути к синергетическому искусственному интеллекту. *Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды IV-й междунар. конф. (Самара, 17-23 июня 2002 г.)*. Самара: Самарский научный центр РАН, 2002. С. 166-176.

93. Авдошин С. М., Тарасов В. Б. Синергетические организации в экономике XXI-го века. *Известия АИИ им. АМ Прохорова. Бизнес-информатика*. 2006. Т. 17. С. 155-163.
94. Blanning R.W., King D.R. *Organizational Intelligence: AI in Organizational Design, Modeling and Control*. Washington. IEEE Computer Society Press, 1996. 237 p.
95. Варнеке Х.Ю. Революция в предпринимательской культуре. Фрактальное предприятие. М.: МАИК Наука, 1999. 280 с.
96. Мейтус В.Ю. Интеллектуализация систем управления предприятием. *Управляющие системы и машины*. 2016. №4. С.37-46
97. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРОЕС, 1995. 228 с.
98. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Intern. Journal of Man Machine Studies*. 1986. V. 1. P. 65–75.
99. Structure of Decision. The Cognitive Maps of Political Elites. Ed. by R. Axelrod. Princeton: Princeton University Press, 1976. 405 p.
100. Борисов В.В., Бычков И.А., Дементьев А.В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем. М.: Горячая линия, 2002. 154 с.
101. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. *Методы формирования сценариев развития социальноэкономических систем*. М.: СИНТЕГ, 2004. 296 с.
102. Авдеева З.К. Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями). *Управление большими системами*. 2007. Вып. 16. С. 2639.
103. Подвесовский А. Г., Исаев Р. А. Идентификация структуры и параметров нечетких когнитивных моделей: экспертные и статистические

методы. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7. №. 6. С 35-61

104. Colquhoun G. J., Baines R. W., Crossley R. A state of the art review of IDEFO. *International journal of computer integrated manufacturing*. 1993. Т. 6. №. 4. P. 252-264.

105. Feldmann C. The practical guide to business process reengineering using IDEFO. AddisonWesley, 2013. 240 p.

106. Булатович, М. Проектирование продукции на основе метода декомпозиции. *Методы менеджмента качества*. 2002. № 6. С. 29-31.

107. Дацун Ю. М., Клименко О. В., Палян С. Р. Застосування процесного підходу при створенні елементів системи управління якістю локомотиворемонтних підприємств „Укрзалізниці”. *Локомотивинформ*. 2007. №. 5. С. 22-24.

108. Boutalis Y., Kottas T. L., Christodoulou M. Adaptive estimation of fuzzy cognitive maps with proven stability and parameter convergence. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2009. Т. 17. №. 4. С. 874-889.

109. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. М.: Дело, 2004. 400 с.

110. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Применение множественного регрессионного анализа для параметрической идентификации нечетких когнитивных моделей. *Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2016)*: труды IV междунар. конф. Уфа: УГАТУ, 2016. Т. 2. С. 2833.

111. Isaev R.A., Podvesovskii A.G. Application of time series analysis for structural and parametric identification of fuzzy cognitive models. *CEUR Workshop Proceedings of the International Conference Information Technology and Nanotechnology: Session Data Science (DSITNT 2018)*. Vol. 2212. P. 119-125.

112. Саати, Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.

113. Коростелев, Д.А. Лагереv Д.Г., Подвесовский А.Г. Система поддержки принятия решений «ИГЛА». *Компьютерные учебные программы и инновации*. 2007. № 6. С. 23.

114. Podvesovskii A. G., Isaev R. A. Cognitive clarity criteria as a basis for constructing a visualization metaphor for fuzzy cognitive maps. *GraphiCon: 28th International Conference on Computer Graphics and Vision*, 2018. P. 158-162.

115. Робертс, Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986. 496 с.

116. Chang Y. H. J., Mosleh A. Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents: Part 1: Overview of the IDAC Model. *Reliability Engineering & System Safety*. 2007. Т. 92. №. 8. P. 997-1013.

117. Funge J., Tu X., Terzopoulos D. Cognitive modeling: Knowledge, reasoning and planning for intelligent characters. *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. 1999. P. 2938.

118. Подгорская С. В., Подвесовский А. Г., Исаев Р. А., Тарасов А.С., Бахматова Г. А. Моделирование сценарного развития сельских территорий на основе нечеткой когнитивной модели. *Пробл. управл.* 2019. Вып. 5. С. 49-59

119. Никоненко А.А. Обзор баз знаний онтологического типа. *Искусственный интеллект*. 2002. № 4. С. 157-163.

120. Палагин А.В., Крывый С.Л., Петренко Н.Г. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 324 с.

121. Nirenburg S., Raskin V. *Ontological Semantics*. Cambridge: MA., 2004. 420 p.

122. Uschold, M., King, M., Moralee, S., Zorgios, Y. The enterprise ontology. *The knowledge engineering review*. 1998. Т. 13. №. 1. P. 31-89.

123. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. *Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference*. 1991. P. 601-602

124. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*. 1993. Т. 5. №. 2. P. 199-220.

125. Gruber T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International journal of humancomputer studies*. 1995. Т. 43. №. 56. P. 907-928.

126. Horridge M. A practical guide to building OWL ontologies using the ProtégéOWL plugin and COODE tools edition 1.0. University of Manchester, 2004. 118 p.

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

128. Положення з атестації підприємств з обслуговування та ремонту тягового рухомого складу. ЦТ0162: затв. наказом Держ. адмін. залізн. трансп. України від 10.10.2007 р. Київ. Укрзалізниця. 2007. 244 с.

129. Макарова Е. С. Модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений в области ИТ-консультирования на основе

метода прецедентов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.10. Новосибирск. 2017. 180 с.

130. Трофимова Л.А., Трофимов В.В.. Управленческие решения (методы принятия и реализации): учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2011. 190 с.

131. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: Ч.2: Экспертные оценки. М.: Издво МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.

132. Морозова Л. Э., Бортник О. А., Кравчук И. С. Экспертные методы и технологии комплексной оценки экономического и инновационного потенциала предприятий. М.: МГУПС, 2009. 81 с.

133. Сидельников Ю. В. Системный анализ экспертного прогнозирования. М.: МАИ, 2007. 453 с.

134. Фетинина Е.П., Кораблина Т.В., Словьева Ю.А. Типологические аспекты многокритериального выбора вариантов. Новокузнецк: СибГИУ, 2003. 118 с.

135. Грибанова О. А. Оценка технического уровня промышленного производства. *Проблемы развития территории*. 2014. Т. 4. №. 4. С. 25-33.

136. Андрианов Ю. М. Субетто А. И. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1990. 216 с.

137. Гулин, К. А. Социально-экономическая модернизация России: региональный аспект. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2012. 330 с.

138. Соломкин, А. П. Эффективность использования ремонтно-обслуживающего потенциала РАПО. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1986. № 10. С. 22–23.

139. Арендаренко, В. Н. Влияние уровня развития ремонтно-обслуживающей базы на показатели машиноиспользования. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1984. № 8. С. 33–34.

140. Юдин М. И. Кузнецов М. Н., Кузовлев А. Т. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий. Краснодар: Совет. Кубань, 2007. 968 с.

141. Черноиванов В. И. Проблемы технического сервиса на современном этапе развития АПК. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1993. № 9. С. 3-6.

142. Храмцов, Н. В. Надежность отремонтированных автотракторных двигателей. М.: Росагропромиздат, 1989. 159 с.

143. Немцев, А. Е. Система технического сервиса в АПК. Новосибирск: СибИМЭ, 2002. 264 с.

144. Оловников, И. В., Бураев М. К. К методике комплексной оценки технологического уровня предприятий агротехнического сервиса. *Вестник ИрГСХА*. 2009. № 34. С. 96-107.

145. Рубайлов А.В. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. М.: Академия, 2007. 512 с.

146. Устенко О.В. Основи формування віртуальної системи управління технічною експлуатацією локомотивів: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. Харків. 2011. 303 с.

147. Шеремет, А. Д. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности. М.: ИНФРА-М, 2006. 415 с.

148. Варнаков В. В., Варнаков Д. В. Концепция системы сертификации услуг по техническому сервису в агропромышленном комплексе. М.: ГОСНИТИ, 2003. С. 3-12.

149. Контроль технологической дисциплины. Общие положения. Р50-609-48-88. Горький: ВНИИНМАШ, 1990. 44 с.

150. Johnson K. G., Khan M. K. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003. Т. 139. №. 1-3. P. 348-356.

151. Stamatis D. H. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. Quality Press, 2003. 686 p.

152. Дехтеринский Л. В. Ремонт автомобилей. М.: Транспорт, 1992. 295 с.

153. Азгальдов Г.Г., Азгальдова Л.А. Количественная оценка качества (Квалиметрия). Библиография.М.: Изд-во стандартов, 1971. 176 с.

154. 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.

155. Задворнов В. Аттестат – якості брат. *Магістраль*. 2003. №41. С.4

156. 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.

157. 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.

158. 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.

159. 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.

160. Arabian-Hoseynabadi H., Oraee H., Tavner P. J. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2010. Т. 32. №. 7. С. 817-824.

161. Огар, О. М., Розсоха, О. В., Шаповал, Г. В., Смачило, Ю. В. Розподіл транспортних подій на залізницях України за категоріями залежно від тяжкості наслідків. Наука та прогрес транспорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2018. №. 3. С. 7-19.

162. Вырков, С. А. Классификация железнодорожных транспортных происшествий по критерию материального ущерба. *Изв. Петербург. ун-та путей сообщения*. 2015. Вып. 1. С. 12–19.

163. Макарова И. Л. Анализ методов определения весовых коэффициентов в интегральном показателе общественного здоровья. *Символ науки*. 2015. №. 7-1. С. 87-94.

164. Commission Directive 2009/149/EC of 27 November 2009. Official Journal of the European Union. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:313:0065:0074:EN:PDF> (дата звернення: 22.08.2019).

165. Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the council of 24 April 2004. Official Journal of the European Union. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:220:0016:0039:EN:PDF> (дата звернення: 22.08.2019).

166. Морозова, Н. М. Организационные принципы выполнения работ по сезонному техническому обслуживанию и хранению зерноуборочных комбайнов. *Известия ТулГУ*. 2011. № 5 (3). С. 299–303.

167. Шемякин, А. В. Астахова Е. М., Бохуленков С. А. Детерминальная модель хранения сельскохозяйственной техники. *Сборник научных трудов молодых ученых Рязанской ГСХА*. 2005. С. 137–139.

168. Новиков, В. А. Гришин А. И. FMEA-анализ критичности процесса «Техническое обслуживание технологического оборудования». *Менеджмент*. 2012. № 6 (97). С. 37–41.

169. 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.

170. Галиев, И. Г., Новиков В. А., Гришин А. И. Определение весомости технологических операций и уровня расхода ресурса агрегатов и систем трактора. *Вестник Казанского ГАУ*. 2012. № 3 (25). С. 73–77.

171. Кеда, Д. П., Исаков С. Л. Системный подход в определении сложности технологических операций. *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2009. № 1-2. С. 71–76.

172. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. 248 с.

173. Серебровский, А. Н. Методические и вычислительные аспекты значимости риска компонентов сложных систем. *Математичні машини і системи*. 2012. № 2. С. 145–154.

174. Рябинин, И. А., Черкесов Г. Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. 264 с.

175. Henley, E. J., Kumamoto H. Reliability Engineering and Risk Assessment. NJ: PrenticeHall, 1981. 568 p.

176. O'Connor P. Newton D., Bromley R. Practical Reliability Engineering. John Wiley & Sons, 2002. 513 p.

177. Ishikawa, K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London: Prentice Hall, 1985. 240 p.

178. Branke J., Deb K., Miettinen K., Slowinski R. Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches. Berlin: Springer, 2008. 470 p.

179. Stadler, W. Multicriteria optimization in engineering and in the sciences. New York: Plenum Press, 1988. 405 p.

180. Дацун, Ю. М. Оцінка рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва. *Наука та прогрес транспорту: Вісн. Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп.* 2017. № 3(69). С. 23–31. doi: 10.15802/stp2017/103937.

181. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

182. Vodnar V.E., Ochkasov O.B., Vodnar E.B., Hryshechkina T.S., Ocheretnyuk M.V. Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепрпетровского национального университета железнодорожного транспорта.* 2018. №5 (77). С. 28-40.

183. Allen T. M. Us navy analysis of submarine maintenance data and the development of age and reliability profiles. Department of the Navy. SUBMEPP. 2001. 15 p.

184. Smith A. Reliability-Centered Maintenance. NY.: McGraw-Hill Inc., 1993. 201 p.

185. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. NASA, 2000. 348 p.

186. Derman C., Sacks J. Replacement of periodically inspected equipment. *Naval research logistics quarterly.* 1960. Vol. 7. №4. P. 597–607.

187. Герцбах И. Б. О профилактике по прогнозирующему параметру. *Известия АН СССР. Сер.: Техническая кибернетика.* 1967. №1. С. 56–64.

188. O'Brien, L. G. NCHRP Synthesis of Highway Practice 153: Evolution and Benefits of Preventive Maintenance Strategies. Washington, D.C.: TRB, National Research Council, 1989. 69 p.

189. Valdez-Flores C., Feldman R. M. A survey of preventive maintenance models for stochastically deteriorating single-unit systems. *Naval Research Logistics (NRL)*. 1989. Т. 36. №. 4. С. 419-446.

190. Кизим А. В. Модели и методы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом технического обслуживания, ремонта и модернизации промышленного оборудования: дис. докт. техн. наук: 05.13.01. Волгоград, 2020. 289 с.

191. Антоненко И. Н., Крюков И. Э. Эволюция практик и информационных систем управления ТОиР. *Автоматизация в промышленности*. 2011. №. 10. С. 27-30.

192. McDermott, Robin E.; Mikulak, Raymond J.; Beauregard Michael R. The Basics of FMEA. Productivity Press, 1996. 80 p.

193. Стасюк О. І., Гончарова Л. Л. Методи інтелектуалізації інноваційних комп'ютерних технологій бортових систем моніторингу локомотивів. *Електрифікація транспорту*. 2016. №. 11. С. 100-107

194. Ochkasov, O. Shvets O., Černiauskaitė L. Usage of Intelligent Technologies in Choosing the Strategy of Technical Maintenance of Locomotives. *Technologijos ir Menas, Technology and Art*. 2017. № 8. P. 68–71.

195. Боднар Є. Б. Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2014. № 1. С. 68-74.

196. Xue F., Yan W., Roddy N., Varma A. Operational Data Based Anomaly Detection for Locomotive Diagnostics. *MLMTA*. 2006. 236-241 p.

197. Костюков, В. Н., Костюков, А. В., Казарин, Д. В., Щелканов, А.В. Автоматизированная система управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования подвижного состава пригородного пассажирского комплекса (АСУ БЭР ТМ МВПС). *Динамика систем, механизмов и машин*. 2014. №. 4. С. 122-125.

198. Четвергов В. А., Овчаренко С. М., Бухтеев В. Ф. Техническая диагностика локомотивов. М.: УМЦОЖТ, 2014. 371 с.

199. Li Wenyuan. Risk Assessment of Power Systems: Models, Methods, and Applications .John Wiley & Son, 2014. 560 p.

200. Zhou Q., Thai V. V. Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment failure prediction. *Safety science*. 2016. Т. 83. P. 74-79.

201. Нурматова Е.В. Подход к решению задачи классификации технических состояний в нечеткой логической системе. *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2010. Вып. 1. С 170-174.

202. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Континент-Прим, 2003. 198 с.

203. Zimmermann H.J. Fuzzy Set Theory and its Applications. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers: 1996. 120 p.

204. Espinosa J. Vandewalle J, Wertz V. Fuzzy logic, identification and predictive control. London: Springer-Verlag, 2005. 263 p.

205. Ходашинский И. А. Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы. *Пробл. управл.* 2009. Вып. 4. С. 15–23.

206. Штовба С. Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB. *Математика в приложениях*. 2003. №. 2. С. 9-15.

207. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

208. Sergienko R. Competitive Cooperation for Strategy Adaptation in Coevolutionary Genetic Algorithm for Constrained Optimization. *IEEE World Congress on Computation Intelligence*. Barcelona. 2010. P. 1626-1631.

209. Nounou H.N. Hazem N. Multiscale fuzzy Kalman filtering. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2006. No. 19. P. 439-450.

210. Simon D. Sum normal optimization of fuzzy membership functions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. 2002. V.10, Issue 4. P.363–384.

211. Wang L. X., Mendel J. M. Fuzzy basis functions, universal approximation, and orthogonal least-squares learning. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 1992. Vol. 3. P. 807–814.

212. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. 320 с.

213. Drezo J. Petrowski A., Siarry P., Taillard E. Metaheuristics for hard optimization. Methods and case studies. Berlin: Springer, 2006. 369 p.

214. Nunnari G. Modelling air pollution time-series by using wavelet functions and genetic algorithms. *Soft Computing*. 2004. № 8. P. 173-178.

215. Wu B. Yu X. Fuzzy Modelling and Identification with Genetic Algorithm Based Learning. *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. №. 113. P. 352-365.

216. Iqbal A., He N., Li L., Ullah N. Simulated Annealing Assisted Optimization of Fuzzy Rules for Maximizing Tool Life in High-Speed Milling Process. *Artificial Intelligence and Applications*. 2006. P. 335-340.

217. Штовба С. Д., Мазуренко В. В., Тылец Р. О. Информационная технология нечеткой идентификации для синтеза точных, компактных и интерпретабельных баз знаний. *Computer Sciences and Telecommunications*. 2016. №. 1. С. 8-22.

218. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия - Телеком, 2006. 452 с.

219. Лавыгина А. В. Алгоритмы и программные средства идентификации нечетких моделей на основе гибридных методов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. Томск. 2010.179 с.

220. Rajasekaran S., Vijayalakshmi P. Neural networks, fuzzy systems and evolutionary algorithms: synthesis and applications. PHI Learning Pvt Ltd, 2017. 576 p.

221. Ishibuchi H. Nakashima T., Murata T. Comparison of the Michigan and Pittsburgh Approaches to the Design of Fuzzy Classification Systems. *Electronic and Communications in Japan*. 1997. №12 P. 379-387.

222. Штовба С. Д., Штовба Е. В., Панкевич О. Д. Критерии точности и компактности для оценки качества нечетких баз знаний в задачах идентификации. *Научные труды Винницкого национального технического университета*. 2012. №. 4. С. 7-17.

223. Kudryashov E., Stetsurin A. More efficient repair of machine parts by a group method. *Russ. Engin. Res.* 2008. Vol. 28. Iss. 9. P. 924-925.

224. Kheder M, Trigui M., Aifaoui N. Optimization of disassembly sequence planning for preventive maintenance. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 90. Iss. 5–8. P. 1337–1349.

225. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways, Rail Transport - Systems Approach. Cham: Springer, 2017. P. 217-239.

226. Rosmaini A. Shahrul K. An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*. 2012. Vol.63. Iss. 1. P. 135-149.

227. Liu B., Wu S., Xie M., Kuo W. A condition-based maintenance policy for degrading systems with age- and state-dependent operating cost. *European Journal of Operational Research*. 2017. Vol. 263. Iss. 3. P. 879-887.

228. Heng A., Zhang S., Tan A., Mathew J. Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2009. Vol. 23. Iss. 3. P. 724-739.

229. Rao R. Decision Making in the Manufacturing Environment: Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. London: Springer-Verlag, 2007. P. 374.

230. Love J. Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice. London: Springer-Verlag, 2007. 1093 p.

231. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское Радио, 1972. 552 с.

232. Goodwin P., Wright G. Decision Analysis for Management Judgment. New York: John Wiley and Sons, 2014. 496 p.

233. 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.

234. 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.

235. Федотов Г.Б. Левин Г.И. Топливные системы тепловозных дизелей. Ремонт, испытания, совершенствование. М.: Транспорт, 1983. 192 с.

236. 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.

237. Shafritz J. M., Ott J. S., Jang Y. S. Classics of organization theory. Cengage Learning, 2015. 496 p.
238. Jensen M. C. Organization theory and methodology. *Accounting review*. 1983. P. 319-339.
239. Ружанская Л. С., Яшин А. А., Солдатова Ю. В. Теория организации: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 200 с.
240. Иванова Т. Ю., Приходько В. И. Теория организации. М.: КНОРУС, 2006. 273 с.
241. Тимашова Л.А., Рамазанов С.К., Бондар Л.А., Лещенко В.А. Організація віртуальних підприємств. Монографія. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. 368 с.
242. Baker N. The borderless enterprise: the risks associated with today's organizational technologies extend far beyond traditional boundaries. *Internal Auditor*. 2011. Т. 68. №. 4. P. 28-33.
243. Da Rocha, A., Simões, V. C., de Mello, R. C., Carneiro, J. From global start-ups to the borderless firm: Why and how to build a worldwide value system. *Journal of International Entrepreneurship*. 2017. Т. 15. №. 2. P. 121-144.
244. Райсс М. Границы «безграничных» предприятий: перспективы сетевых организаций. *Проблемы теории и практики управления*. 1997. №1. С. 92–97.
245. Патюрель Р. Создание сетевых организационных структур. *Проблемы теории и практики управления*. 1997. №3. С. 76-81
246. Rese A., Baier D. Success factors for innovation management in networks of small and medium enterprises. *R&D Management*. 2011. Т. 41. №. 2. P. 138-155.
247. Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.

248. Januska M., Chodur M. Virtual enterprise network. *32nd International Spring Seminar on Electronics Technology IEEE*. 2009. P. 1-5.

249. Camarinha-Matos L. M., Afsarmanesh H. A comprehensive modeling framework for collaborative networked organizations. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2007. Т. 18. №. 5. P. 529-542.

250. Handy, C. A Glimpse of the Invisible Organization. *Director*. 1994. Т. 48. № 3. P. 101.

251. Зибер П. Управлению сетью как ключевая компетенция предприятия. *Проблемы теории и практики управления*. 2000. №3. С. 92-96.

252. Вютрих Х.А., Филипп А.Ф. Виртуализация как возможный путь развития управления. *Проблемы теории и практики управления*. 1999. №5. С. 45-49.

253. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

254. Дмитриев В.И. CALS, как основа проектирования виртуальных предприятий. *Автоматизация проектирования*. 1997. №5. С. 14–17.

255. Иванов Д.А. Виртуальные предприятия и логистические цепи: комплексный подход к организации и оперативному управлению в новых формах производственной кооперации. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2003. 86 с.

256. Draman, M., Altinel, I. K., Bajgoric, N., Unal, A. T., Birgoren, B. An Object-Oriented Optimization-based Software for Agile Manufacturing in Process Industries. *Agile Manufacturing: The 21st Century Competitive Strategy*. Elsevier, 2001. 820 p.

257. Уорнер М., Витцель М. Виртуальные организации. Новые формы ведения бизнеса в XXI веке. М.: Добрая книга, 2005. 295 с.

258. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии. М.: Финансы и статистика, 1997. 336 с.

259. Corvello V., Migliarese P. Virtual forms for the organization of production: A comparative analysis. *International Journal of Production Economics*. 2007. Т. 110. №. 1-2. P. 5-15.

260. Do V. T., Halatchev M., Neumann D. A context-based approach to support virtual enterprises. *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences IEEE*. 2000. Vol. 1. P. 6005.

261. 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.

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

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

264. Keeney R.L., Raiffa H. *Decisions with multiple objectives—preferences and value tradeoffs*. New York: Cambridge University Press, 1993. 569 p. doi:10.1002/bs.3830390206.

265. 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.

266. Haken, H. *Synergetics: Introduction and Advanced Topics*. Springer, 2012. 768 p.

267. Malakooti, B. *Operations and Production Systems with Multiple Objectives*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 1114 p.

268. Puranam, P. Vanneste, B. *Corporate Strategy: Tools for Analysis and Decision-Making*. Cambridge University Press, 2016. 322 p.

269. Demirel T., Demirel N. Ç., Kahraman C. Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral. *Expert Systems with Applications*. 2010. T. 37. №. 5. P. 3943-3952.

270. Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*. 2015. T. 98. P. 66-83.

271. Agarwal P., Sahai M., Mishra V., Bag M., Singh, V. A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International journal of industrial engineering computations*. 2011. T. 2. №. 4. P. 801-810.

272. Yager R. R. Fuzzy decision making including unequal objectives. *Fuzzy Sets and Systems*. 1978. №1. P. 87–95.

273. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2001. №3. С. 150–154.

274. Ротштейн А. П., Штовба С. Д., Штовба Е. В. Многокритериальный выбор бренд-проекта с помощью нечетких парных сравнений альтернатив. *Управление проектами и программами*. 2006. Т. 2. С. 138-146.

275. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172–215.

276. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.

277. Саати Т. Л. Взаимодействие в иерархических системах. *Техническая кибернетика*. 1979. №1. С. 68–84.

278. Francis J. R. Auditing, hermeneutics, and subjectivity. *Accounting, Organizations and Society*. 1994. Т. 19. №. 3. P. 235-269.

279. Guénin-Paracini H., Malsch B., Paillé A. M. Fear and risk in the audit process. *Accounting, Organizations and Society*. 2014. Т. 39. №. 4. P. 264-288.

280. Knechel W. R. The business risk audit: Origins, obstacles and opportunities. *Accounting, Organizations and Society*. 2007. Т. 32. №. 4-5. P. 383-408.

281. Гордиенко Н. И., Малеева С. А. Факторы, методы и модели оценки риска в аудите. *Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов*. 2004. №. 56. С. 164-168.

282. Bierstaker, J., Abbott, L., Caster, P., Parker, S., Reckers, P. Comments by the Auditing Standards Committee of the Auditing Section of the American Accounting Association on the Proposed International Standards on Auditing Revisions to ISA 315 and ISA 610. *Current Issues in Auditing*. 2011. Т. 5. №. 1. P. 8-10.

283. Krommes W. Kommentar International Standards on Auditing: The Risks of Material Misstatement-Das Aufklärungsmodell des ISA 315. Springer-Verlag, 2018. 843 p.

284. Houston R. W., Peters M. F., Pratt J. H. The audit risk model, business risk and audit-planning decisions. *The Accounting Review*. 1999. Т. 74. №. 3. P. 281-298.

285. Eilifsen A., Knechel W. R., Wallage P. Application of the business risk audit model: A field study. *Accounting Horizons*. 2001. Т. 15. №. 3. P. 193-207.

286. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Лань, 2016. 324 с.

287. Абдикеев Н.М., Киселев А.Д. Управление знаниями корпорации и реинжиниринг бизнеса. М.: Инфра-М, 2010. 382 с.
288. Waterman D. A guide to expert systems. Addison-Wesley, 1986. 419 p.
289. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М.: Вильямс, 2006. 1152 с.
290. Джексон П. Введение в экспертные системы. М.: Вильямс, 2001. 624 с.
291. Ведомственные нормы технологического проектирования электровозных, тепловозных, моторвагонных депо, экипировочных устройств и пунктов технического обслуживания. М.: Транспорт, 1991. 47 с.
292. Сборник типовых проектов локомотивных депо железных дорог СССР. М.: Транспорт, 1979. 98 с.
293. Малоземов Н.А., Иунихин А.И., Каплунов М.П. Тепловозоремонтные предприятия. Организация, планирование и управление. М.: Транспорт, 1979. 264 с.
294. Schwarzbichler M., Steiner C., Turnheim D. Financial Steering: Valuation, KPI Management and the Interaction with IFRS. Cham: Springer, 2018. 480 p.
295. Korte B, Vygen J. Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. Berlin: Springer Science & Business Media, 2007. 627 p.
296. Zgurovsky M., Pavlov A. Combinatorial Optimization Problems in Planning and Decision Making: Theory and Applications. Cham: Springer, 2018. 518 p.
297. Довбня С. Б., Ковель К.А. Новый підхід до оцінки економічної ефективності інвестиційних проектів. *Фінанси України*. 2007. № 7. С. 62-71.

298. Пидченко С. С. Шепелин П.В. Модель расчета затрат на один час простоя электровоза по причине захода на ремонт в межремонтный пробег. *Наука и образование транспорту*. 2019. №. 1. С. 80-82.

299. Козенкова Т. А. Методические подходы к оценке синергетического эффекта финансово-экономической интеграции. *Стратегии бизнеса*. 2014. №. 1 (3). 51-62 с.

Додаток Б

Результати експертної оцінки вагових коефіцієнтів факторів
 локомотиворемонтного виробництва

Фактори	Персонал	Матеріали і запасні частини	Обладнання та інструмент	Виробниче середовище	Управління	Документація	Персонал	Матеріали і запасні частини	Обладнання та інструмент	Виробниче середовище	Управління	Документація
1	1	3	3	5	6	8	1	1	3	5	6	8
2	1/3	1	3	3	5	6	1	1	1	3	5	6
3	1/3	1/3	1	2	3	5	1/3	1	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2
6	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1
1	1	2	3	5	6	8	1	2	3	5	6	7
2	1/2	1	2	3	5	6	1/2	1	2	3	5	6
3	1/3	1/2	1	2	3	5	1/3	1/2	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2
6	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1	1/7	1/6	1/3	1/2	1/2	1
1	1	3	3	5	6	8	1	1	3	5	6	8
2	1/3	1	3	3	5	6	1	1	1	3	5	6
3	1/3	1/3	1	3	3	5	1/3	1	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/3	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2
6	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1
1	1	2	3	5	6	8	1	2	3	5	6	9
2	1/2	1	2	3	5	6	1/2	1	2	3	5	6
3	1/3	1/2	1	2	3	5	1/3	1/2	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	1	1/6	1/5	1/2	1/2	1	3
6	1/8	1/6	1/3	1	1	1	1/9	1/6	1/3	1/3	1/3	1

Фактори	Персонал	Матеріали і запасні частини	Обладнання та інструмент	Виробниче середовище	Управління	Документація	Персонал	Матеріали і запасні частини	Обладнання та інструмент	Виробниче середовище	Управління	Документація
1	1	3	3	5	6	8	1	1	3	5	6	8
2	1/3	1	3	3	5	6	1	1	1	3	5	6
3	1/3	1/3	1	3	3	5	1/3	1	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/3	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2
6	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1
1	1	2	3	5	6	8	1	2	3	5	6	7
2	1/2	1	2	3	5	6	1/2	1	2	3	5	6
3	1/3	1/2	1	2	3	5	1/3	1/2	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	1	1/6	1/5	1/2	1/2	1	3
6	1/8	1/6	1/3	1	1	1	1/7	1/6	1/3	1/3	1/3	1
1	1	2	3	5	7	8	1	3	3	5	5	8
2	1/2	1	3	3	5	6	1/3	1	1	3	5	6
3	1/3	1/3	1	2	3	5	1/3	1	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/7	1/5	1/2	1/2	1	2	1/5	1/5	1/2	1/2	1	2
6	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1
1	1	2	3	5	6	8	1	2	3	5	6	7
2	1/2	1	2	3	5	6	1/2	1	2	3	5	6
3	1/3	1/2	2	2	3	5	1/3	1/2	1	2	3	5
4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	1/5	1/3	1/2	1	2	3
5	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2	1/6	1/5	1/2	1/2	1	2
6	1/8	1/6	1/3	1/2	1/2	1	1/7	1/6	1/3	1/2	1/2	1

Додаток В

Фрагмент файлу MATLAB «Нечіткий класифікатор» для визначення індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів

```
[System]
Name='НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=13
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='S'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='LW': 'trapmf', [0 0 0.1 0.4]
MF2='NS': 'trapmf', [0 0.3 0.4 0.7]
MF3='SG': 'trapmf', [0.3 0.6 0.7 1]
MF4='HG': 'trapmf', [0.6 0.9 1 1]
```

```
[Input2]
Name='O'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='RR': 'trapmf', [0 0 0.1 0.4]
MF2='PS': 'trapmf', [0.1 0.4 0.6 0.9]
MF3='FQ': 'trapmf', [0.6 0.9 1 1]
```

[Input3]

Name='D'

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='LW': 'trapmf', [0 0 0.1 0.4]

MF2='MD': 'trapmf', [0.1 0.4 0.6 0.9]

MF3='HG': 'trapmf', [0.6 0.9 1 1]

[Output1]

Name='R'

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='RTF': 'constant', [0]

MF2='CBM': 'constant', [0.5]

MF3='TBM': 'constant', [1]

[Rules]

4 3 0, 1 (1) : 1

4 2 3, 2 (1) : 1

4 2 -3, 1 (1) : 1

4 1 -1, 2 (1) : 1

4 1 1, 1 (1) : 1

3 3 0, 1 (1) : 1

3 2 1, 1 (1) : 1

3 2 -1, 2 (1) : 1

3 1 1, 1 (1) : 1

3 1 -1, 2 (1) : 1

2 -1 0, 2 (1) : 1

2 1 0, 3 (1) : 1

1 0 0, 3 (1) : 1

Додаток Г

Розрахунок параметрів функцій належності нечіткого класифікатора

Змінна D , терми: LW

0.9244	0.9498	0.9617	0.9908	0.9997	0.9667	0.9101
0.6942	0.5463	0.3935	0.2555	0.1462	0.0701	0.0117
0.0038	0.0004	0.0004	0.0033	0.0082	0.0146	0.0296
0.044	0.0588	0.052	0.0279	0.0111	0.0017	0.0073

 MD

0.0577	0.0388	0.0298	0.0073	0.0002	0.0277	0.0763
0.2693	0.4076	0.556	0.6965	0.8146	0.9036	0.9812
0.9934	0.9993	0.9992	0.993	0.981	0.9628	0.9079
0.8271	0.5937	0.3871	0.155	0.052	0.0071	0.0237

 HG

0.0179	0.0114	0.0085	0.0019	0.002	0.0055	0.0136
0.0364	0.0461	0.0505	0.048	0.0392	0.0263	0.0071
0.0027	0.0003	0.0004	0.0037	0.0108	0.0225	0.0625
0.1289	0.3475	0.5609	0.817	0.937	0.9912	0.969

Змінна O , терми: RR

0.9671	0.9761	0.9842	0.991	0.9962	0.9993	0.9913
0.9999	0.8828	0.7395	0.3458	0.2287	0.1811	0.1378
0.0698	0.0067	0.0008	0.0138	0.0348	0.0494	0.0729
0.0817	0.0302	0.0155	0.0135	0.0214	0.0376	0.0254

 PS

0.0271	0.0198	0.0131	0.0075	0.0032	0.0006	0.0075
0.0001	0.1046	0.2371	0.62	0.7405	0.8396	0.9121
0.9902	0.9907	0.9987	0.975	0.925	0.8783	0.754
0.5499	0.1192	0.0557	0.0338	0.0514	0.0341	0.0517

FQ

0.0058	0.0041	0.0026	0.0015	0.0006	0.0001	0.0012
0.001	0.0127	0.0234	0.0342	0.0308	0.0245	0.0279
0.0165	0.0026	0.0005	0.0112	0.0402	0.0724	0.1731
0.3684	0.8506	0.9288	0.9527	0.9272	0.953	0.9275

Змінна *S*, терми:

LW

0.8844	0.9305	0.99	0.9759	0.9246	0.839	0.0207
0.0009	0.0094	0.0098	0.0058	0.0027	0.0001	0.0002
0.0013	0.0031	0.0054	0.0104	0.0056	0.0036	0.002
0.0009	0.0031	0.0081	0.0123	0.0028	0.0074	0.0113

NS

0.0718	0.0444	0.0071	0.0173	0.0556	0.1223	0.9562
0.9972	0.9613	0.0664	0.0361	0.016	0.0002	0.0012
0.0062	0.0138	0.0229	0.0303	0.0156	0.0098	0.0054
0.0023	0.0072	0.0185	0.0271	0.0066	0.0170	0.0249

SG

0.0292	0.0169	0.002	0.0048	0.014	0.0277	0.0184
0.0016	0.0247	0.9011	0.9431	0.9731	0.9996	0.9975
0.9859	0.9652	0.9356	0.157	0.0709	0.0421	0.0218
0.0088	0.0222	0.0518	0.0723	0.0204	0.0476	0.0665

HG

0.0147	0.0082	0.0009	0.002	0.0057	0.0109	0.0047
0.0003	0.0046	0.0227	0.0151	0.0081	0.0001	0.0011
0.0066	0.0179	0.0361	0.8023	0.9078	0.9444	0.9709
0.9881	0.9675	0.9216	0.8883	0.8901	0.8478	0.8172

Додаток Д

Масив експериментальних даних для ідентифікації нечіткого класифікатора

№	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>R</i>	№	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>R</i>
1	0.12	0.19	0.39	0.99	41	0.27	0.56	0.2	0.54
2	0.23	0.1	0.9	0.92	42	0.29	0.52	0.56	0.54
3	0.24	0.01	0.95	0.9	43	0.26	0.53	0.51	0.53
4	0.32	0.19	0.4	1	44	0.33	0.58	0.77	0.52
5	0.33	0	0.54	0.96	45	0.29	0.51	0.14	0.51
6	0.16	0	0.07	0.92	46	0.25	0.56	0.52	0.51
7	0.1	0.18	0.82	0.95	47	0.34	0.39	0.18	0.51
8	0.07	0.15	0.6	0.9	48	0.32	0.4	0.84	0.52
9	0	0.14	0.15	0.97	49	0.26	0.51	0.33	0.53
10	0.07	0.02	0.2	0.97	50	0.31	0.73	0.29	0.52
11	0.07	0	0.97	0.98	51	0.34	0.46	0.58	0.51
12	0.12	0.12	0.66	0.95	52	0.25	0.74	0.46	0.51
13	0.04	0.2	0.59	0.98	53	0.3	0.7	0.92	0.53
14	0.21	0.17	0.98	0.96	54	0.29	0.74	0.05	0.53
15	0.04	0.07	0.53	1	55	0.31	0.43	0.66	0.54
16	0.26	0.06	0.8	0.91	56	0.31	0.69	0.79	0.52
17	0.13	0.07	0.54	0.96	57	0.31	0.69	0.44	0.51
18	0	0.19	0.23	0.92	58	0.29	0.67	0	0.53
19	0.09	0.1	0.91	0.98	59	0.26	0.64	0.31	0.54
20	0.1	0.11	0.3	0.9	60	0.29	0.64	0.12	0.53
21	0.07	0.18	0.98	0.94	61	0.26	0.4	0.92	0.54
22	0.25	0.2	0.92	0.98	62	0.28	0.57	0.94	0.53
23	0.01	0.14	0.91	0.97	63	0.26	0.39	0.35	0.53
24	0.24	0.02	0.86	0.97	64	0.33	0.56	0.44	0.54
25	0.09	0.12	0.27	0.92	65	0.25	0.52	0.07	0.51
26	0	0.22	0.51	0.98	66	0.31	0.59	0.81	0.53
27	0.28	0.06	0.42	0.92	67	0.3	0.7	0.55	0.54
28	0.24	0.19	0.31	0.94	68	0.34	0.46	0.56	0.52
29	0.15	0.08	0.28	0.91	69	0.31	0.4	0.07	0.52
30	0.26	0.01	0.37	0.96	70	0.25	0.54	0.21	0.52
31	0.19	0.2	0.94	0.94	71	0.31	0.73	0.27	0.53
32	0.29	0.13	0.39	0.93	72	0.25	0.46	0.97	0.54
33	0.18	0.15	0.67	0.91	73	0.28	0.44	0.56	0.52
34	0.23	0.21	0.42	0.96	74	0.27	0.52	0.47	0.51
35	0.18	0.05	0.12	0.99	75	0.31	0.68	0.48	0.51
36	0.16	0.21	0.33	0.92	76	0.31	0.66	0.79	0.52
37	0.28	0.2	0.53	0.96	77	0.28	0.62	0.79	0.51
38	0.26	0.2	0.87	0.91	78	0.33	0.55	0.03	0.51
39	0.24	0.13	0.13	0.98	79	0.24	0.73	0.27	0.52
40	0.28	0.11	0.08	0.91	80	0.34	0.62	0.34	0.54

№	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>R</i>	№	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>R</i>
81	0.42	0.55	0.9	0.45	121	0.87	0.92	0.32	0.08
82	0.54	0.39	0.99	0.41	122	0.88	0.9	0.28	0.02
83	0.49	0.61	0.83	0.45	123	0.96	0.97	0.35	0
84	0.42	0.63	0.87	0.48	124	0.74	0.91	0.68	0.06
85	0.53	0.46	0.93	0.47	125	0.86	0.76	0.04	0.02
86	0.47	0.49	0.89	0.47	126	1	0.8	0.27	0.08
87	0.58	0.58	1	0.47	127	0.81	0.83	0.67	0.1
88	0.51	0.63	0.87	0.4	128	0.77	0.96	0.28	0.08
89	0.55	0.36	0.84	0.45	129	0.75	0.94	0.56	0.07
90	0.63	0.51	0.9	0.49	130	0.78	0.87	0.44	0.09
91	0.48	0.42	0.9	0.45	131	0.91	0.92	0.55	0
92	0.48	0.39	0.85	0.46	132	0.72	0.97	0.25	0.11
93	0.55	0.55	0.99	0.49	133	0.98	0.76	0.19	0.01
94	0.45	0.41	1	0.45	134	0.95	0.78	0.05	0.1
95	0.43	0.45	0.97	0.46	135	0.92	0.96	0.51	0
96	0.51	0.55	0.93	0.45	136	0.87	0.9	0.03	0.09
97	0.53	0.66	0.85	0.5	137	0.75	0.77	0.64	0
98	0.53	0.5	0.83	0.41	138	0.76	0.96	0.47	0.12
99	0.46	0.5	0.85	0.48	139	0.83	0.95	0.69	0.12
100	0.64	0.66	0.83	0.43	140	0.91	0.8	0.12	0
101	0.44	0.38	0.99	0.42	141	0.73	0.76	0.43	0.01
102	0.42	0.36	0.96	0.41	142	0.86	0.86	0.08	0.09
103	0.52	0.61	0.93	0.4	143	0.73	0.92	0.1	0.02
104	0.51	0.66	0.99	0.48	144	0.9	0.86	0.16	0.01
105	0.59	0.42	0.92	0.43	145	0.93	0.9	0.04	0.11
106	0.64	0.64	0.89	0.42	146	0.73	0.91	0.34	0.11
107	0.41	0.43	0.87	0.45	147	0.96	0.81	0.57	0.04
108	0.61	0.44	0.97	0.42	148	0.86	0.92	0.52	0.02
109	0.49	0.57	0.86	0.41	149	0.88	1	0.08	0.06
110	0.56	0.53	0.9	0.43	150	0.75	1	0.28	0.08
111	0.48	0.53	0.99	0.46	151	0.77	0.8	0.26	0.04
112	0.44	0.44	0.84	0.46	152	0.78	0.84	0.61	0.02
113	0.64	0.66	0.93	0.41	153	0.84	0.79	0.36	0.07
114	0.51	0.63	0.91	0.47	154	0.95	0.82	0.52	0.1
115	0.54	0.6	0.84	0.49	155	0.74	0.9	0.01	0.02
116	0.47	0.56	0.92	0.5	156	0.91	0.92	0.19	0.03
117	0.54	0.47	0.88	0.44	157	0.71	1	0.16	0.12
118	0.42	0.57	0.98	0.49	158	0.99	0.88	0.18	0
119	0.56	0.54	0.92	0.47	159	0.91	0.91	0.1	0.03
120	0.44	0.41	0.96	0.44	160	0.71	0.85	0.56	0.12

Додаток Е

Приклад розрахунку показника технічного рівня локомотиворемонтного
виробництва

Вузли	Компо- ненти	Невідповідності	$\lambda_i x_i$	$\sum \gamma_i \lambda_i x_i$	$\sum \alpha_j \gamma_j \lambda_i x_i$
1	2	3	4	5	6
Візки	Докум.	Відсутня технологічна документація робочих місць	0.136	0.0046	-
	Обладн. та інст.	Відсутня мийна машина	0.006	-	-
		Відсутній пазовий шаблон	0.0412	-	-
		Відсутній прилад для визначення твердості плит опорно-поворотного пристрою	0.0412	0.0153	-
	Перс.	Не перевіряється порожнина гнізда шкворневої балки герметичність	0.0412	0.0151	-
Виробн. сер-ще.	Відсутнє спеціалізоване приміщення чи камера для фарбування	0.0525	0.0054	0.0111	
Ресорне підвіш.	Докум.	Відсутня технологічна документація на робочих місцях	0.136	0.0046	-
	Обладн. та інст.	Відсутній стенд для випробувань гідравлічних гасників коливань	0.51	0.0887	-
	Виробн. сер-ще	Приміщення для ремонту гідравлічних гасників коливань не відповідає вимогам по вологості та запиленості	0.136	0.0141	0.0294
Ел. машини	Докум.	Відсутня технологічна документація робочих місць	0.136	0.0046	-
	Обладн. та інст.	Відсутній калібр для контролю конічної частини валу якоря	0.0412	-	-
		Відсутній прилад для визначення омичного опору обмоток якорів та котушок полюсів	0.0412	-	-
		Відсутній прилад для перевірки на МВЗ полюсних котушок	0.0412	-	-
		Відсутні різьбові калібри	0.0412	-	-
		Відсутня станція для випробувань ТЕД після ремонту	0.51	-	-
		Не контролюється перпендикулярність осей пружин	0.0412	0.1246	0.0177

1	2	3	4	5	6
АБ	Докум.	Відсутня технологічна документація робочих місць	0.136	-	-
		Відсутній журнал реєстрації параметрів стану елементів батареї під час контрольного циклу заряду-розряду.	0.51	0.0219	-
	Обладн. та інст.	Відсутній термометр для визначення температури електроліту	0.0412	0.0071	-
	Перс.	Не визначається і не фіксується ємність батарей після ремонту	0.0412	0.0151	0.0003
Автог. обл.	Обладн. та інст.	Відсутні повірені гладкі калібри контролю отворів золотників кранів машиніста	0.0412	0.0071	-
	Виробн. сер-ще	Невпорядковано зберігання вузлів, що надійшли для ремонту	0.0016	-	-
		Недостатнє освітлення випробувальної позиції	0.136	0.0143	0.011
Ел. апарати	Докум.	Технологічна документація недоукомплектована	0.04	-	-
		Журнали приймання електричних апаратів на випробувальній станції (стенді) ведуться у довільній формі	0.136	0.0059	-
	Обладн. та інст.	Відсутнє підйомно-транспортне обладнання для встановлення швидкодіючих вимикачів на стенд для випробувальних робіт.	0.24	0.0417	0.001
КВП	Докум.	Технологічна документація робочих місць застаріла (неактуалізована)	0.136	0.0046	$0.3 \cdot 10^{-4}$
Кол. пари	Докум	Технологічна документація робочих місць застаріла (неактуалізована)	0.136	0.0046	-
	Виробн. сер-ще	Відсутня стаціонарна позиція дефектоскопії колісних пар.	0.014	0.0014	-
	Перс.	Під час ремонту допускаються розпарування зубчастих коліс тягових редукторів	0.064	0.0235	0.01620
Струмо-прийм.	Докум.	Відсутня технологічна документація робочих місць	0.136	0.0046	-
	Обладн. та інст.	Нетиповий динамометр для перевірки статичного навантаження на контактний дріт	0.011	-	-
		Відсутній шаблон по перевірці полозів струмоприймачів.	0.0412	0.0090	0.00046
$K_d = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^p \alpha_j \gamma_k \lambda_i x_i t_i,$					0.08870
$K_c = 1 - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^p \alpha_j \gamma_k \lambda_i x_i t_i,$					0.91129

Додаток Є

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Наукові праці у фахових виданнях України:

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 ділянки 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 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).

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

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. Пузырь 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 оснащенности 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. Пузир 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. Пузир 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. Пузир 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 XX в XXI 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 ІХ-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.

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

Відомості про апробацію результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на конференціях:

Міжнародній науково-практичній конференції «Експлуатаційна надійність рухомого складу», м Омськ, 2013 р., НІТКД (заочна участь);

76-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 15 - 17 квітня 2014 р., УкрДАЗТ (очна участь);

VI International Conference «Transport problems», Katowice, 25-27 June 2014, (очна участь);

Першій міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку сервісного обслуговування локомотивів», м. Москва, 10 жовтня 2014 р., (очна участь);

II-й Міжнародній науково-технічній конференції «Локомотиви XXI століття», м. Санкт-Петербург, 18-20 листопада 2014 р., (очна участь);

77-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 21-23 квітня 2015 р., УкрДАЗТ (очна участь);

Міжнародній науково-практичній конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», м. Лозова, 4-8 травня 2015 р., СНУ (заочна участь);

VII International Conference «Transport problems», Katowice, 22-26 June 2015, (очна участь);

III-й Міжнародній науково-технічній конференції «Локомотиви XXI століття», м. Санкт-Петербург, 17-19 листопада 2015 р., (заочна участь);

III-й Міжнародній науково-технічній конференції «Технологічне забезпечення ремонту і підвищення динамічних якостей залізничного рухомого складу», м. Омськ, 10 листопада 2015 р., НІТКД (заочна участь);

II-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку сервісного обслуговування локомотивів», м. Москва, 14 жовтня 2015 р., ЛокоТех (заочна участь);

28-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків 21-23 жовтня 2015 р., УкрДУЗТ (очна участь);

Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» м. Трускавець, 11-17 квітня 2016 р., СНУ (заочна участь);

78-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 26- 28 квітня 2016 р., УкрДУЗТ (очна участь);

12-й Науково-практичній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика», м. Харків, 2-4 червня 2016 р., (очна участь);

VIII International Conference «Transport problems», Katowice, 29 June - 1 July 2016, (очна участь);

16-й Науково-практичній конференції «Перспективи впровадження технічних заходів безпеки руху на залізницях України», м. Київ, 31 серпня - 02 вересня 2016 р. ПАТ «Укрзалізниця» (очна участь);

29-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків 21-23 жовтня 2016 р., УкрДУЗТ (очна участь);

IV-й Міжнародній науково-технічній конференції «Локомотиви XXI століття», м. Санкт-Петербург, 17-19 листопада 2015 р., (заочна участь);

III-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика», м. Маріуполь 11-12 травня 2017 р., ПДТУ (заочна участь);

International scientific conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» Dresden – Paris, 3-12 may 2017 (заочна участь);

79-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 25- 27 квітня 2017 р., УкрДУЗТ (очна участь);

IX International Conference «Transport problems», Katowice, 28-30 June 2017, (очна участь);

30-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків 25-27 жовтня 2017 р., УкрДУЗТ (очна участь);

V-й Міжнародній науково-технічній конференції «Локомотиви XXI століття», м. Санкт-Петербург, 14-16 листопада 2017 р., (заочна участь);

80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 24- 26 квітня 2018 р., УкрДУЗТ (очна участь);

Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту», м. Харків, 14-16 травня 2018 р., УкрДУЗТ (очна участь);

VIII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» м. Одеса, 23-25 травня 2018 р., СНУ (заочна участь);

III-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку сервісного обслуговування локомотивів», м. Москва, 11-12 жовтня 2018 р., ЛокоТех (заочна участь);

International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» Salou, 4-11 May 2019, (заочна участь);

II-й Всеукраїнській конференції «*Вагони нового покоління: із XX в XXI сторіччя*» м. Харків, 23-25 квітня 2019 р., УкрДУЗТ (очна участь);

79-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», м. Дніпро, 16-17 травня 2019 р., ДНУЗТ (заочна участь);

IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення», м. Одеса 22-24 травня 2019 р., СНУ (заочна участь);

Науково-практичній конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» м. Лиман, 14-16 листопада 2019 р., СНУ (заочна участь);

9th International scientific conference «Research and Development of Mechanical Elements and Systems», Kragujevac, 5-7 september 2019, (заочна участь);

International scientific conference on aeronautics, automotive and railway engineering and technologies «BulTrans-2019», Sozopol, 2019 р., (очна участь);

1-й Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології». м. Трускавець, 24-30 січня 2020 р., УкрДУЗТ (очна участь);

X-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми безпеки на транспорті», м. Гомель, 26–27 листопада, 2020 р., БелДУТ (заочна участь);

XV-й Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження», м. Дніпро, 2020 р., ДНУЗТ (заочна участь).

Додаток Ж
Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заступник директора
Департаменту локомотивного
господарства АТ «Укрзалізниця»
 С.В. Ткаченко
« 17 » 02 2021 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Дацуна Ю.М.
«Розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої
системи ремонту локомотивів»

Комісія у складі: голова Ткаченко С.В., члени комісії: Логвінов Г.В., Мустяц В.В. склали цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження щодо формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів впроваджені Департаментом локомотивного господарства для удосконалення організації ремонту тягового рухомого складу. Основні результати, що були використані:

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 оптимізувати стратегію технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу;

комплексний показник технічного рівня виробництва, що враховує кількісну оцінку впливу типу технологічних процесів, виду вузлів локомотивів та компонентів ремонтного виробництва, що дозволило підвищити об'єктивність та ефективність експертних обстежень ремонтних виробництв;

метод оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва, що базується на структурі інформаційно-керуючої системи яка узагальнює та формалізує експертні оцінки технічного стану виробництва та дозволяє більш оперативно отримувати об'єктивну інформацію про технічний рівень ремонтних виробництв.

Впровадження зазначених результатів надає можливість більш раціонально формувати програми дооснащення локомотиворемонтних

виробництв, оптимізувати організацію ремонту локомотивів що дозволить підвищити їх технічний рівень та знизити витрати на утримання.

Члени комісії:

Менеджер - начальник відділу ремонту
тягового рухомого складу
Департаменту локомотивного
господарства АТ «Укрзалізниця»



Г.В. Логвінов

Головний технолог відділу ремонту
тягового рухомого складу
Департаменту локомотивного
господарства АТ «Укрзалізниця»



В.В. Мустяц

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор виконавчий
ТОВ «Полтавський ремонтний
завод залізничної техніки»
О.В. Підкопалов

2021 р.

А К Т

впровадження результатів докторської дисертаційної роботи
Дацуна Юрія Миколайовича

Комісія у складі: голова Підкопалов О.В., члени комісії: Грицюк А.В., Власюк І.Б. склали цей акт про те, що результати докторської дисертаційної роботи «Розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів» впроваджені у виробництво Полтавського ремонтного заводу залізничної техніки. Основні результати, що були використані:

концепція 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, що дозволило автоматизувати процеси формування технології ремонту вузлів локомотивів;

когнітивна модель функціонування виробничої системи ремонту локомотивів, із визначенням кількісної оцінки взаємного впливу її складових, що дозволило оптимізувати організаційно-виробничу структуру підприємства;

комплексний показник технічного рівня виробництва, що враховує кількісну оцінку впливу типу технологічних процесів, виду вузлів локомотивів та компонентів ремонтного виробництва, що дозволило отримувати об'єктивні оцінки технічного рівня ремонтних підрозділів під час внутрішнього контролю технології та якості ремонту вузлів локомотивів;

метод формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів, що базується на принципі доповнення технологічних можливостей виробництва-

агентів та надає науково-обґрунтований підхід для вибору підрядних організацій з ремонту окремих вузлів локомотивів.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження дозволяє оптимізувати процеси організації ремонту, що призведе до зниження витрат та підвищення якості ремонту локомотивів.

Члени комісії:

Директор з виробництва
ТОВ ТОВ «Полтавський
ремонтний завод
залізничної техніки»



А.В. Грицюк

Директор технічний
ТОВ ТОВ «Полтавський
ремонтний завод
залізничної техніки»



І.Б. Власюк

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з науково-педагогічної роботи
Українського державного університету
залізничного транспорту

Д.І. Мкртчян
2021 р.

**А К Т**

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Дацуна Юрія Миколайовича на тему «Розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів» у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту

До основних результатів дисертації Дацуна Ю.М., які використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, належать:

- концепція адаптивної інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів на основі OWL-онтології, що дозволяє оптимізувати процеси організації і технології ремонту;
- модель функціонування виробничої системи ремонту локомотивів з визначенням кількісної оцінки взаємного впливу її складових;
- метод формування індивідуальних стратегій ремонту вузлів локомотивів, з урахуванням їх технічного стану та рівня ремонтного виробництва;
- комплексний показник для оцінки технічного рівня локомотиворемонтного виробництва;
- модель для дослідження технології ремонту вузла локомотива.

Розробки та рекомендації, запропоновані автором, впроваджені у навчальний процес з 2020/2021 навчального року:

1) при підготовці бакалаврів усіх освітніх програм спеціальності «Залізничний транспорт» з дисциплін «Основи технології ремонту локомотивів», «Організація обслуговування ВРС та управління якістю»;

2) при підготовці магістрів усіх освітніх програм спеціальності «Залізничний транспорт» з дисциплін «Технологія ремонту локомотивів», «Основи автоматики та автоматизації виробничих процесів у локомотивному господарстві», «Системи діагностування рухомого складу»;

3) при виконанні випускних кваліфікаційних робіт магістрів механіко-енергетичного факультету.

В.о. завідувача кафедри
експлуатації та ремонту
рухомого складу,
д.т.н., професор



В.Г. Пузир