

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

ОБОЗНИЙ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.4.083

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДРЕЙСОВОЇ ПІДГОТОВКИ
ЛОКОМОТИВІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ**

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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



О.М. Обозний

Науковий керівник

ПУЗИР Володимир Григорович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Обозний О.М. Удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на основі електронного паспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – «Рухомий склад залізниць та тяга поїздів» (273 – Залізничний транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена питанню удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів. З цією метою пропонується розробка і впровадження електронного паспорту, що міститиме дані про фактичний технічний стан локомотивів та їх вузлів.

В роботі проведений аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів, який показав, що щорічно близько 75% транспортних подій стається через відмову вузлів локомотива на шляху прямування. Відзначено, що основна причина відмов – недостатня увага до технічного стану локомотива перед виходом в рейс.

Було розроблено структурну модель електронного паспорту та інформаційну модель процесу передрейсової підготовки локомотива із застосуванням електронного паспорту. У роботі було розроблено математичну модель та запропоновано стратегії управління ризиками в експлуатації із застосуванням електронного паспорту. Показником, що характеризує надійну роботу локомотивів в експлуатації запропоновано використовувати коефіцієнт можливості виконання рейсу.

Інтерполяційна формула для визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу отримана в результаті повного факторного експерименту.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання удосконалення процесів передрейсової підготовки на основі

електронного паспорту з урахуванням ризиків процесу експлуатації та запропонованого критерію можливості виконання рейсу локомотивом.

Вперше:

- на основі теорії мереж Петрі запропоновано метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, який забезпечує визначення його фактичного технічного стану перед виходом в рейс;

- розроблено математичну модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропоновано критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом, який враховує вплив експлуатаційних факторів на зміну технічних параметрів вузлів локомотива;

- запропоновано математичну модель технічного стану локомотива, яка у реальному часі враховує зміни технічних параметрів його вузлів та їх взаємозв'язок в процесі експлуатації, та дозволяє сформувати структурну схему його електронного паспорту;

Знайшов подальший розвиток:

- метод отримання залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів, який, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити зміну фактичного технічного стану локомотива після виконання конкретного рейсу.

Удосконалено:

- модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками, яка, на відміну від існуючих, дозволяє зробити вибір рейсу, в процесі виконання якого не станеться відмови локомотива.

Практичне значення роботи полягає у використанні результатів дослідження на підприємствах АТ “Укрзалізниця”. Запропоновані заходи дозволяють зменшити витрати часу на проведення передрейсової підготовки локомотивів, оперативно відстежувати стан локомотива перед виходом в

рейс. Крім того ці результати слугують для прогнозування технічного стану локомотивів в експлуатації та дозволяють зменшити кількість відмов локомотивів на шляху прямування.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту з підготовки бакалаврів і магістрів за освітньою програмою “Локомотиви та локомотивне господарство” спеціальності “Залізничний транспорт”.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукових праці, з яких: 8 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, та 3 статті у виданнях інших держав (три статті включені до наукометричної бази Scopus); 8 праць апробаційного характеру; три додаткових праці.

У вступі обгрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета дослідження, розкрито її наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів на залізницях України. Аналіз показує, що більшість транспортних подій (близько 75%) стається через відмову обладнання на шляху прямування. Передумови виникнення несправностей відносять за неякісним деповським і заводським ремонтом та технічними причинами. Однак, основною причиною відмов вузлів локомотивів в експлуатації є те, що при відправленні локомотива в рейс недостатня увага приділяється визначенню його фактичного технічного стану.

Основним недоліком існуючої системи управління технічним обслуговуванням, поточними ремонтами і передрейсовою підготовкою є те, що локомотиви однієї серії розглядаються як однотипні, з однаковими характеристиками і властивостями. Однак, кожен локомотив та його вузли мають індивідуальні властивості і зношуються не однаково.

Велика частка відмов вузлів локомотивів на шляху прямування вимагає більшої уваги до підготовки локомотивів перед виходом в рейс та

спостереження за його станом в експлуатації. Перед випуском локомотива на лінію необхідно переконатися в тому, що його технічний стан дозволяє здійснити рейс. Це стосується як локомотивів, що експлуатуються довгий час, так і нових локомотивів, що надходять на підприємства АТ “Укрзалізниця”. Інформація про технічний стан може бути отримана від бортових та стаціонарних засобів технічного діагностування. Аналіз цих даних, визначення рівня надійності локомотива та його спроможності провести поїзд є невід’ємною частиною передрейсової підготовки.

Постає задача удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів, вирішення якої дозволить підвищити надійність локомотивів в експлуатації, зменшити витрати на непланові ремонти, обирати оптимальні режими експлуатації тягового рухомого складу.

У другому розділі проводилось розроблення структурної моделі електронного паспорту локомотива. Можливості сучасних інформаційних технологій дозволяють проводити збирання, зберігання та обробку великого об’єму даних, що недоступно при ручній технології.

Для врахування індивідуальних властивостей окремого локомотива при виконанні передрейсової підготовки пропонується застосовувати електронний паспорт локомотива, який представляє собою базу даних локомотивів та їх вузлів. При цьому локомотив розглядається як об’єкт, що має певні властивості і приймає участь у певних подіях. Кожен вузол також розглядається як окремий об’єкт зі своїми властивостями і подіями. Настання певної події призводить до зміни стану локомотива або вузла, що обов’язково відображається в електронному паспорті та призводить до оновлення бази даних. Наповнення бази даних електронного паспорту відбувається через засоби технічного діагностування (переносні, стаціонарні, вбудовані), а при їх відсутності – вручну.

У третьому розділі проводилось розроблення моделі процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного

паспорту. Задачею передрейсової підготовки локомотивів є визначення можливості конкретного локомотива провести поїзд відомої ваги по ділянці відомого профілю і довжини. Тобто необхідно визначити, чи дозволяє фактичний технічний стан локомотива виконати конкретний рейс.

Дані про рейс від чергового по депо порівнюються з поточними властивостями локомотива і його вузлів і визначається значення коефіцієнту можливості виконання локомотивом рейсу без відмови обладнання, а також формується технологічний процес передрейсової підготовки.

Електронний паспорт дозволяє автоматизувати обробку та аналіз результатів технічного діагностування, а також розробку технологічного процесу передрейсової підготовки. При застосуванні електронного паспорта локомотива очікується зменшення кількості відмов вузлів локомотивів на шляху прямування, оскільки виключається можливість відправки локомотива в рейс, якщо технічні параметри його вузлів не задовільняють вимогам нормативної документації.

В четвертому розділі розроблені моделі використано для формування інформаційної системи, яка може бути інтегрована з автоматизованими робочими місцями в депо.

У якості практичної реалізації було запропоновано програмне забезпечення електронного паспорта, яке можливо інтегрувати з АРМ чергового по депо для аналізу стану та підбору локомотивів для відправлення в рейс.

З 2017 року в 12 локомотивних депо проводилась апробація електронної паспортизації об'єктів локомотивного господарства, у тому числі локомотивів. Було розроблено відповідне програмне забезпечення. Досвід впровадження електронних паспортів показує, що обробка результатів електронною системою дозволяє прискорити формування технічної документації, підвищити ефективність праці, скоротити час проведення операцій.

Застосування електронного паспорту локомотива в процесі передрейсової підготовки дозволяє отримати економічний ефект з наростаючим підсумком за розрахунковий період 2022 – 2026 роки складатиме 7472,080 тис. грн. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на заробітну плату, на технічне обслуговування та передрейсову підготовку, а також витрат, пов'язаних із відмовою локомотивів на шляху прямування, із затримкою поїзда, викликом допоміжного локомотива та проведенням непланового ремонту.

Ключові слова: електронний паспорт локомотива, передрейсова підготовка, фактичний технічний стан локомотива, коефіцієнт можливості виконання рейсу, управління ризиками

ABSTRACT

Obozny O.M. Improvement of locomotives pre-route preparation processes based on the electronic passport. – Qualification scientific work – manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences (Ph.D. – Doctor of Philosophy) in Specialty 05.22.07 – The railways rolling stock and trains traction (273 – Transport). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis deals with the issue of improving the processes of pre-route preparation of locomotives. To this end, it is proposed to develop and implement an electronic passport that will contain data on the actual technical condition of locomotives and their components.

The analysis of traffic safety and malfunctions of the main equipment of locomotives is carried out in the work, which showed that annually about 75% of transport events occur due to failure of locomotive units on the route. It is noted

that the main reason for failures is insufficient attention to the technical condition of the locomotive before departure to the route.

A structural model of the electronic passport and an information model of the process of pre-route preparation of the locomotive with the use of the electronic passport were developed. A mathematical model was developed in the work and strategies for risk management in exploitation using an electronic passport were proposed. As an indicator that characterizes the reliable work of locomotives in exploitation the coefficient of route execution possibility is proposed to use. The interpolation formula for determining the coefficient of route execution possibility is obtained as a result of a complete factorial experiment.

The scientific novelty of the dissertation work is in solving the research problem of improvement of pre-route preparation processes on the basis of the electronic passport, taking into account the risks of the operation process and the proposed criterion of route execution possibility by a locomotive.

For the first time:

- based on the theory of Petri nets, a method of pre-route preparation of locomotives with the use of the electronic passport is proposed, which provides determination of its actual technical condition before departure;

- the mathematical model of management of risks of losses in the course of operation is developed and the criterion for definition of possibility of route execution by a locomotive which considers influence of operational factors on change of technical parameters of locomotive nodes;

- a mathematical model of the technical condition of the locomotive is proposed, which in real time takes into account changes in the technical parameters of its components and their relationship during operation, and allows to form a block diagram of its electronic passport;

Found further development:

- the method of obtaining the dependence of the coefficient of the route execution possibility for different combinations of operational factors, which, in

contrast to the existing ones, allows to estimate the change in the actual technical condition of the locomotive after a particular route.

Improved:

- model of mathematical description of the process of pre-route preparation as a single-channel queuing system with inhomogeneous flows, which, in contrast to the existing ones, allows to make a choice of the route, in the process of which the locomotive will not fail.

The practical significance of the work consists in the use of research results at the enterprises of JSC "Ukrzaliznytsia". The proposed measures allow to reduce the waste of time for pre-route preparation of locomotives, to monitor promptly the condition of the locomotive before departure to the route. In addition, these results are used to predict the technical condition of locomotives in exploitation and reduce the number of failures of locomotives on the route.

The research results were introduced into the educational process of the Ukrainian State University of Railway Transport for the preparation of bachelors and masters in the educational program "Locomotives and locomotive economy" specialty "Railway Transport".

The content of the thesis was revealed 13 scientific publications, including: 10 scientific articles in professional journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, and 3 articles in publications of other countries (three articles are included in the scientometric database Scopus); 4 publications of approbation character; four additional publications.

In the introduction the relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the research is formulated, research's scientific novelty and practical significance of the obtained results are revealed, the general characteristic of the work is given.

In the first chapter the analysis of traffic safety and malfunctions of the main equipment of locomotives on the railways of Ukraine is carried out. The analysis shows that the majority of traffic events (about 75%) occur due to units failure on

the route. Prerequisites for malfunctions are attributed to poor repairs of locomotives in depot and on factory and technical reasons. However, the main reason for the failure of locomotive units in exploitation is insufficient attention to determining actual technical condition of locomotive before sending it to route.

The main disadvantage of the existing management system for maintenance, repairs and pre-route preparation is that the locomotives of one series are considered to be the same type and have the same characteristics and properties. However, each locomotive and its units have individual properties and wear differently.

The task is to improve the processes of pre-route preparation of locomotives, the solution of which will allow to increase the reliability of locomotives in exploitation, to reduce the cost of unscheduled repairs, to choose the optimal modes of exploitation of traction rolling stock.

In the second chapter the statement of a problem and tasks of research is executed. A large proportion of failures of locomotive units on the route requires more attention to the preparation of locomotives before departure and monitoring of its condition in exploitation. Before departure the locomotive to the route, it is necessary to make sure that its technical condition allows to make the route. This applies both to locomotives that have been in exploitation for a long time and to new locomotives coming to the enterprises of JSC Ukrzaliznytsia. Information on the technical condition can be obtained from on-board and stationary technical diagnostic tools. Analysis of these data, determining the level of reliability of the locomotive and its ability to run the train is an integral part of pre-route preparation.

In the third chapter the development of the structural model of the electronic passport of the locomotive and the model of the process of pre-route preparation of locomotives using an electronic passport were conducted.

The capabilities of modern information technology allow making the collection, storage and processing of large amounts of data, which is not available with manual technology.

It is proposed to use an electronic passport of the locomotive, which is a database of locomotives and their components to take into account the individual properties of each locomotive when performing pre-route preparation. In this case, the locomotive is considered as an object that has certain properties and participates in certain events. Each node is also considered as a separate object with its own properties and events. The occurrence of a certain event leads to a change in the state of the locomotive or unit, which is necessarily reflected in the electronic passport and leads to an update of the database. The electronic passport database is filled through technical diagnostic tools (portable, stationary, built-in), and in case their absence – manually.

The task of pre-route preparation of locomotives is to determine the possibility of a particular locomotive to carry a train of known weight on a section of known profile and length. That is, it is necessary to determine whether the actual technical condition of the locomotive allows execution a particular route.

The route data from the depot's person on duty is compared with the current properties of the locomotive and its units and the value of the coefficient of route execution possibility without units' failure is determined, and the technological process of pre-route preparation is formed.

The electronic passport allows to automate processing and the analysis of results of technical diagnostics, and also development of technological process of pre-route preparation. In case of using an electronic passport of a locomotive, it is expected to reduce the number of failures of locomotive units on the route, as the possibility of sending the locomotive to route is excluded if the technical parameters of its units do not match the requirements of regulatory documentation.

Since 2017, 12 locomotive depots have been testing electronic certification of objects of locomotive economy, including locomotives. Appropriate software

has been developed. Experience of introduction of electronic passports shows that processing of results by electronic system allows accelerating formation of technical documentation, increasing efficiency of work, reducing time of carrying out operations.

The use of an electronic passport of the locomotive in the process of pre-route preparation allows to obtain an economic effect with a cumulative result for the calculation period 2022 – 2026 will amount to 7472.080 thousand UAH.. The economic effect is achieved by reducing the cost of wages, maintenance and pre-route preparation and the costs associated with the failure of locomotives on the route as well.

Keywords: electronic passport of the locomotive, pre-route preparation, actual technical condition of locomotive, the coefficient of route execution possibility, risk management.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

1. Обозний О.М., Квітко О.Є. Побудова ER-моделі бази даних електронного паспорту локомотивного депо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 81. С. 149–153.

2. Обозний О.М., Квітко О.Є. Моделювання інформаційних процесів документообігу локомотивного депо при застосуванні електронного паспорта. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 82. С. 57–60.

3. Обозний О.М., Пузир В.Г., Квітко О.Є. Використання електронного паспорта локомотива при плануванні та управлінні ремонтами. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2008. Вип. 96. С. 110–115.

4. Пузир В.Г., Обозний О.М. Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. Вип. 117. С. 98–103.

5. Обозний О.М. Передрейсова підготовка локомотивів як система масового обслуговування. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 132. С. 36–40.

6. Обозний О.М., Бобрицький С.В. Розробка методики прийняття рішення про видачу локомотива в рейс на основі аналізу його фактичного технічного стану. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 149. С. 71–75.

7. Обозний О.М. Визначення залежності швидкості зміни параметрів вузлів локомотива від умов експлуатації. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. №1 (218). С. 110–112.

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

8. Obozny O.M. Method of using electronic passport of locomotive in management system of preroute preparation. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2013. Vol. 2, № 3 (62). P. 56–58. DOI: 10.15587/1729-4061.2013.11717 (видання індексується у базі Scopus)

Публікації у виданнях інших держав:

9. 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 Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Volume 659. Issue 1. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012057 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав.*

10. 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. Issue 4. P. 157–161. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19727 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав*

11. Puzyr V., Datsun, Y., Obozny O., Pyvo V. Development of a repair technology for locomotive units on the basis of the theory of decision. *International Journal of Engineering & Technology*. 2019. Vol. 664. DOI: 10.1088/1757-899X/664/1/012029 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав*

Додаткові:

12. Крашенінін О.С., Жалкін С.Г., Крамчанін І.Г., Обозний О.М. Методика розрахунку системи технічного обслуговування локомотивів при подовженні терміну їх експлуатації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 107. С. 217–221.

13. Крашенінін О.С., Обозний О.М. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 122. С. 134–140.

14. Крашенінін О.С., Обозний О.М. Визначення періодичності діагностування ТРС в післяремонтний термін експлуатації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 123. С. 173–175.

Праці апробаційного характеру:

15. Обозний О.М. Удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів на основі розробки електронного паспорту. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції*. (Лозова, 4–8 травня 2015 р.). Сєверодонецьк: ПП «Поліграф-Сервіс», 2015. С. 74–75.

16. 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 міжнародної конференції. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 2–4 червня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 54. С. 72–73.

17. 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*: тези доповідей 29-ої міжнародної науково-практичної конференції (Черноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. №. 4 (додаток). С. 6.

18. 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.

19. 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 доп. III Всеукр. науково-практ. конф. молодих вчених, фахівців, аспірантів (Маріуполь, 11–12 травня 2017 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2017. С. 125–126.

20. Обозний О.М., Крамчанин І.Г. Вплив взаємодії двох факторів на коефіцієнт можливості виконання рейсу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, 22–24 травня 2019 р.). Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 85–87.

21. Puzyr V., Obozny O. Getting interpolation formula for determining the coefficient of route execution possibility. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects.* Theses of international scientific and practical conference. (Spain, 4-11 may 2019)

22. 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 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 94–96.

ЗМІСТ

Вступ	20
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛОКОМОТИВІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ	27
1.1 Аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів	27
1.2 Аналіз процесів передрейсової підготовки локомотивів	32
1.3 Аналіз можливих шляхів удосконалення процесів передрейсової підготовки	35
1.4 Аналіз робіт за напрямком досліджень	38
1.5 Висновки до розділу 1	40
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ ЛОКОМОТИВА	41
2.1 Розроблення структурної моделі електронного паспорту локомотива	41
2.2 Використання електронного паспорту локомотива при плануванні та управлінні ремонтами	46
2.3 Моделювання інформаційних процесів при застосуванні електронного паспорту	51
2.4 Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива	56
2.5 Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики	62
2.6 Математична модель зміни технічного стану локомотива в процесі експлуатації	64
2.7 Висновки до розділу 2	66

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДРЕЙСОВОЇ ПІДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ	68
3.1 Критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом	68
3.2 Розроблення моделі процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту	73
3.3 Отримання інтерполяційної формули визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу	85
3.4 Математична модель управління ризиками в процесі експлуатації	88
3.5 Розробка методики прийняття рішення про видачу локомотива в рейс на основі аналізу його фактичного технічного стану	92
3.6 Організація імітаційного моделювання системи передрейсової підготовки локомотивів	96
3.7 Визначення залежності швидкості зміни параметрів вузлів локомотива від умов експлуатації	102
3.8 Оцінка впливу взаємодії пари факторів на коефіцієнт можливості виконання рейсу	107
3.9 Висновки до розділу 3	118
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ ЛОКОМОТИВА	120
4.1 Загальні вимоги до побудови автоматизованої інформаційної системи	120
4.2 Розроблення програмної реалізації та інтерфейсу електронного паспорту локомотива	125
4.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження електронного паспорту локомотива	128
4.4 Висновки до розділу 4	135

ВИСНОВКИ	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	149
Додаток Б Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	153
Додаток В Фрагмент програмного коду електронного паспорта локомотива	157

ВСТУП

Актуальність теми. Технічний стан локомотивів, що експлуатуються на залізницях України, вимагає перегляду існуючої системи управління технічним обслуговуванням, поточними ремонтами та передрейсовою підготовкою.

Для ефективної експлуатації нових локомотивів, що надходять в депо, потрібно якомога ширше використовувати можливості вбудованих систем технічної діагностики. Оброблені дані діагностування стану локомотива потрібно використовувати в технологічному процесі передрейсової підготовки.

Прийняття рішення про випуск локомотива в рейс повинно бути технічно обгрунтованим з метою недопущення відмови локомотива на шляху прямування та зменшення витрат, пов'язаних із затримкою поїзда, викликом допоміжного локомотива та проведенням непланового ремонту.

Аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів за останні роки показує, що більшість транспортних подій відбувається через відмову обладнання на шляху прямування. Основною причиною відмов вузлів локомотивів в експлуатації є те, що при відправленні локомотива в рейс недостатня увага приділяється визначенню його фактичного технічного стану. У зв'язку з цим постає задача удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів.

Одним із основних напрямків удосконалення процесів передрейсової підготовки є застосування комплексного підходу із використанням можливостей сучасних інформаційних технологій. Потребує створення інформаційна система, яка могла б допомагати враховувати рівень технічного стану локомотива в процесі передрейсової підготовки з метою недопущення відправлення в рейс локомотива, який може відмовити в експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), Стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017–2021 роки, а також науково-дослідних робіт за темами, у яких автор брав безпосередню участь як виконавець: «Розробка проекту «Технології інформаційної взаємодії лінійного рівня залізниці та Укрзалізниці в частині інформації про технічний стан і паспортні дані» (ДР № 0110U000210); «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» (ДР №0108U007035).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на основі електронного паспорту шляхом врахування рівня їх технічного стану та вибору оптимального рейсу, умови якого не призведуть до відмови на шляху прямування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити аналіз існуючого процесу передрейсової підготовки та оцінити його вплив на експлуатаційну надійність локомотивів;
- розробити структурну модель електронного паспорту локомотива;
- розробити метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту;
- розробити математичну модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропонувати критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом;

- удосконалити метод отримання залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів;

- удосконалити модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками.

Об'єкт дослідження – процес передрейсової підготовки локомотивів.

Предмет дослідження – методи та моделі можливості виконання рейсу локомотивом.

Методи дослідження. Вирішення завдань проводилось із застосуванням методів математичної статистики та теорії ймовірностей при здійсненні аналізу транспортних подій та надійності роботи основного обладнання локомотивів, теорії мереж Петрі при розробці методу передрейсової підготовки із застосуванням електронного паспорту, теорії графів для визначення ймовірностей перебування локомотивів та їх вузлів у кожному із станів; повного факторного експерименту для отримання інтерполяційної формули для визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу в залежності від впливу експлуатаційних факторів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні процесів передрейсової підготовки на основі розробки електронного паспорту з урахуванням ризиків процесу експлуатації та запропонованого критерію можливості виконання рейсу локомотивом.

Вперше:

- на основі теорії мереж Петрі запропоновано метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, який забезпечує визначення його фактичного технічного стану перед виходом в рейс;

- розроблено математичну модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропоновано критерій для визначення можливості

виконання рейсу локомотивом, який враховує вплив експлуатаційних факторів на зміну технічних параметрів вузлів локомотива;

- запропоновано математичну модель технічного стану локомотива, яка у реальному часі враховує зміни технічних параметрів його вузлів та їх взаємозв'язок в процесі експлуатації, та дозволяє сформувати структурну схему його електронного паспорту;

Знайшов подальший розвиток:

- метод отримання залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів, який, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити зміну фактичного технічного стану локомотива після виконання конкретного рейсу.

Удосконалено:

- модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками, яка, на відміну від існуючих, дозволяє зробити вибір рейсу, в процесі виконання якого не станеться відмови локомотива.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано автоматизувати процеси передрейсової підготовки шляхом застосування електронного паспорту, який дозволяє здійснити аналіз значення поточних технічних параметрів вузлів локомотива перед виходом в рейс, зробити прогноз зміни вказаних параметрів в залежності від експлуатаційних факторів, провести розрахунок коефіцієнту можливості виконання рейсу та оцінити ризики витрат, пов'язаних з відправленням в рейс локомотива, фактичний технічний стан якого не відповідає умовам рейсу, та на основі цього обрати оптимальний рейс, який локомотив зможе виконати без відмови на шляху прямування.

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження у виробничий процес підрозділів локомотивного господарства АТ «Укрзалізниця» та у навчальний процес Українського

державного університету залізничного транспорту при вивченні дисциплін «АСУ і САПР в локомотивному господарстві», «Інформаційні технології в управлінській, науковій та викладацькій діяльності», «Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство», «Технологія ремонту локомотивів», що наведені в додатках до дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи отримано особисто автором. В спільних публікаціях особистий внесок автора полягає в наступному:

- в роботі [1] – розроблено опис предметної області та запропоновано множину кортежів ER-моделі електронного паспорту;

- в статті [2] було побудовано логічну модель інформаційного процесу роботи електронного паспорту для розрахунку за її допомогою тривалості такого процесу;

- в праці [3] – розроблено функціональну схему ремонтного процесу в локомотивному депо при використанні електронного паспорту локомотива;

- в роботі [4] було розроблено модель мережі Петрі, яка дозволяє визначати послідовність настання подій, що змінюють стан локомотива і призводять до наповнення бази даних електронного паспорту локомотива новими значеннями.

- в роботі [6] – розроблено алгоритм прийняття рішення про можливість видачі локомотива в рейс;

- В статті [9] – проведено дослідження впливу взаємодії пари експлуатаційних факторів на зміну коефіцієнта можливості виконання рейсу;

- в роботі [10] – розроблено алгоритм, який передбачає формування вхідного вектора значень з підсумовуванням двійкових кодів пікселів по рядках;

- в праці [11] – проведено аналіз дерева рішень вибору технології ремонту паливних форсунок тепловозу, який показав можливі варіанти стратегій;

- в роботі [19] – запропоновано методику визначення залишкового ресурсу з урахуванням динаміки коефіцієнта швидкості зміни стану параметру технічного об'єкту;

- в роботі [20] – проведено аналіз залежності витрат на планові та непланові види ремонтів від пробігу тягового рухомого складу;

- в статті [21] – запропоновано періодичність проведення діагностичних операцій вузлів локомотивів з метою проведення комплексного обстеження для коригування обсягів ремонту та уточнення залишкового ресурсу по основному обладнанню.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

- 70-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка транспорту» (Харків, 15-17 квітня 2008 р.);

- 71-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту» (Харків, 19-21 травня 2009 р.);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Лозова, 4-8 травня 2015 р.);

- 12-й науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків, 2-4 червня 2016 р.);

- 29-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Черноморськ, 27-29 вересня 2016 р.);

- 79-й міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25-27 квітня 2017 р.);

- III Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика» (Маріуполь, 11-12 травня 2017 р.);

- IX міжнародній науково-практичній конференції «Траспорт і логістика: проблеми та рішення» (Одеса, 22-24 травня 2019 р.);
- International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (Spain, 4-11 may 2019);
- 1-й Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець – Харків, 24-30 січня 2020 р.);
- 9th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems (IRMES 2019) 5–7 September 2019, Kragujevac, Serbia;
- 11th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies (Sozopol, Bulgaria, 10 - 12 September, 2019).

Повністю результати дисертаційної роботи заслухано та схвалено на розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові праці, з яких 8 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, і 3 статті – у виданнях інших держав (три з них включені до бази Scopus), 8 праць апробаційного характеру; 3 додаткові праці.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації складає 162 сторінки, з яких обсяг основного тексту – 130 сторінок, 37 рисунків і 4 таблиці за текстом, та 4 рисунки і 1 таблицю на 6 окремих сторінках, список використаних джерел із 123 найменувань і 3 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛОКОМОТИВІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

1.1 Аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів

Основною метою забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті є спроможність транспорту функціонувати в режимі, що забезпечує виконання поїзної та маневрової роботи й унеможливорює чи мінімізує рівень відхилень від нормального експлуатування, які є потенційною або наявною небезпекою, а також здатність змінювати свої параметри у разі виникнення потенційної загрози для унеможливлення її подальшого розвитку.

Однак, щорічно на залізницях України стаються транспортні події, наслідками яких стають витрати, пов'язані із затримкою поїзда, викликом допоміжного локомотива, пошкодженням рухомого складу та залізничної колії, проведенням непланових ремонтів (рисунок 1.1) [1-3].

Аналіз діаграми показує, що в середньому 81% транспортних подій за останні десять років сталося через появу несправностей обладнання локомотивів на шляху прямування. Це свідчить про те, що при випуску локомотива в рейс недостатня увага приділяється визначенню фактичного технічного стану його основних вузлів.

Розподіл транспортних подій по господарствам АТ «Укрзалізниця» 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 1.2).

Визначаючи причини відмови обладнання, зроблено висновок, що передумовами виникнення транспортних подій можуть бути неякісний заводський та деповський ремонт, через технічні причини та невірні дії локомотивних бригад (рисунок 1.3).

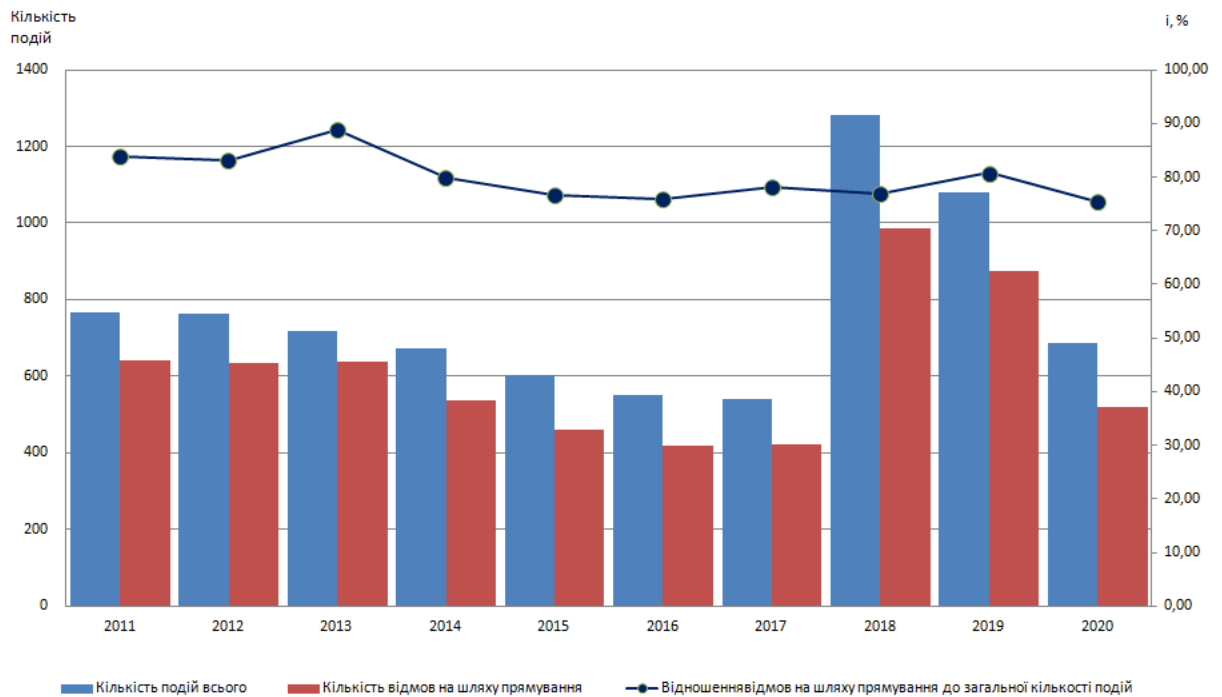


Рисунок 1.1 – Відношення кількості відмов на шляху прямування до загальної кількості транспортних подій по роках

Різде збільшення кількості транспортних подій у 2018-2019 роках відбулося в результаті зміни класифікації транспортних подій після введення в дію «Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті», затвердженим наказом Мінінфраструктури від 03.07.2017 № 235, яке було розроблене у відповідності до норм і стандартів визначених Директивою 2004/49/ЄС Європейського парламенту та Ради про безпеку залізниць у Співтоваристві [4-6].

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.

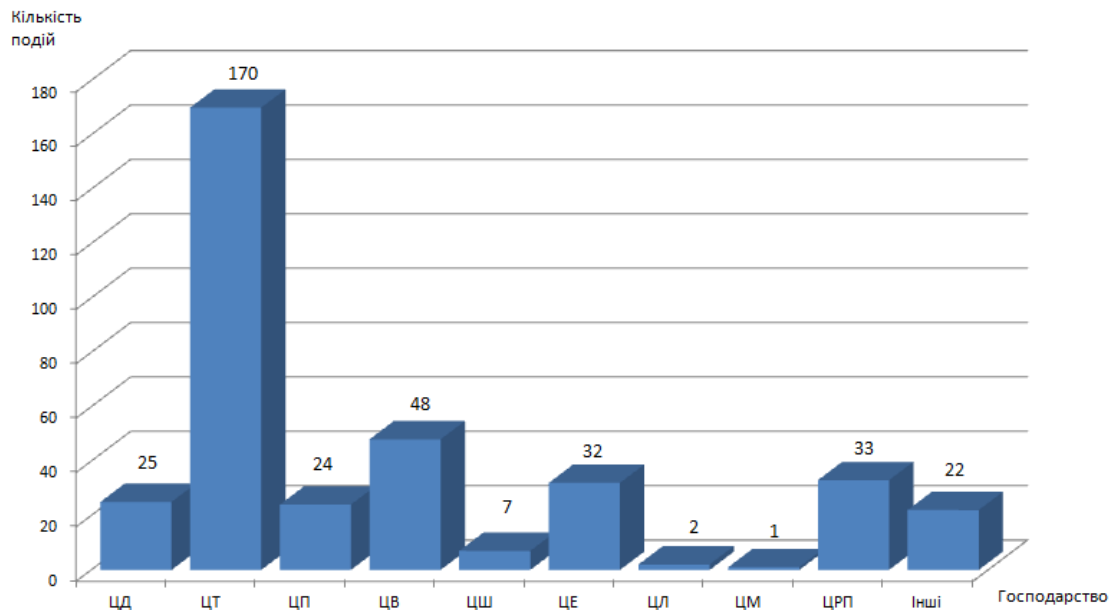


Рисунок 1.2 – Розподіл транспортних подій за господарствами
АТ «Укрзалізниця»

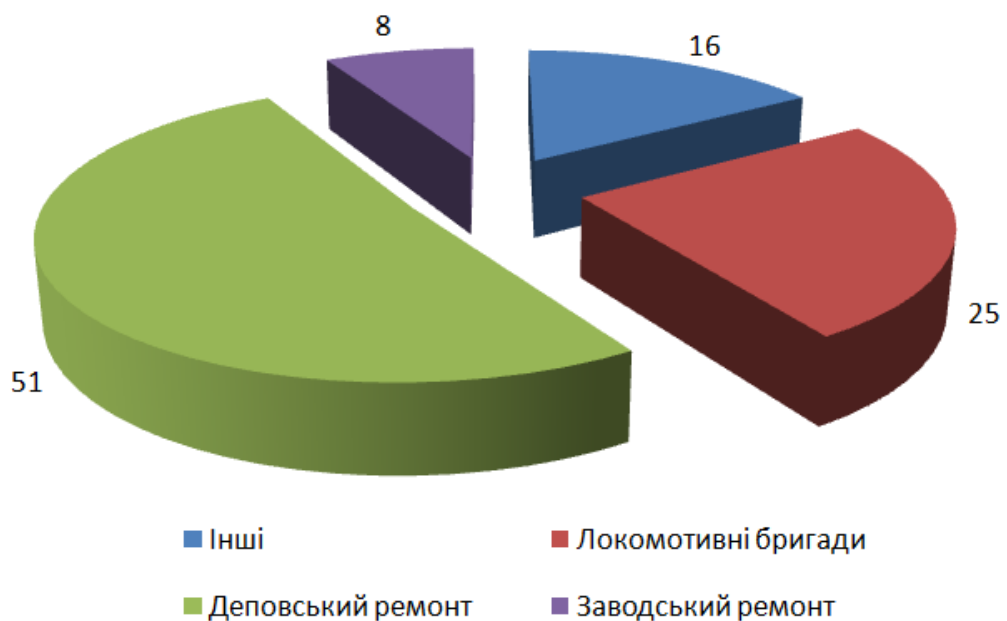


Рисунок 1.3 – Передумови виникнення транспортних подій

Результати аналізу відмов за видом обладнання наведено на рисунку 1.4.

В результаті аналізу можна зробити висновок про те, що при випуску локомотива в рейс недостатня увага приділяється визначенню фактичного технічного стану його вузлів, що призводить до відмови цього обладнання на шляху прямування.

У зв'язку з цим постає задача удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів з метою зниження кількості випадків відмов вузлів, підвищення рівня безпеки руху, надійності експлуатації локомотивів.

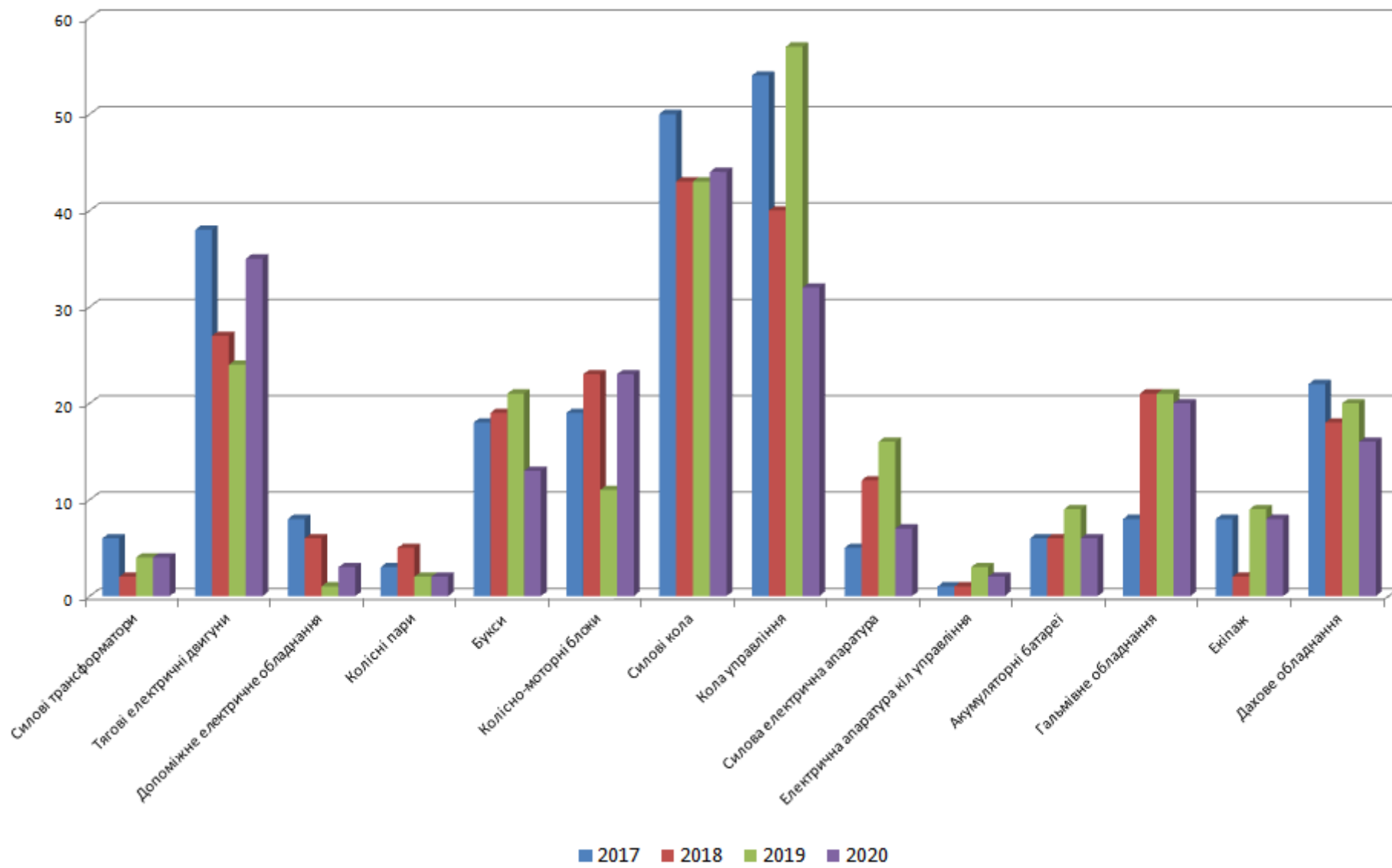


Рисунок 1.4 – Розподіл відмов за видами обладнання

1.2 Аналіз процесів передрейсової підготовки локомотивів

Передрейсова підготовка локомотивів є частиною планово-попереджувальної системи ремонту локомотивів, яка включає до себе наступні види технічного обслуговування та поточного ремонту:

1.1 Технічне обслуговування ТО-1, ТО-2, ТО-3, поточний ремонт ПР-1 – для попередження появи несправностей ТРС в експлуатації, підтримання його в працездатному і належному санітарно-гігієнічному стані, забезпечення безпечної експлуатації, пожежної безпеки та безаварійної роботи, а також заданого рівня комфортності пасажирських перевезень.

1.2 Технічне обслуговування ТО-4 – для обточування бандажів колісних пар (без викочування їх з-під локомотиву або моторвагонного рухомого складу) з метою підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребенів. Дозволяється об'єднувати обточування бандажів, плазмове загартування гребенів колісних пар і діагностування ТРС з виконанням технічного обслуговування ТО-2, ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1, ПР-2.

1.3 Технічне обслуговування ТО-5.

ТО-5а – підготовка (консервація) ТРС для постановки в запас Укрзалізниці та резерв залізниці;

ТО-5б – підготовка (консервація) ТРС до відправлення в недіючому стані на капітальні ремонти на заводи або до інших депо, в поточний ремонт до інших депо своєї чи інших залізниць, передачі на баланс інших депо або передислокації;

ТО-5в – підготовка (розконсервація) до експлуатації після побудування, ремонту на заводах або в інших депо після передислокації;

ТО-5г – підготовка (розконсервація) до експлуатації перед видачею локомотивів із запасу Укрзалізниці або резерву залізниці.

ТО-5 враховується згідно з нормативами трудомісткості та тривалості, що затверджені залізницею окремо за видами призначення ТО-5 і типах ТРС.

1.4 Технічне обслуговування ТО-6 – виконання регламентних робіт з продовження терміну служби несучих конструкцій. Дозволяється об'єднувати ТО-6 з проведенням виконання технічного обслуговування ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1, ПР-2, ПР-3.

1.5 Поточний ремонт ПР-2 та ПР-3 – для забезпечення справності ТРС, відновлення основних експлуатаційних характеристик та забезпечення їх стабільності в міжремонтний період виконанням ревізії, ремонту, заміни груп деталей, вузлів та агрегатів, регулювання та випробувань, а також часткової модернізації.

Система планово-попереджувального ремонту має ряд недоліків, основним з яких є те, що локомотиви однієї серії розглядаються як однотипні, з однаковими властивостями і для них встановлюються однакові значення пробігів перед постановкою на ремонт. При реалізації планово-попереджувальної системи ремонту кожному локомотиву проводяться суворо регламентовані роботи, направлені на відновлення або подовження працездатності вузлів. При цьому не враховується реальний технічний стан агрегатів, вузлів та деталей, не враховуються умови експлуатації локомотива та історія ремонтів його основного обладнання. Вважається, що всі однотипні локомотиви і вузли необхідно ремонтувати за однією і тією ж технологією, припускаючи, що за однаковий період пробігу стан всіх електровозів та їх вузлів змінюється приблизно однаково.

Насправді кожен вузол має свої індивідуальні особливості і властивості, які необхідно враховувати при проведенні ТО і ПР. При досягненні локомотивом пробігу, при якому виконується плановий ремонт зі зняттям і розбиранням вузлів існує ймовірність того, що вузол знаходиться в працездатному стані і може продовжувати роботу на локомотиві (рисунок 1.5).

Під ремонтним параметром розуміється параметр вузла, який безпосередньо впливає на його працездатність і надійність. Для електричних

апаратів і машин одним з ремонтних параметрів є опір ізоляції, для колісних пар – товщина гребеня.

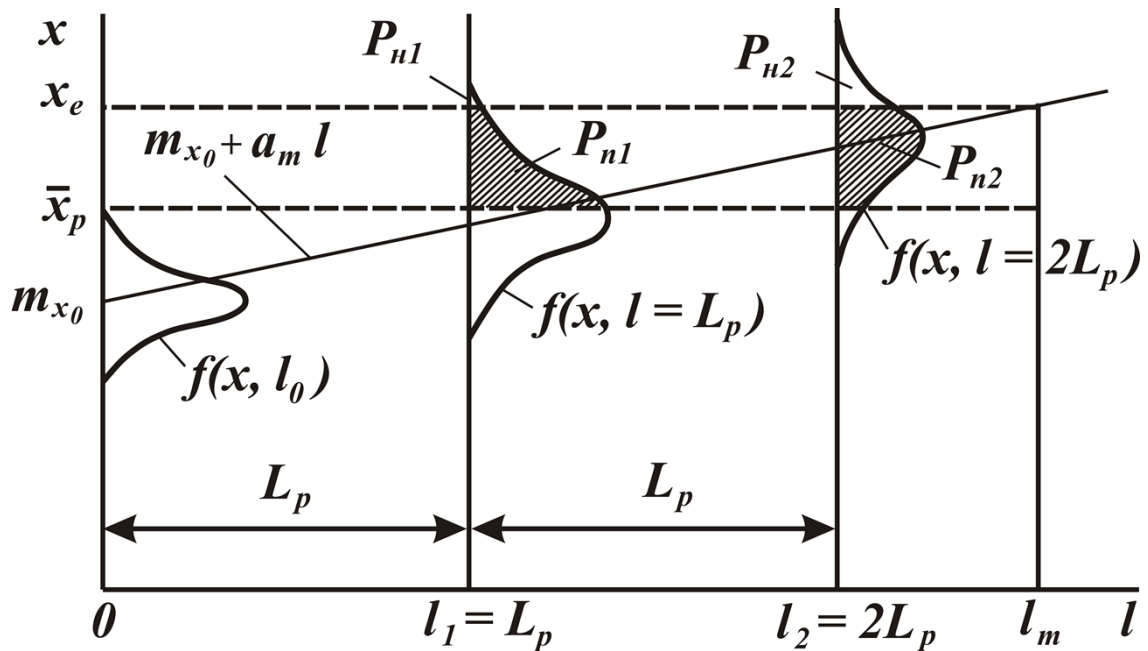


Рисунок 1.5 – Зміна ремонтного параметру вузла локомотива в експлуатації

Ймовірність того, що при досягненні локомотивом пробігу на один з видів ремонту ремонтний параметр будь-якого його вузла вийде за межі ремонтного допуску дорівнює:

$$P_{n1} = \int_{x_3}^{x_e} f(x, L_p) dx \quad (1.1)$$

Ймовірність того, що один з вузлів локомотива буде потребувати непланового ремонту дорівнює:

$$P_{n1} = \int_{x_y}^{\infty} f(x, L_p) dx \quad (1.2)$$

Тоді ймовірність того, що ремонтний параметр залишиться в полі допуску буде дорівнювати:

$$q_1 = 1 - P_{n1} - P_{n1} \quad (1.3)$$

Задачею передрейсової підготовки локомотивів являється визначення готовності конкретного локомотива для здійснення рейсу конкретної довжини по дільниці з конкретним профілем з поїздом конкретної ваги. Друга задача – визначення технічних параметрів вузлів локомотива з метою прогнозування їх подальшого стану в експлуатації, визначення рівня надійності і видачі рекомендацій про проведення ремонту.

Передрейсова підготовка локомотивів суміщається з планово-попереджувальною системою ремонту, може проводитися після будь-якого з видів ремонту, коли стає відомо, з яким поїздом по якому маршруту буде слідувати локомотив. Передрейсова підготовка локомотивів використовується для підготовки до переходу ремонту локомотивів за технічним станом.

Система управління передрейсовою підготовкою локомотивів включає в себе комплекс засобів та персонал, що працює з ним, для забезпечення працездатності локомотива перед виходом в рейс. На даний час система управління передрейсовою підготовкою локомотивів не достатньо забезпечена даними для ефективного проведення підготовки.

1.3 Аналіз можливих шляхів удосконалення процесів передрейсової підготовки

Удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою дозволить ефективніше експлуатувати рухомий склад, оперативно стежити за зміною його технічного стану, що допоможе знизити витрати локомотивного господарства та підвищити безпеку руху (рисунок 1.6).

Досягнення цілей можливе за умови розширення можливостей системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів щодо збору і обробки інформації про технічний стан вузлів. Надійність локомотива в експлуатації на пряму залежить від правильності рішення про комплекс робіт, які необхідно виконати перед його виходом в рейс. Прийняття рішення про об'єм робіт при проведенні підготовки залежить від кількості інформації, що надходить до технологів та ремонтного персоналу. Усунувши невизначеність щодо стану вузла локомотива перед заходом на передрейсову підготовку можна значно підвищити надійність локомотива.



Рисунок 1.6 – Цілі удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою

Ступінь невизначеності про стан вузлів визначається за формулою:

$$H(U) = -[p \log p + q \log q + (1 - p - q) \log(1 - p - q)], \quad (1.4)$$

де p - ймовірність того, що вузол буде потребувати ремонту;

q - ймовірність того, що вузол потребуватиме непланового ремонту;

$1 - p - q$ - ймовірність того, що вузол не потребуватиме ремонту.

Одним з напрямків удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою є підвищення інформованості технологів та ремонтного персоналу щодо стану вузлів локомотива перед заходом на передрейсову підготовку. Цього можна досягти збільшуючи кількість засобів технічної діагностики, які будуть знімати необхідні параметри обладнання. При цьому персонал, що буде працювати з ними, повинен пройти відповідне навчання для підвищення кваліфікації (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Основні напрями удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів

Очевидно, що при цьому потребує створення система, яка буде об'єднувати в собі показання від різних засобів технічного діагностування, проводити аналіз даних, створювати вибірки за запитом користувача, видавати рекомендації щодо потрібного об'єму робіт при проведенні передрейсової підготовки, вказувала на вузли, які потребують особливої уваги для забезпечення проведення поїзду без відмови вузлів на шляху прямування.

1.4 Аналіз робіт за напрямком дослідження

Велика частка відмов вузлів локомотивів на шляху прямування вимагає більшої уваги до підготовки локомотивів перед виходом в рейс та спостереження за його станом в експлуатації. Перед випуском локомотива на лінію необхідно переконатися в тому, що його технічний стан дозволяє здійснити рейс. Це стосується як локомотивів, що експлуатуються довгий час, так і нових локомотивів, що надходять на підприємства АТ “Укрзалізниця”. Інформація про технічний стан може бути отримана від бортових та стаціонарних засобів технічного діагностування. Аналіз цих даних, визначення рівня надійності локомотива та його спроможності провести поїзд є невід’ємною частиною передрейсової підготовки.

Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів окреслені в роботі В.Г. Пузиря [7, 8], виконаній в Українській державній академії залізничного транспорту. Теоретичні основи прийняття рішень в умовах невизначеності щодо технічного стану локомотива були розроблені в Українській державній академії залізничного транспорту під керівництвом Е.Д. Тартаковського, О.Б. Бабаніна [9-11].

Дослідження з питань удосконалення бортових систем діагностування проводилась у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту ім. В. Лазаряна під керівництвом Б.Є. Боднаря та А.А. Босова. Свій внесок у вирішення цієї проблеми зробили такі вчені як В.О. Браташ, В.П. Феоктістов, І.К. Лакін.

Роботи, присвячені визначенню надійності локомотивів проводилися в СНУ ім. В.Даля під керівництвом О.Л. Голубенка та В.П. Ткаченка. В цій галузі відомі роботи таких вчених як В.О. Четвергов, О.І. Володін, О.О. Воробйов, В.Г. Маслієв.

В розвиток систем діагностування та оптимізації системи утримання локомотивів вагомий внесок внесли Т.В. Бутько, Є.Є. Коссов, А.П. Кудряш, О.Б. Підшивалов та ін. [12].

Як показують дослідження О.В. Серова поява раптових відмов локомотивів може призвести до черги на неплановий ремонт при єдиному каналі обслуговування і гіперпуассоновському потоці. При цьому ймовірність виникнення черги значно вище, ніж при пуассоновському потоці з тим же математичним очікуванням [13, 14].

У роботах [15-18] вказано, що система технічного обслуговування об'єктів може бути найбільш ефективною, якщо ремонт передбачається по вимірюваних і статистичних прогнозуючих параметрах.

В роботі [19] розглянуті теоретичні та прикладні питання аналізу надійності та оптимізації тривалості роботи тепловозів між плановими ремонтами за мінімумом питомих витрат на ремонти. Також обгрунтовані принципи і моделі, які повинні лягати в основу методів оптимізації надійності і системи обслуговування локомотивів.

На підвищення надійності локомотивів направлений ряд досліджень з розробки та впровадження методів і засобів технічної діагностики.

В роботі [20] розроблені наукові основи створення електронного каталога-довідника по запасних частинах і запропоновані шляхи його впровадження. Однак в даній роботі інформаційна система розглядається лише як інструмент для обліку в системі матеріально-технічного постачання.

Аналіз наведених досліджень показав, що існує необхідність комплексного підходу із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Зокрема, потребує розробки інформаційна система, що дозволить зберігати дані від різних засобів технічного діагностування в одному місці та стежити за станом кожного конкретного локомотива.

Таким чином, науковим завданням, що вирішується в даній роботі є удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів шляхом впровадження електронного паспорту.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Виявлено, що причиною відмов обладнання локомотива на шляху прямування, що призводить в середньому до 80% транспортних подій є недостатнє визначення фактичного технічного стану локомотива перед виходом в рейс, тобто не контролюються параметри вузлів локомотива, які безпосередньо впливають на його надійність в експлуатації.

2. Основним недоліком існуючої системи управління технічним обслуговуванням, поточними ремонтами та передрейсовою підготовкою є підхід до локомотивів однієї серії як до однотипних машин. Однак, вузли локомотивів зношуються не однаково та відрізняються своїми фактичними технічними параметрами. Перед випуском локомотива в рейс необхідно звертати увагу на стан вузлів локомотива, який повинен його виконати, та їх фактичний технічний стан.

3. Визначення технічного стану вузлів локомотива необхідно проводити із застосуванням засобів технічної діагностики, які мають змогу накопичення і передачі даних. При цьому персонал, який буде працювати з ними повинен пройти відповідне навчання, а для зберігання даних від різних засобів технічної діагностики та їх обробки і представлення потребує створення відповідна інформаційна система, тобто електронний паспорт локомотива.

4. Аналіз робіт за напрямком дослідження показав, що існує необхідність комплексного підходу із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Зокрема, потребує розробки інформаційна система, що дозволить зберігати дані від різних засобів технічного діагностування в одному місці та стежити за станом кожного конкретного локомотива.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ ЛОКОМОТИВА

2.1 Розроблення структурної моделі електронного паспорту локомотива

Можливості сучасних інформаційних технологій дозволяють проводити збирання, зберігання та обробку великого об'єму даних, що недоступно при ручній технології.

В основі моделі, що пропонується, лежить уявлення про базу даних електронного паспорту як цілісну систему, що складається з фізичних об'єктів (суб'єктів), які мають певні властивості та приймають участь в різних подіях. Введемо наступні поняття.

Суб'єкт (S_i) – одиниця бази даних, що фізично існує. Наприклад, тяговий електричний двигун, швидкодіючий вимикач, гальмівний компресор, асинхронний електродвигун. Суб'єкти S_i створюють множину суб'єктів бази даних:

$$S_i = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_i, \dots\}. \quad (2.1)$$

Подія (E_m) – це якісний або кількісний перехід системи з одного стану в наступний (ремонт фрезерного верстату, побутових приміщень). Події створюють множину подій:

$$E = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_m, \dots\}. \quad (2.2)$$

Клас (C_j) – узагальнення за певною ознакою суб'єктів або подій. Приклади класів суб'єктів: механічне обладнання, електричне обладнання, електричні машини, електричні апарати. Приклади класів подій: ремонт електровозу, передача локомотиву в інше депо. Класи утворюють множину класів:

$$C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_j, \dots\}. \quad (2.3)$$

Суб'єкти S і події E належать одному і більше класам C_j :

$$S_i \in \{C_j, C_k, C_m, \dots\}, \quad (2.4)$$

$$E_m \in \{C_q, C_p, C_s, \dots\}. \quad (2.5)$$

Метаклас (M_q) – узагальнення класів, що починається з абстрактного метакласу – прабатька всіх метакласів і закінчується в кінці кожної гілки одним і більше класом C_j . Наявність ієрархії метакласів дозволяє комплексно проводити аналіз інформації на будь-якому рівні узагальнення.

Елемент (P_m) – складова частина об'єкту або класу. Для суб'єкту S_i елементи представляють собою впорядковану сукупність інших об'єктів, що входять до його складу:

$$P_i = \{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{imax}\}. \quad (2.6)$$

Для класів C_j елементи представляють собою сукупність множин зі своїми іменами, до складу яких входять класи об'єктів, що можуть бути даним компонентом [21]:

$$P_j = \{\{P_{j11}, P_{j12}, P_{j13}, \dots\}, \{P_{j21}, P_{j22}, P_{j23}, \dots\}, \{P_{j31}, P_{j32}, P_{j33}, \dots\}, \dots, \{P_{jmax1}, P_{jmax2}, P_{jmax3}, \dots\}\}. \quad (2.7)$$

Послідовність метакласів створює ієрархію властивостей БД. Кожен метаклас (крім абстрактного MS_0/ME_0) має одного і тільки одного предка. Потомків у кожного метакласу може бути будь-яка кількість, але не менше одного: кожна гілка ієрархії закінчується як мінімум одним класом C . В прикладі на рис.1 маються корінні метакласи: M_1, M_2, M_i, M_j . Від кожного з них породжуються свої метакласи. В прикладі на рис.1 – це метакласи M_{i1} ,

M_{i2}, \dots, M_{ik} , породжені від метакласу M_i , і метакласи $M_{j1}, M_{j2}, \dots, M_{jm}$, породжені від метакласу M_j . Закінчується кожна гілка кожна гілка ієрархії класами. На рисунку 2.1 – це класи суб'єктів $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$ та класи подій C_{j1}, \dots, C_{jp} . З наведеного прикладу видно, що різні гілки можуть мати різну кількість рівнів ієрархії і різну кількість класів.

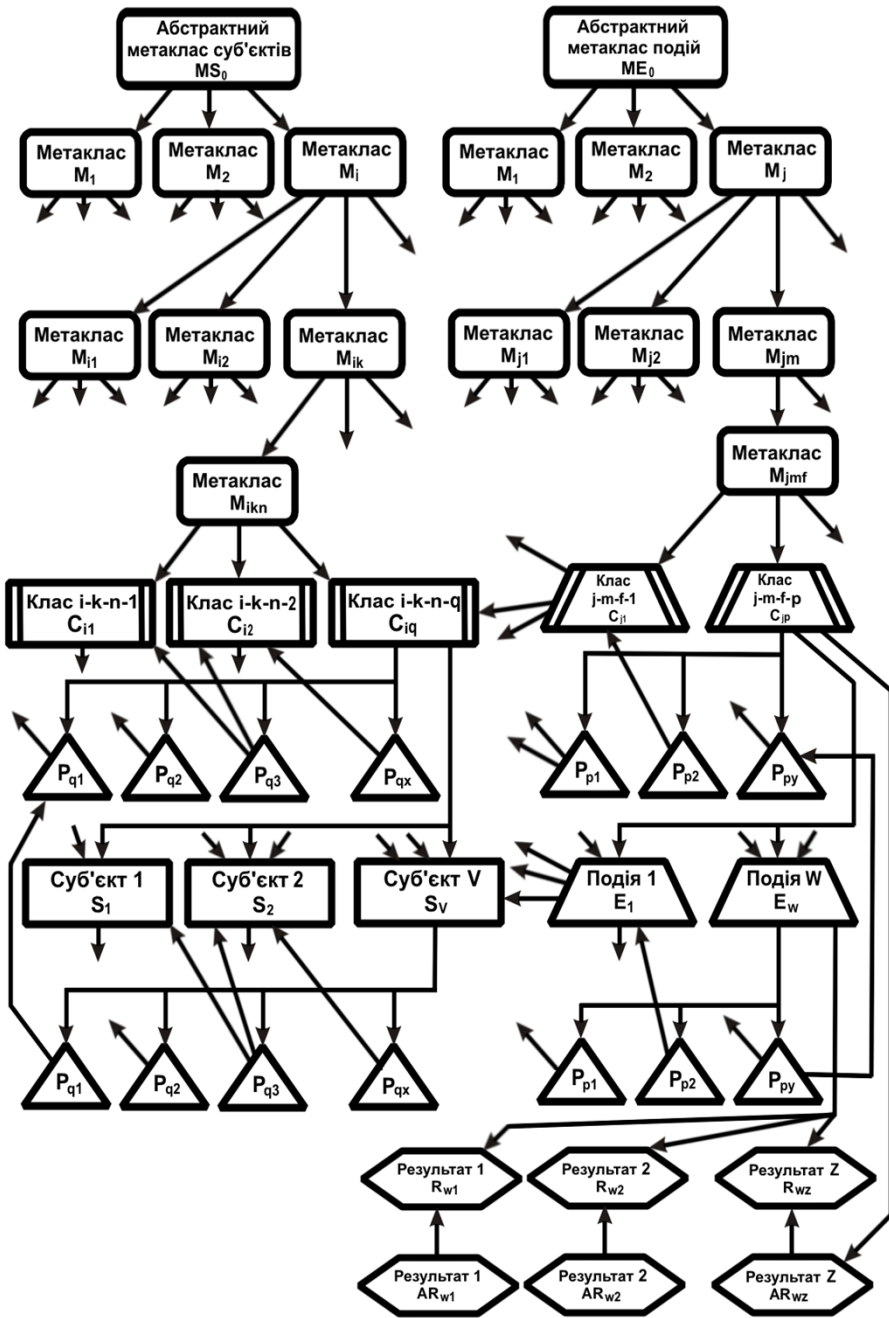


Рисунок 2.1 – Структура інформаційної моделі бази даних електронного паспорту локомотивного депо

Класи мають склад. На рисунку 2.1 клас суб'єктів C_{jq} складається з x елементів $P_q = \{P_{q1}, P_{q2}, P_{q3}, \dots, P_{qx}\}$. Клас подій складається з y елементів $P_p = \{P_{p1}, P_{p2}, \dots, P_{py}\}$. Кожен елемент складу класу вказує на один і більше інших класів, суб'єкти яких можуть бути вказаними елементами складу.

Суб'єкт, що породжується від класу, має ту ж структуру компонентів (склад). Однак кожен компонент вказує на конкретний суб'єкт, що входить до його складу.

Для врахування індивідуальних властивостей окремого локомотива при виконанні передрейсової підготовки пропонується застосовувати електронний паспорт локомотива, який представляє собою базу даних локомотивів та їх вузлів. При цьому локомотив розглядається як об'єкт, що має певні властивості і приймає участь у певних подіях. Кожен вузол також розглядається як окремий об'єкт зі своїми властивостями і подіями (рисунок 2.2).

Настання певної події призводить до зміни стану локомотива або вузла, що обов'язково відображається в електронному паспорті та призводить до оновлення бази даних. Наповнення бази даних електронного паспорта відбувається через засоби технічного діагностування (переносні, стаціонарні, вбудовані), а при їх відсутності – вручну.

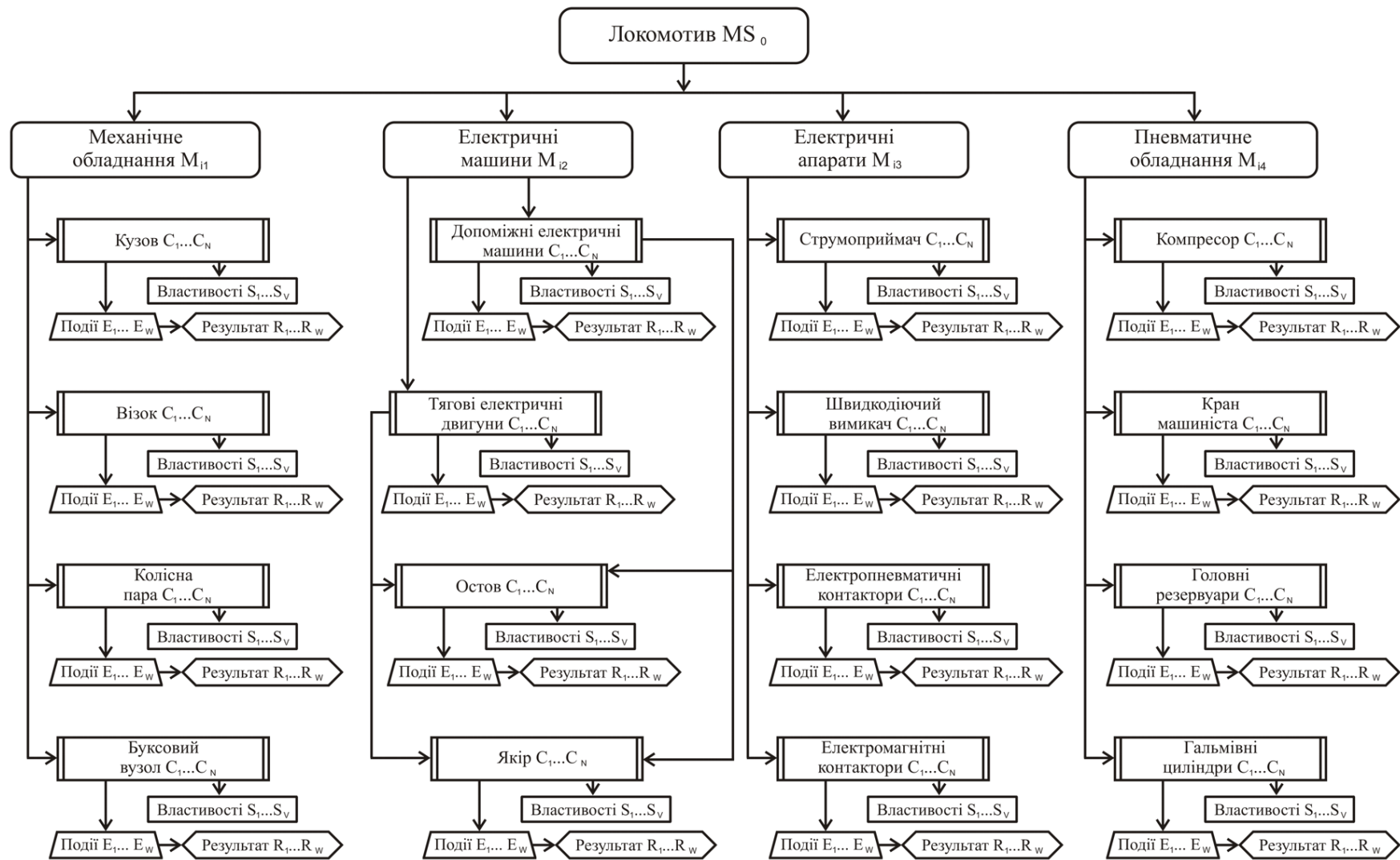


Рисунок 2.2 – Структурна модель електронного паспорту локомотива

2.2 Використання електронного паспорту локомотива при плануванні та управлінні ремонтами

Регламент забезпечення ремонтного процесу передбачає декілька етапів планування: оперативного планування, оперативного управління, контролю виконання робіт, а також роботи, що безпосередньо не пов'язані із проведенням ремонтного циклу, але необхідні для підготовки проведення ремонтних робіт. Такі як створення технологічних маршрутів, технологічних карт на окремі технологічні операції і групи операцій, а також коригування існуючих технологічних процесів з урахуванням нових розроблених пристосувань, вимірювальної апаратури, засобів вбудованої бортової і стаціонарної діагностики, змін конструкції рухомого складу. Для полегшення прийняття управлінських рішень пропонується використовувати електронний паспорт локомотива.

Технологічний регламент ремонту передбачає планування об'ємів робіт на довгостроковий та середньостроковий періоди, а також коригування цих планів, виходячи з поточної ситуації на лінійному підприємстві. Планування об'ємів ремонту здійснюється виходячи з норм на міжремонтні пробіги локомотивів, норм часу на міжремонтні цикли експлуатації, результати діагностування рухомого складу, аналізу виходу з ладу обладнання, історії ремонту даної одиниці рухомого складу, а також середньодобових пробігів локомотивів на лінійному підприємстві. Здійснює планування ремонту головний технолог і представляє цю інформацію на розгляд ТЧЗР і службу локомотивного господарства, де цей графік коригують. Виходячи із затвердженого графіка проведення ремонту та інформації про витрату запасних частин і змащувальних матеріалів на проведення регламентних робіт, складається заявка на графік і об'єми поставок запасних частин, змащувальних і додаткових матеріалів (рисунок 2.3).

При створенні автоматизованої системи управління ремонтом локомотивів необхідно передбачити автоматизацію складання сітьового графіка ремонту рухомого складу, з можливістю коригування графіка ремонту як технологом так і заступником начальника депо з ремонту; автоматичне представлення складеного графіка ремонту в службу локомотивного господарства і його отримання після узгодження; автоматизоване формування заявок на поставку запасних частин і змащувальних матеріалів, а також автоматичний контроль за виконанням поставок.

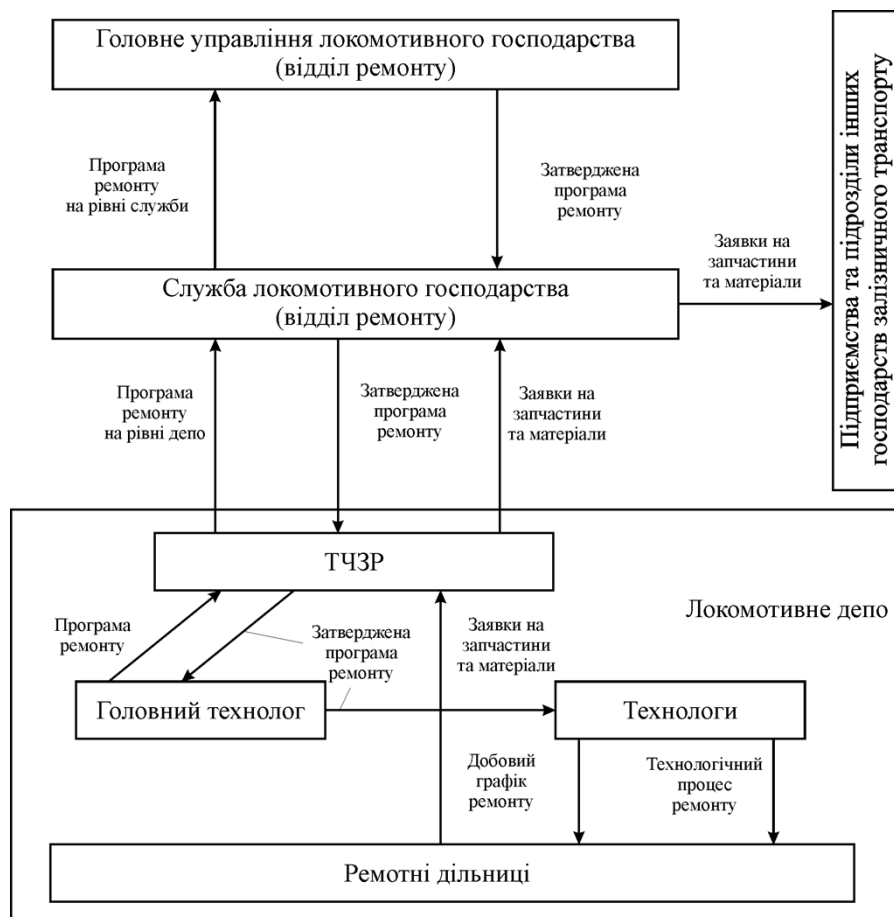


Рисунок 2.3 – Планування і управління ремонтом ТРС

Система оперативного управління ремонтом призначена для оптимізації процесу ремонту по часу і матеріальним ресурсам, необхідних

для проведення запланованих об'ємів робіт в основних дільницях підприємства. Одним з методів, на яких може бути засноване функціонування автоматизованої системи управління ремонтом є застосування сітьових графів роботи ремонтного персоналу в межах робочої зміни підприємства, а також в забезпеченні керуючих робітників локомотивного депо інформацією про роботу ремонтних дільниць в реальному масштабі часу.

Метою створення системи є зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з ремонтом рухомого складу, за рахунок оптимізованого розподілу робочого часу ремонтного персоналу і матеріальних ресурсів підприємства. Облік собівартості різних робіт та їх тривалості дозволить більш чітко розподіляти норми часу і вартість технологічних операцій з метою підвищення зацікавленості ремонтного персоналу в результатах своєї праці, а також підвищення відповідальності за свою працю [22, 23].

На рисунку 2.4 зображено послідовність дій при виконанні ремонтів локомотивів. У кожному блоці записано назву операції, а також відповідального виконавця. З рисунка видно, що формування електронного паспорта здійснюється після успішного приймання локомотива.

Електронний паспорт локомотива повинен містити в собі інформацію про кожен встановлений на ньому вузол та агрегат (коли був встановлений, які характеристики має), інформацію про пробіги, проведені ремонти, дати проведення ремонтів, простої в ремонті, відображати весь життєвий цикл електровозу. В ньому фіксуються всі заходи електровоза в депо, всі проведені операції із зазначенням дати і часу їх проведення, а також прізвища особи, яка проводила ремонт. Електронний паспорт локомотива повинен бути доступним для працівників служби локомотивного господарства, працівників Департаменту локомотивного господарства, а також керівництва депо. Доступ до електронного паспорта здійснюється за допомогою паролів.

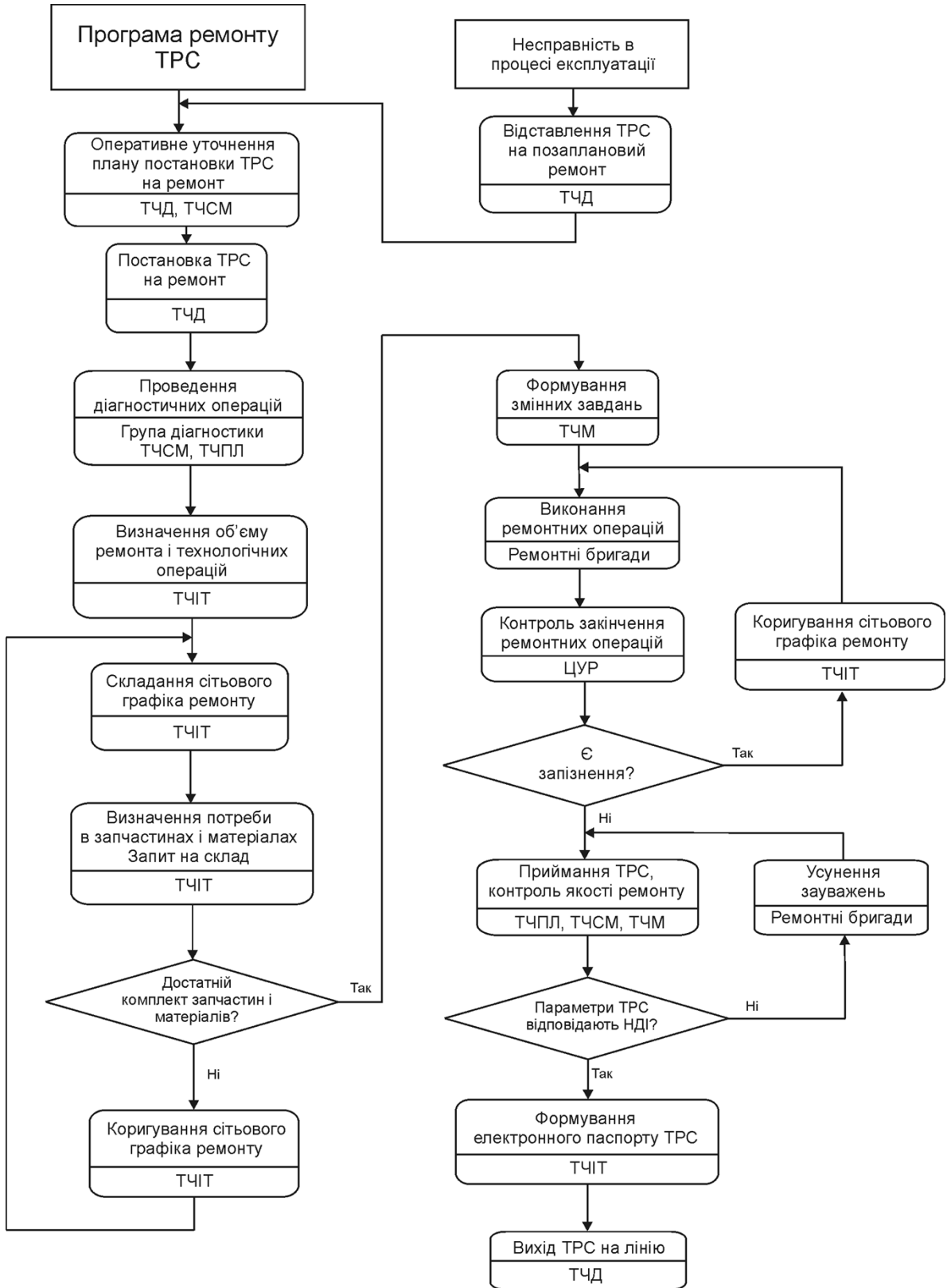


Рисунок 2.4 – Алгоритм ремонтного процесу в локомотивному депо при використанні електронного паспорта локомотива

Не всі користувачі мають право вносити зміни до паспорту локомотива, деякі користувачі можуть лише переглядати дані без можливості коригування. Це необхідно для збереження даних від несанкціонованого доступу, щоб змінювати дані могли лише особи, які відповідають за виконання певних операцій. Наприклад, працівники відділення з ремонту гідрогасників коливачів можуть вносити зміни лише по гідрогасниках коливачів(коли який знятий і коли який поставлений), і не мають права редагувати будь-які інші дані.

Електронний паспорт локомотива включає до себе електронні паспорти обладнання, встановленого на ньому. Всі зміни стосовно конкретного обладнання заносяться на ділянки, в якій проводиться ремонт. Інформація про це обладнання зберігається в базі даних на протязі всього його життєвого циклу. Тобто можна буде переглянути інформацію про вузол (агрегат) по кожному ремонту (з якого локомотива (секції) був знятий, як змінювались характеристики, з якими несправностями прийшов на ремонт вузол, дата ремонту, прізвище особи, яка проводила ремонт, які роботи були проведені, дата виходу з ремонту, на який локомотив (секцію) був встановлений (або, якщо був відправлений на склад – дата відправлення на склад, скільки знаходився на складі і коли та на який локомотив (секцію) був встановлений)).

Електронний паспорт локомотива пов'язаний з електронним паспортом депо. В паспорті депо відображається загальна кількість локомотивів по серіях, які пройшли ремонт відповідного об'єму. Електронний паспорт депо вказує на технологічні можливості депо щодо проведення ремонтів (наявність необхідних площ та обладнання). На основі даних електронних паспортів депо і локомотивів можна буде складати плани (програми) ремонту, спираючись на дані зайнятості ремонтних ділянок (з паспорту депо) та пробігів локомотивів (з паспорту локомотива). Завжди можна буде подивитись, яка ділянка вільна, на якій ділянці проводиться ремонт

локомотива, на якій дільниці яке обладнання з якого локомотива ремонтується.

Електронний паспорт локомотива та його основних вузлів і агрегатів необхідно застосовувати разом із системами (засобами) бортової технічної діагностики. Сигнали з цих засобів про відхилення від нормальної (оптимальної, із заданими характеристиками) роботи будь-якого вузла відразу заноситься до паспорта цього вузла і якщо ця несправність перешкоджає безпеці руху приймається рішення про непланову заміну даного вузла.

Використання електронного паспорта дозволить оперативно відстежувати стан тягового рухомого складу, що спростить процес прийняття рішень при управлінні ремонтом [24].

2.3 Моделювання інформаційних процесів при застосуванні електронного паспорта

Для обґрунтування доцільності створення або модернізації інформаційної системи використовують кількісні оцінки характеристик інформаційних процесів. Вони можуть бути отримані двома способами: за допомогою експерименту або на основі побудови та аналізу математичної моделі інформаційного процесу, що реалізується існуючою системою. Аналіз інформаційних процесів шляхом побудови їх математичних моделей має суттєву перевагу у порівнянні з безпосередньою експериментальною оцінкою. Побудована модель дозволить оцінити характеристики інформаційних процесів і в новій системі, яка тільки створюється, в якій будуть іншими, наприклад, інтенсивності потоків повідомлень, характеристики окремих операцій і т.д. [25, 26].

Математична модель описує інформаційний процес на мові математичних і логічних відношень, тобто у вигляді алгебраїчних або диференціальних рівнянь, систем рівнянь, логічних операторів і т.д.

Звичайно процедура аналізу інформаційного процесу починається з його словесного опису, далі переходять до моделі графічної, а від графічної – до математичної [27].

Логічна схема інформаційного процесу – це графічна модель, призначена для оцінки часових характеристик. Поєднання логічної схеми з правилами подання інформаційного процесу набором типових елементів і моделями розрахунку часових характеристик типових елементів – це модель математична.

Проблемою використання для аналізу інформаційних процесів їх математичних моделей є проблема правильності (адекватності) вибраної моделі. Перевірити адекватність моделі можна, зіставляючи результати розрахунків за моделлю з результатами експерименту над реальною системою.

Логічні схеми призначені для оцінки часових характеристик інформаційних процесів: часу завершення (при детермінованій моделі), середнього часу та дисперсії часу завершення процесу (при імовірнісних моделях, які містять елементи невизначеності).

При оцінці часових характеристик несуттєві відомості про те, де, коли та за допомогою яких засобів реалізується та чи інша операція. Необхідно знати характеристики тривалості виконання операції і правила, що визначають характер їх чергування.

Інформаційний процес роботи електронної версії паспорта локомотивного депо складається з таких операцій:

- введення та передача інформації до бази даних (часові витрати T_1 , що включають до себе перевірку правильності даних, при якій із імовірністю p_1 виявляються помилки);

- виявлення типу помилки (часові витрати T_2);
- у випадку, якщо помилка відноситься до типу 1 (ймовірність p_2), видається повідомлення про необхідність виправити помилку вручну (часові витрати T_3);
- у випадку, якщо помилка відноситься до типу 2 (ймовірність $p_3 = 1 - p_2$), її виправлення здійснюється автоматично (часові витрати T_4);
- у випадку, якщо при перевірці помилки не було виявлено (ймовірність $p_4 = 1 - p_1$), а також при виправленні помилки типу 2, дані запам'ятовуються (часові витрати T_5) [28-30].

Знайдемо середню тривалість такого інформаційного процесу. Для цього побудуємо модель цього процесу у вигляді логічної схеми (рисунок 2.5).

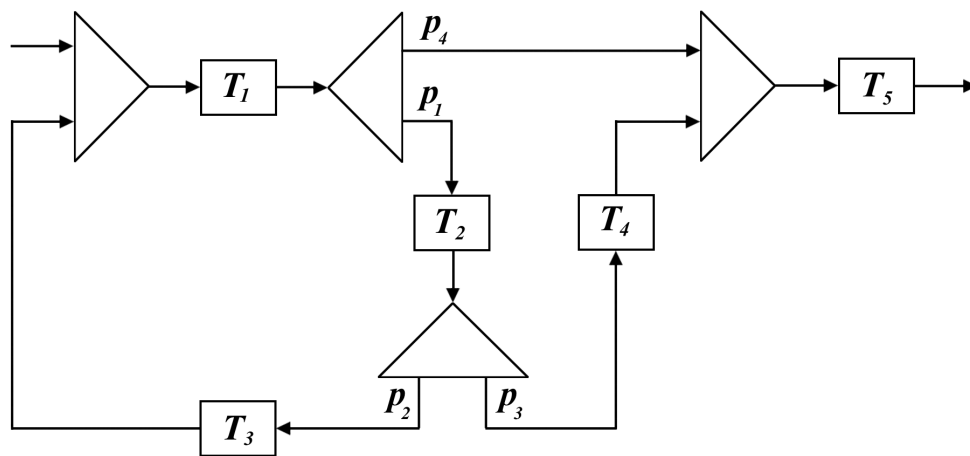


Рисунок 2.5 – Логічна схема інформаційного процесу роботи електронного паспорта депо

Для того, щоб подати модель цього процесу у вигляді з'єднання типових елементів, необхідно виконати деякі перетворення. По-перше, продублювати операцію 2 (часові витрати T_2), представивши її один раз в циклі, а другий – у схемі галуження (рисунок 2.6, а). По-друге, об'єднати два

виходи розгалужувача і ввести додатковий розгалужувач на вході системи галуження (рисунок 2.6, б). Ймовірності виходів на цьому розгалужувачі знаходяться з умови рівності їх суми одиниці.

З рисунку 2.6, в видно, що загальна тривалість інформаційного процесу буде дорівнювати сумі тривалостей операцій “цикл” та “схема галуження” і тривалості запам’ятовування даних.

$$m_T = m_{\text{ц}} + m_2 + T_5. \quad (2.8)$$

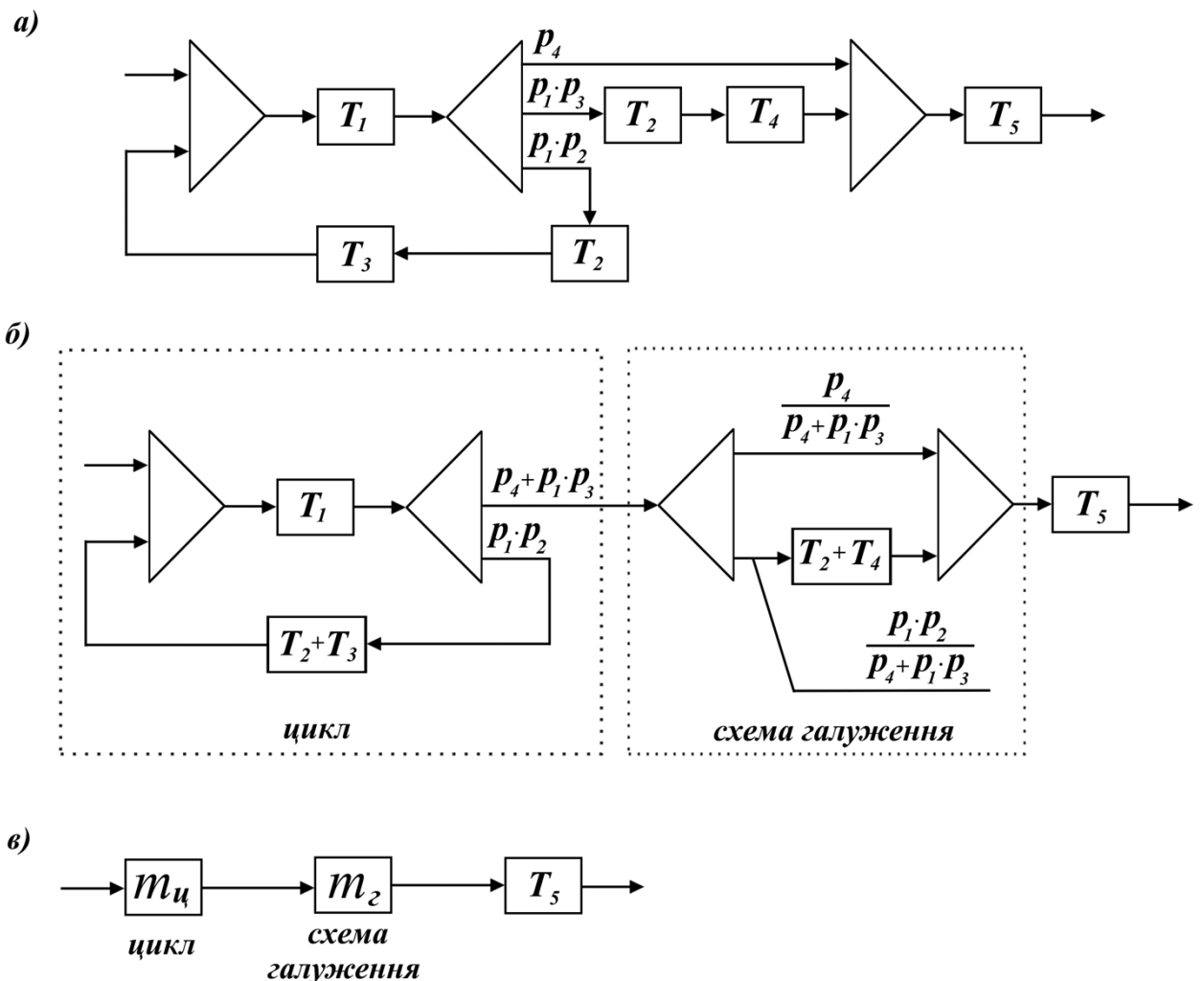


Рисунок 2.6 – Перетворення логічної схеми інформаційного процесу роботи електронного паспорта депо

Тривалість операції “цикл” розраховується за формулою:

$$m_T = \frac{m_i + p_{i+1} \cdot m_{i+1}}{p_i}. \quad (2.9)$$

Для схеми, зображеної на рис. 2,б, тривалість операції “цикл” буде дорівнювати:

$$m_u = \frac{T_1 + p_1 \cdot p_2 (T_2 + T_3)}{p_4 + p_1 \cdot p_3}. \quad (2.10)$$

Тривалість операції “схема галуження” розраховується за формулою:

$$m_T = \sum_{i=1}^n p_i \cdot m_i. \quad (2.11)$$

Для схеми, зображеної на рис. 2,б, тривалість операції “схема галуження” буде дорівнювати:

$$m_2 = \frac{p_1 \cdot p_3}{p_4 + p_1 \cdot p_3} (T_3 + T_4). \quad (2.12)$$

Підставляючи отримані значення в (1), отримуємо:

$$m_T = \frac{T_1 + p_1 \cdot p_2 (T_2 + T_3)}{p_4 + p_1 \cdot p_3} + \frac{p_1 \cdot p_3}{p_4 + p_1 \cdot p_3} (T_3 + T_4) + T_5. \quad (2.13)$$

Запропонована модель інформаційного процесу роботи електронного паспорта дозволяє отримати часові характеристики процесу, а саме розрахувати його тривалість. Це дозволить кількісно оцінити часові витрати на ведення електронної версії паспорта локомотива. [31]

2.4 Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива

Ремонт рухомого складу в локомотивних депо є досить складним процесом, який потребує суворого дотримання технології, чіткої організації і контролю. Під час ремонту обладнання, вузли та деталі локомотива підлягають зняттю з локомотива та ремонту не залежно від їх реального технічного стану. До того ж облік зняття і постановки на локомотив на даний час в локомотивних депо ведеться не для всіх видів обладнання. Для оптимізації об'єму ремонту і простою локомотивів необхідно, щоб перед кожною постановкою локомотива в ремонт проводилося діагностування його основних вузлів і збереження результатів в електронному паспорті локомотива. Описати процес функціонування такої системи можливо, застосувавши модель типу мережі Петрі.

Мережі Петрі розроблені в 60-ті роки 20-го століття німецьким математиком К.А. Петрі. В наступні роки апарат мереж Петрі інтенсивно розвивався зусиллями великої групи вених (Peterson J.L., Holt A., Dennis J. та ін.) [32-40].

Виконуючи експлуатаційну роботу локомотив періодично заходить в депо, де проводиться діагностування його технічного стану за допомогою засобів технічного діагностування. Після обробки результатів діагностування робиться висновок про можливість подальшої експлуатації або необхідність виконання ремонту. Результати кожного діагностування зберігаються в електронному паспорті локомотива У разі, якщо локомотив потребує ремонту, проводиться аналіз пробігу та визначення об'єму робіт, і локомотив ставиться на один з видів ремонту. В цей час в електронному паспорті фіксується зміна стану локомотива зі справного на несправний. Перехід у справний стан відбувається після виконання всіх ремонтних робіт.

Відремонтований локомотив виходить на лінію і продовжує експлуатаційну роботу до наступного заходу в депо на діагностування.

Для мережі Петрі, що проектується та описує процес експлуатації та ремонту рухомого складу застосовуються наступні події (переходи):

- початок діагностування (перехід t_1);
- обробка результатів діагностування (перехід t_2);
- виконання планового виду ремонту (перехід t_3);
- виконання непланового виду ремонту (перехід t_4);
- виконання заводського ремонту (перехід t_5);
- відправлення локомотива на лінію (перехід t_6);
- термін заходу в депо (перехід t_7).

Мережі Петрі представляються за допомогою графа $G(V, A)$,

де V – множина вершин графа;

A – множина направлених дуг.

Множина вершин графа V утворюється двома підмножинами, які називаються позиціями (place) – P і переходами (transition) – T . Позиції зіставляються дискретним станам об'єктів, які досліджуються (умовам), а переходи – процесам (подіям, операціям, діям), в результаті яких об'єкт переходить з одного стану в інший.

Структура мереж Петрі задається набором $N(P, T, J, O)$, де P – непушта кінцева множина позицій, T – непушта кінцева множина переходів, J – вхідна матриця інцидентності, O – вихідна матриця інцидентності. Елементи матриці J вказують на можливості переходу від елементів множини P до елементів T . Аналогічно елементи матриці O вказують на можливість переходу від вершин T до вершин P .

Крапка, розміщена у колі, що відображає позицію, вказує на наявність маркера в даній позиції. Кількість крапок визначає кількість маркерів в позиції. Кількість і положення маркерів в мережі Петрі може змінюватися. Переміщення маркерів по мережі відображає переходи об'єкта, що

досліджується із стану в стан. При задачі мережі завжди вказується початкове маркування. Зміна маркування відбувається в результаті виконання переходів.

Умови (позиції), які відповідають мережі Петрі, яка описує процес експлуатації та ремонту рухомого складу:

- локомотив зайшов в депо (позиція p_1);
- отримано результати діагностування (позиція p_2);
- локомотив знаходиться в несправному стані, пробіг відповідає нормативному (позиція p_3);
- локомотив знаходиться в несправному стані, пробіг менший за номінальний (позиція p_4);
- локомотив знаходиться в несправному стані, пробіг відповідає заводському ремонту (позиція p_5);
- локомотив знаходиться в справному стані (позиція p_6);
- локомотиву виконано плановий ремонт (позиція p_7);
- локомотиву виконано неплановий ремонт (позиція p_8);
- локомотиву виконано заводський ремонт (позиція p_9);
- локомотив виконує експлуатаційну роботу (позиція p_{10}).

Маркування мереж Петрі задається функцією M , яка відображає множину невід'ємних цілих чисел. Якщо позиції мережі Петрі пронумерувати, то маркування мережі зручно представити у вигляді n -мірного вектора $M(P) = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, значення координат якого m_1, \dots, m_n дорівнюють кількості маркерів у відповідних позиціях.

Множина P мережі Петрі, яка описує процес ремонту і експлуатації рухомого складу в загальному виді (рис. 1) містить 10 елементів, множина T – 7 елементів, початкове маркування:

$$M_0 = \{m_1^{(0)}, m_2^{(0)}, m_3^{(0)}, m_4^{(0)}, m_5^{(0)}, m_6^{(0)}, m_7^{(0)}, m_8^{(0)}, m_9^{(0)}, m_{10}^{(0)}\} = \{1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}. \quad (2.14)$$

Вхідна матриця інцидентності:

$$J(P,T) = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

Вихідна матриця інцидентності:

$$O(T,P) = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

Аналіз побудованої мережі можна провести за допомогою побудови дерева досяжності. Деревом досяжності називається орієнтований граф, вершинами якого є елементи множини $R(M_0)$, тобто множини маркувань, що досягаються із M_0 . Для початкового маркування визначаються дозволені переходи і нові маркування, що з'являються при спрацюванні цих переходів. Для мережі Петрі, зображеної на рисунку 2.7 перехід t_1 дозволений, оскільки $m_1^{(0)} - J(p_1, t_1) = 1 - 1 \geq 0$. Після спрацювання переходу t_1 маркування першого рівня буде мати вигляд:

$$M_1 = \{m_1^{(1)}, m_2^{(1)}, m_3^{(1)}, m_4^{(1)}, m_5^{(1)}, m_6^{(1)}, m_7^{(1)}, m_8^{(1)}, m_9^{(1)}, m_{10}^{(1)}\} = \{0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}. \quad (2.17)$$

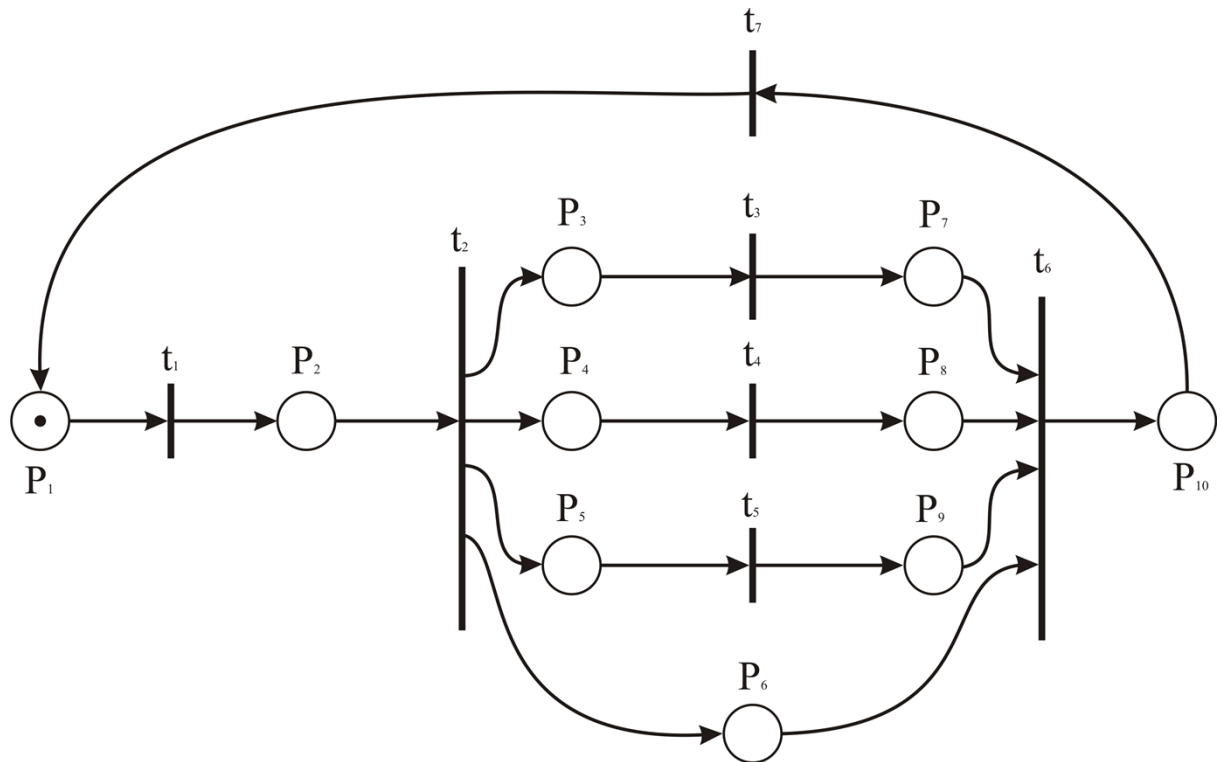


Рисунок 2.7 – Мережа Петрі, яка описує процес експлуатації та ремонту рухомого складу

Для маркування першого рівня дозволеним переходом є перехід t_2 . Після його спрацювання можливо чотири варіанти маркування в залежності від виконання умов. Побудова дерева досяжності завершується після спрацювання переходу t_7 , тому що наступним рівням галуження будуть відповідати дублюючі маркування, тобто такі, що вже будувалися. Ці маркування не породжують нових маркувань, оскільки вони були вже отримані при першій появі маркування, що дублюється (рисунок 2.8).

Кожне спрацювання будь-якого переходу змінює стан локомотива, що обов'язково повинно відображатися в електронному паспорті локомотива. Під час виконання діагностування визначаються основні параметри, що впливають на його технічний стан і безпеку руху. Значення параметрів передаються в базу даних електронного паспорта локомотива, де вони порівнюються з нормативними, і на основі цього аналізу робиться висновок про придатність локомотива до експлуатації, а у разі негативного результату

– формується перелік робіт, які необхідно виконати для відновлення працездатного стану. В електронному паспорті фіксуються всі постановки на будь-який вид ремонту, виконані роботи і випуск з ремонту.

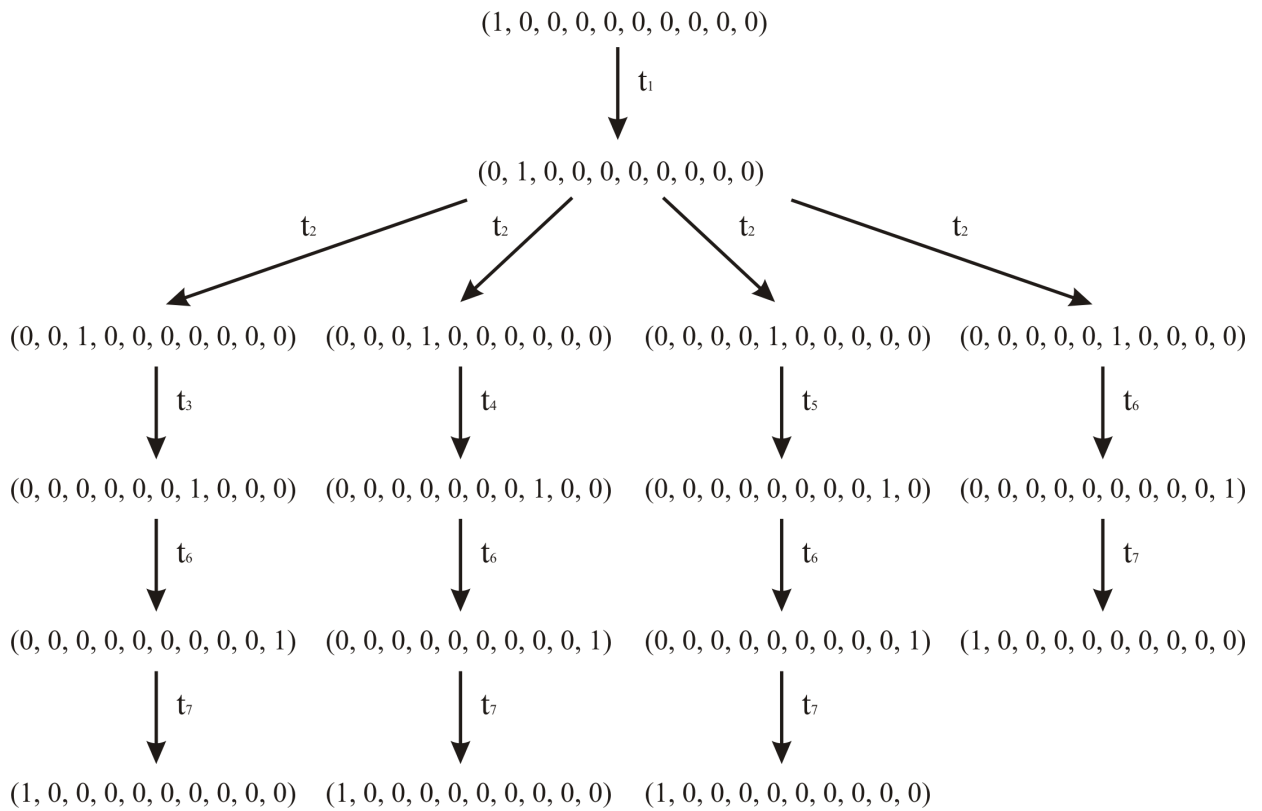


Рисунок 2.8 – Дерево досяжності для мережі Петрі, що описує процес ремонту і експлуатації рухомого складу в загальному вигляді

Електронний паспорт локомотива містить коди всіх основних деталей і вузлів, які на даний момент встановлені на ньому. Електронний паспорт зберігає параметри технічного стану вузлів, які безпосередньо впливають на безпеку руху і на надійність роботи локомотива.

За допомогою моделі можна визначити послідовність настання подій, що змінюють стан локомотива і наповнюють базу даних електронного паспорта локомотива.

Це дозволить автоматизувати облік проведених ремонтів локомотивів, зняття і встановлення на них обладнання, зберігати дані про його технічний стан і виміряні параметри, прогнозувати термін роботи до наступного

ремонту, скоротити час простою локомотива в ремонті, удосконалити систему ремонту [41].

2.5 Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики

Засоби бортової діагностики являються важливою ланкою в системі управління технічним станом та надійністю рухомого складу. Вони дозволяють здійснювати неперервний контроль якості експлуатації локомотива, оперативно виявляти та прогнозувати зміни його технічного стану без відриву від перевізного процесу.

Тому актуальними є задачі розробки методів оцінки технічного стану вузлів та агрегатів локомотивів на основі інформації бортових мікропроцесорних систем діагностики.

Основою будь-якого методу діагностування є діагностична модель об'єкту діагностування (ОД). Функціонування ОД в загальному випадку описується рівнянням:

$$Y = f(X, R, Q, \zeta), \quad (2.18)$$

де X – вектор відомих вхідних параметрів;

Y – вектор вихідних параметрів, що контролюються;

R – вектор конструктивних параметрів об'єкту;

Q – вектор параметрів технічного стану об'єкту;

ζ – вектор невизначених параметрів, що включає збуджуючі впливи, значення яких невідомі.

У випадку, коли не ставиться задача локалізації відмови, можливе використання спрощеної діагностичної моделі. В такому випадку може

використовуватись будь-яке параметричне сімейство функцій $y = f(w, x)$, що задає відображення:

$$f : W \times X \rightarrow Y, \quad (2.19)$$

де $w \in W$ – простір параметрів моделі (не пов'язане з простором параметрів ОД);

$x \in X$ – простір вільних змінних;

$y \in Y$ – простір залежних змінних.

В регресійних моделях (2.19) може задаватися рівнянням регресії, що зв'язує вектори X та Y . У якості математичного апарату для реалізації регресійних діагностичних моделей може застосовуватись апарат штучних нейронних мереж.

Об'єкт діагностування вважається працездатним, якщо отримане значення сумарної квадратичної помилки відгуку мережі S_d не перевершує допустиме значення помилки S_d^{don} , тобто виконується умова:

$$S_d \leq S_d^{\text{don}} \quad (2.20)$$

Величина допустимої помилки відгуку S_d^{don} визначається з урахуванням помилки S_n навчання моделі ОД, похибки датчиків, за допомогою яких вимірюється значення вхідних і вихідних параметрів ОД, а також властивостей (передаточної функції) ОД [42-43].

2.6 Математична модель зміни технічного стану локомотива в процесі експлуатації

Фактичний технічний стан локомотива в конкретний момент часу визначається ступенем відповідності значень параметрів його вузлів встановленим у нормативній документації. В процесі експлуатації параметри вузлів зазнають впливів різних факторів, які змінюють значення цих параметрів.

На справність вузлів локомотивів впливають як процеси ремонту так і процес експлуатації. Важливою задачею є визначення зміни значень параметрів, що характеризують поточний технічний стан локомотива після виконання ним кожного рейсу.

Зміну технічного стану локомотива можна преставити у вигляді системи, на вході якої діють векторні функції:

- умов експлуатації $S = [s_1(t), \dots, s_n(t)]$,
- управління $U = [u_1(t), \dots, u_m(t)]$,
- внутрішніх зв'язків $\Phi = [\varphi_1(t), \dots, \varphi_l(t)]$.

Функція $S(t)$ характеризує зовнішні впливи на локомотив: профіль ділянки, довжина плеча, вага поїзда, кліматичні умови та ін.

Функція $U(t)$ характеризує дії локомотивної бригади під час виконання рейсу.

Функція $\Phi(t)$ характеризує вплив на технічний стан локомотива старіння та зношення його вузлів.

Вихідна функція системи $Y = [y_1(t), \dots, y_k(t)]$ містить у собі значення параметрів, які відображають відповідність поточного технічного стану локомотива вимогам нормативної документації після впливу вхідних функцій $S(t)$, $U(t)$, $\Phi(t)$, тобто після виконання локомотивом рейсу.

При вимірюванні значень вихідних параметрів можуть виникати похибки. Вектор $Z = [z_1(t), \dots, z_q(t)]$ характеризує вплив похибок у процесі вимірювання.

Таким чином, вектор Y залежить від чотирьох аргументів:

$$Y = F_j(U, \Phi, S, Z), j = \overline{1, M} \quad (2.21)$$

Працездатність локомотива характеризується таким його технічним станом, при якому у даний момент часу параметри вектора Y знаходяться у межах, встановлених нормативно-технічною документацією:

$$y_j(U, \Phi, S, Z) \leq y_j^* \quad (2.22)$$

де y_j^* – допустиме значення j -го параметру, встановлене нормативно-технічною документацією.

Поточний технічний стан локомотива характеризується сукупністю значень параметрів, що контролюються:

$$Y = \sum_1^j \beta_j \cdot y_j, \quad (2.23)$$

де β – коефіцієнт, що визначається співвідношенням $\beta_j = \frac{dY}{dy_j}$.

Зміни параметрів локомотива, що контролюються, можуть бути за своїми властивостями розділені на два компоненти: зворотний і незворотний.

Зворотний компонент обумовлений існуванням ряду випадкових факторів і відображає вплив векторних функцій $S(t)$ і $U(t)$. За своїми властивостями зворотний компонент може розглядатися як випадкова

величина $V_j(t)$, де індексом j позначена належність даного компоненту j -му параметру, що контролюється.

Незворотний компонент обумовлений протіканням незворотних фізичних процесів всередині локомотива. До таких процесів, в першу чергу відносяться процеси старіння і зношення. Таким чином, незворотний компонент відображає вплив векторної функції $\Phi(t)$. Цей компонент називають детермінованим компонентом і позначають $f_j(t)$.

Тоді залежність j -го параметру від часу буде мати вигляд:

$$y_j(t) = f_j(t) + V_j(t) \quad (2.24)$$

В цілому математичну модель функції зміни стану локомотива можна записати:

$$Y(t) = \sum_1^j \beta_j \cdot y_j(t) = \sum_1^j \beta_j \cdot f_j(t) + \sum_1^j \beta_j \cdot V_j(t) = \sum_1^j \beta_j \cdot (f_j(t) + V_j(t)) \quad (2.25)$$

В результаті моделювання зміни технічного стану локомотива отримана функція, яка дає узагальнений опис процесів, що контролюються.

2.7 Висновки до розділу 2

1. Запропонована структурна модель електронного паспорту встановлює взаємозв'язок між подіями, в яких бере участь локомотив та його вузли, та зміною їх технічного стану. Зокрема, для локомотива із середньою кількістю вузлів 135, необхідно здійснити 1147 пошукових операцій, що при ручній технології досить складно та призводить до зайвих витрат часу.

2. Розроблено алгоритм ремонтного процесу в локомотивному депо при використанні електронного паспорта локомотива, що враховує моменти зміни бази даних і розмежування рівнів доступу.

3. Побудовано мережу Петрі, яка описує процес експлуатації та ремонту рухомого складу та за допомогою якої можна визначити послідовність настання подій, що змінюють стан локомотива і наповнюють базу даних електронного паспорта локомотива.

4. Запропоновано математичну модель технічного стану локомотива, яка у реальному часі враховує зміни технічних параметрів його вузлів та їх взаємозв'язок в процесі експлуатації, та дозволяє сформувати структурну схему його електронного паспорта

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДРЕЙСОВОЇ ПІДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ

3.1 Критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом

З існуючих методів прогнозування залишкового ресурсу найбільш ефективним є метод індивідуального прогнозування для конкретних типів обладнання. Хоча застосування даного методу вимагає певних витрат, пов'язаних з використанням діагностичних засобів, випробувального обладнання, техніки для обробки отриманої інформації, програмного забезпечення і побудови математичної моделі, проте ці витрати окупаються, враховуючи економічний ефект від отриманих результатів.

Складність проблеми прогнозу залишкового ресурсу обладнання пов'язана в першу чергу з розробкою принципів побудови алгоритму і опису математичної моделі прогнозу. Зазначена модель повинна представляти собою певну сукупність фізичних властивостей і характеру процесів деградації обладнання в часі за весь період експлуатації.

Для оцінки поточного технічного стану вузлів локомотива необхідна спеціальна методика, яка передбачає використання обсягу інформації, отриманого за результатами проведених спеціальних обстежень в період планово-попереджувальних ремонтів, технічного обслуговування та передрейсових підготовок. Така методика повинна бути оптимальна по трудовитратах на проведення обстежень обладнання, не суперечити чинним нормативним документам, а також дозволяти отримати кінцеві результати в зручному та доступному для широкого кола фахівців вигляді.

Методика спрямована в першу чергу на визначення здатності локомотива виконувати необхідні функції при виконанні рейсу. Оцінка

технічного стану обладнання локомотивів заснована на аналізі динаміки зміни визначальних параметрів, що характеризують необоротні зміни. [44-51]

Оцінку технічного стану конкретного локомотива після виконання рейсу пропонується здійснювати шляхом визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу (K_{MBP}), який обчислюється для кожного визначального параметра шляхом порівняння виміряного в даний момент часу значення цього параметра з початковим і граничним значеннями. Під початковими значеннями вимірюваних параметрів обладнання приймається значення, зазначені в паспортах і протоколах заводських випробувань. При відсутності таких значень в якості вихідних можуть бути прийняті значення параметрів, отримані при прийнятно-здавальних випробуваннях.

Коефіцієнт можливості виконання рейсу може бути обчислений за формулою:

$$K_{MBP} = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{P_{0i} - P_{Bi}}{P_{0i} - P_{Gi}} \quad (3.1)$$

де P_{0i} – початкове значення i -го визначального технічного параметра по заводському паспорту, або по прийнятно-здавальних випробуваннях;

P_{Bi} – виміряне значення i -го визначального параметра при проведенні технічного обслуговування або передрейсової підготовки;

P_{Gi} - граничне значення i -го визначального параметра, при якому експлуатація даного обладнання не припустима (за вимогами нормативних документів).

Повний діапазон, в якому може змінюватися визначає параметр, дорівнює значенню $P_{0i} - P_{Gi}$.

Діапазон зміни визначального параметра з моменту проведення вимірювань до досягнення ним граничного значення визначається виразом – $P_{Bi} - P_{Gi}$.

Відношення діапазону зміни визначального параметра з моменту проведення вимірювань до досягнення ним граничного значення до повного діапазону характеризує поточний технічний стан обладнання по i -му визначальному параметру

На початку експлуатації, коли значення визначального параметра дорівнює паспортному ($P_{0i} = P_{vi}$), $K_{мвр} = 1$.

По мірі виконання рейсів виміряне значення визначального параметра зменшується (збільшується) і при $P_{vi} = P_{гi}$ коефіцієнт $K_{мвр} = 0$.

Таким чином, можливість виконання рейсу локомотивом, що лімітується технічним станом обладнання по даному визначальному параметру пропонується оцінювати коефіцієнтом можливості виконання рейсу $K_{мвр}$, який змінюється в межах від 1 до 0.

Так як по кожному типу обладнання може бути кілька параметрів, що визначають його здатність до виконання функціонального призначення, загальний фактичний технічний стан визначається значенням мінімального коефіцієнта можливості виконання рейсу $K_{мвр}$ одного з параметрів (домінуючого коефіцієнта), значення якого максимально наближене до граничного в порівнянні з іншими визначальними параметрами.

Для більш точної оцінки залишкового ресурсу відстежується механізм динаміки зміни фактичного технічного стану локомотива за значеннями середньої швидкості зміни визначальних параметрів після виконання конкретного рейсу.

Середня швидкість зміни визначального параметра обстежуваного обладнання після виконання рейсу визначається за формулою

$$\gamma = \frac{P_{0i} - P_{ei}}{T} \quad (3.2)$$

де $P_{0i} - P_{ei}$ – різниця між початковим і вимірним при діагностуванні або технічному обслуговуванні значенням визначального параметра;

T – тривалість конкретного рейсу.

Отримавши, таким чином, швидкість зміни визначального параметра обладнання локомотивів після виконання рейсів з різними експлуатаційнимим параметрами можна враховувати ці дані при подальшій передрейсовій підготовці.

Знаючи, як впливають умови майбутнього рейсу на швидкість зміни визначального параметра кожного обладнання локомотивів, при проведенні передрейсової підготовки, коли будуть відомі параметри рейсів та парк локомотивів, які можуть їх виконати, можна буде виконати підбір локомотива для виконання роботи, враховуючи те, як зміняться значення параметрів вузлів локомотива після виконання рейсу.

При цьому, якщо розрахунки покажуть, що значення параметру, який критично впливає на безпеку руху, в результаті виконання рейсу може вийти за межі граничного, передбаченого нормативною документацією, локомотив не може бути допущений до виконання рейсу. Однак, цей локомотив можна відправити в рейс, експлуатаційні параметри якого меншою мірою вплинуть на зміну фактичного технічного стану його вузлів. Таким чином, можна досягти більш ефективної експлуатації парку локомотивів та зменшити кількість відмов в експлуатації.

У прикладі на рисунку 3.1 показано процес підбору рейса для локомотива, враховуючи зміну параметру вузла локомотива після виконання рейсу на основі попередніх поїздок. На момент проведення передрейсової підготовки локомотив виконав N рейсів і його можливо відправити на три ділянки.

У відповідності з процесом передрейсової підготовки було визначено значення параметру після виконання кожного з рейсів. Враховуючи параметри рейсів, було розраховано три значення коефіцієнтів можливості виконання рейсу ($K_{мвр1}$, $K_{мвр2}$, $K_{мвр3}$).

Після виконання розрахунків зроблено висновок, що локомотив може бути відправлений в рейси №1 і №2. Причому перевага надається рейсу №1, так як після його виконання значення параметри менше наблизиться до критичного. В рейс №3 локомотив відправляти не можна, так як після його виконання значення параметру вузла локомотива вийде за межі допустимого нормативною документацією.

Проведення всіх необхідних розрахунків виконується за допомогою алгоритму роботи електронного паспорту локомотива, в якому містяться результати замірів всіх важливих параметрів вузлів локомотивів. Алгоритм передбачає розрахунок швидкості зміни визначального параметра кожного обладнання локомотива з урахуванням параметрів виконаних рейсів з метою визначення в майбутньому коефіцієнта можливості виконання рейсу.

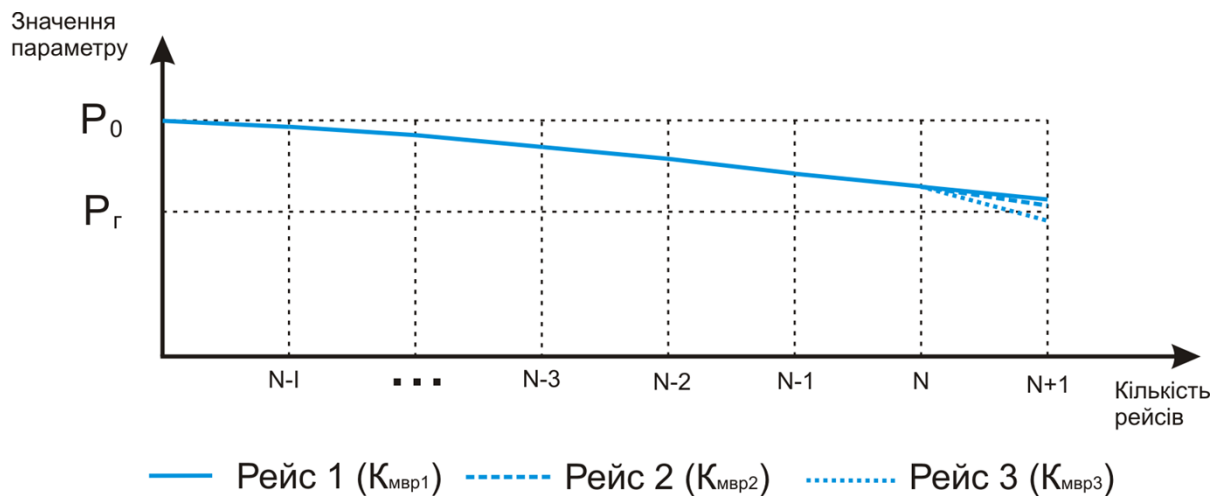


Рисунок 3.1 – Приклад підбору рейса для локомотива

Зміна фактичного технічного стану обладнання локомотивів багато в чому залежить від ряду факторів, таких як:

- профіль ділянки, на яку відправляється локомотив;
- вага поїзда, який необхідно провести;
- довжина ділянки, на яку відправляється локомотив;
- стаж членів локомотивної бригади;

- психофізіологічний стан членів локомотивної бригади;
- рівень технологічної оснащеності депо;
- рівень дотримання технології ремонту та ін.

3.2 Розроблення моделі процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту

Задачею передрейсової підготовки локомотивів є визначення можливості конкретного локомотива провести поїзд відомої ваги по ділянці відомого профілю і довжини. Тобто необхідно визначити, чи дозволяє фактичний технічний стан локомотива виконати конкретний рейс.

Дані про рейс від чергового по депо порівнюються з поточними властивостями локомотива і його вузлів і визначається значення коефіцієнту можливості виконання локомотивом рейсу без відмови обладнання, а також формується технологічний процес передрейсової підготовки (рисунок 3.2).

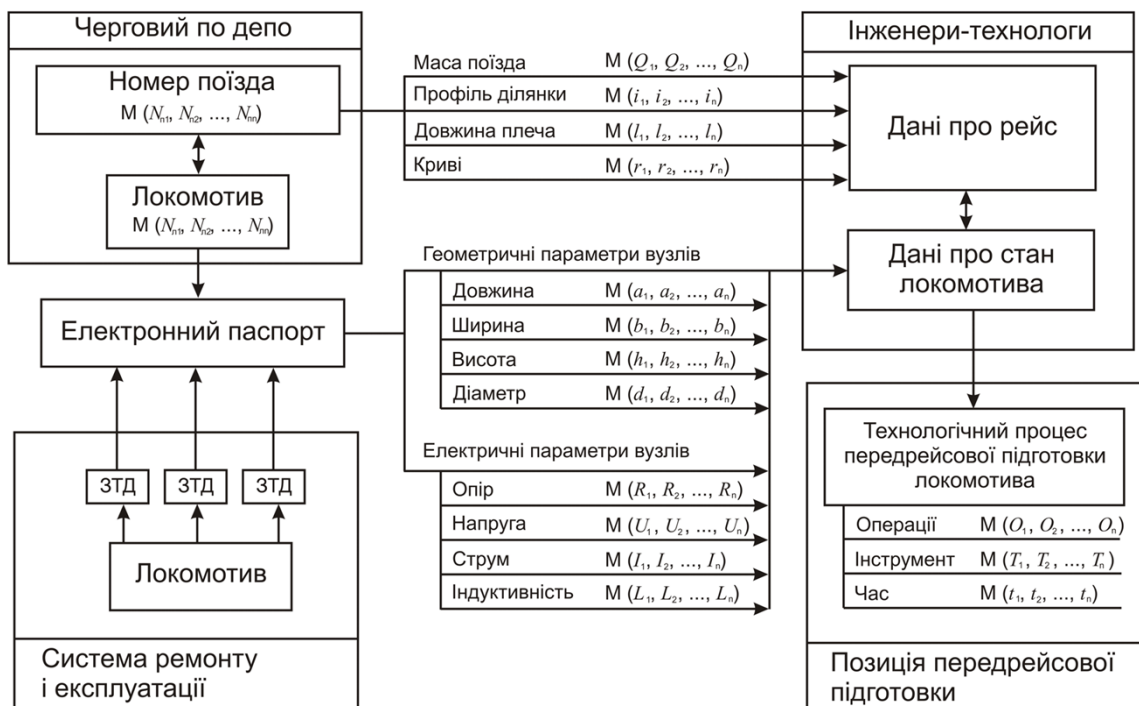


Рисунок 3.2 – Інформаційна модель процесу передрейсової підготовки локомотива із застосуванням електронного паспорту

Для визначення впливу електронного паспорта локомотива на процес передрейсової підготовки було побудовано граф станів процесу експлуатації локомотива (рисунок 3.3), записано та вирішено систему рівнянь Колмогорова (3.3) та отримано значення ймовірностей знаходження локомотива у кожному із станів.

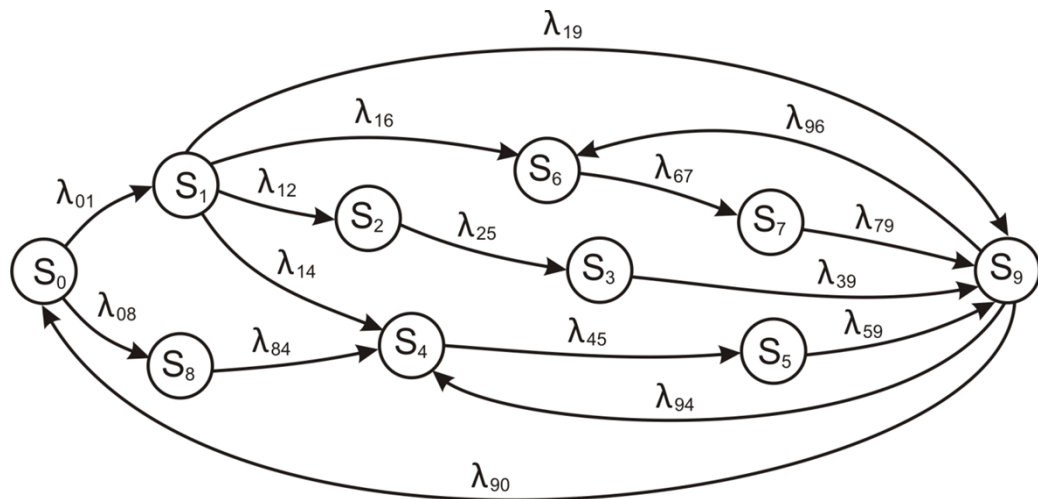


Рисунок 3.3 – Граф станів процесу експлуатації локомотива

Система може знаходитись у одному з десяти станів: S_0 – експлуатація, S_1 – діагностування, S_2 – постановка на ремонт, S_3 – випуск з ремонту, S_4 – постановка на неплановий ремонт, S_5 – випуск з непланового ремонту, S_6 – відправлення на заводський ремонт, S_7 – випуск із заводського ремонт, S_8 – відмова, S_9 – передрейсова підготовка.

Виконуючи експлуатаційну роботу локомотив періодично заходить в депо, де проводиться діагностування технічного стану його вузлів і агрегатів за допомогою засобів технічного діагностування та подальша передрейсова підготовка. Після обробки результатів діагностування робиться висновок про можливість подальшої експлуатації або необхідність виконання ремонту. Результати кожного діагностування зберігаються в електронному паспорті локомотива. У разі, якщо локомотив потребує ремонту, проводиться аналіз

пробігу та визначення об'єму робіт, і локомотив ставиться на один з видів ремонту. В цей час в електронному паспорті фіксується зміна стану локомотива зі справного на несправний. Перехід у справний стан відбувається після виконання всіх ремонтних робіт і випробувань. Відремонтований локомотив виходить на лінію і продовжує експлуатаційну роботу до наступного заходу в депо на діагностування [52-67].

Перехід із стану S_0 в стан S_1 відбувається під впливом потоку подій «Проведення діагностування». Середній час настання події дорівнює t_{01} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{01} = \frac{1}{t_{01}}$.

Перехід із стану S_0 в стан S_8 відбувається під впливом потоку подій «Відмова на шляху прямування». Середній час настання події дорівнює t_{08} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{08} = \frac{1}{t_{08}}$.

Перехід із стану S_1 в стан S_9 відбувається під впливом потоку подій «Захід на передрейсову підготовку». Середній час настання події дорівнює t_{19} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{19} = \frac{1}{t_{19}}$.

Перехід із стану S_1 в стан S_6 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення на заводський ремонт після діагностування». Середній час настання події дорівнює t_{16} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{16} = \frac{1}{t_{16}}$.

Перехід із стану S_1 в стан S_2 відбувається під впливом потоку подій «Постановка на ремонт після діагностування». Середній час настання події дорівнює t_{12} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{12} = \frac{1}{t_{12}}$.

Перехід із стану S_1 в стан S_4 відбувається під впливом потоку подій «Постановка на неплановий ремонт після діагностування». Середній час настання події дорівнює t_{14} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{14} = \frac{1}{t_{14}}$.

Перехід із стану S_8 в стан S_4 відбувається під впливом потоку подій «Постановка на неплановий ремонт після відмови». Середній час настання події дорівнює t_{84} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{84} = \frac{1}{t_{84}}$.

Перехід із стану S_2 в стан S_3 відбувається під впливом потоку подій «Випуск з ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{23} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{23} = \frac{1}{t_{23}}$.

Перехід із стану S_4 в стан S_5 відбувається під впливом потоку подій «Випуск з непланового ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{45} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{45} = \frac{1}{t_{45}}$.

Перехід із стану S_6 в стан S_7 відбувається під впливом потоку подій «Випуск із заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{67} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{67} = \frac{1}{t_{67}}$.

Перехід із стану S_3 в стан S_9 відбувається під впливом потоку подій «Захід на передрейсову підготовку після випуску з ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{39} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{39} = \frac{1}{t_{39}}$.

Перехід із стану S_7 в стан S_9 відбувається під впливом потоку подій «Захід на передрейсову підготовку після випуску із заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{79} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{79} = \frac{1}{t_{79}}$.

Перехід із стану S_5 в стан S_9 відбувається під впливом потоку подій «Захід на передрейсову підготовку після випуску з непланового ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{59} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{59} = \frac{1}{t_{59}}$.

Перехід із стану S_9 в стан S_6 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення на заводський ремонт після передрейсової підготовки». Середній час настання події дорівнює t_{96} , інтенсивність переходу дорівнює

$$\lambda_{96} = \frac{1}{t_{96}}.$$

Перехід із стану S_9 в стан S_4 відбувається під впливом потоку подій «Постановка на неплановий ремонт після передрейсової підготовки». Середній час настання події дорівнює t_{94} , інтенсивність переходу дорівнює

$$\lambda_{94} = \frac{1}{t_{94}}.$$

Перехід із стану S_9 в стан S_0 відбувається під впливом потоку подій «Перехід в експлуатацію після передрейсової підготовки». Середній час настання події дорівнює t_{90} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{90} = \frac{1}{t_{90}}$.

Для можливості застосування рівнянь Колмогорова було проведено дослідження потоків подій. Визначено, що закони розподілу часу переходів з одного стану в інший підпорядковані експоненціальному закону (рисунок 3.4).

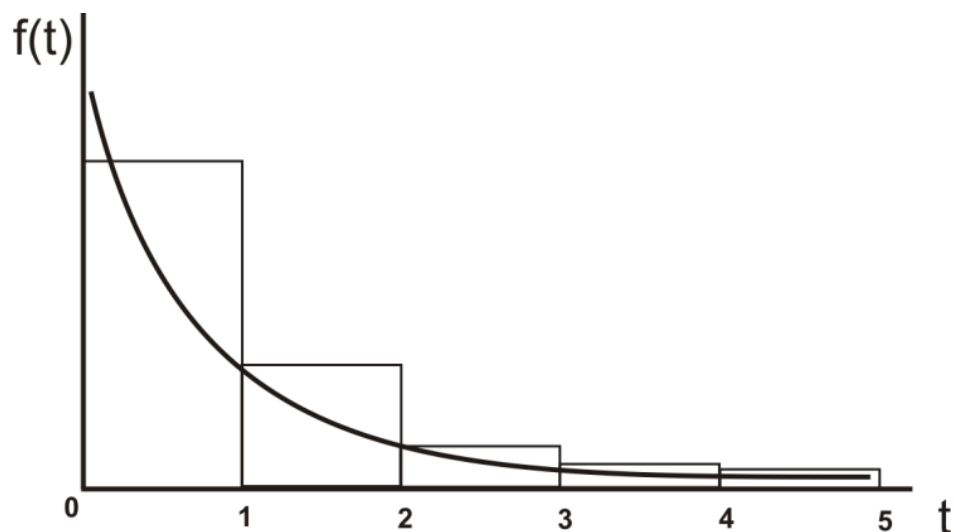


Рисунок 3.4 – Розподіл середнього часу настання подій, що призводять до зміни станів процесу експлуатації локомотива

$$\begin{cases}
 (\lambda_{01} + \lambda_{08}) \cdot p_0 = \lambda_{90} \cdot p_9 \\
 (\lambda_{19} + \lambda_{16} + \lambda_{14} + \lambda_{12}) \cdot p_1 = \lambda_{01} \cdot p_0 \\
 \lambda_{23} \cdot p_2 = \lambda_{12} \cdot p_1 \\
 \lambda_{39} \cdot p_3 = \lambda_{23} \cdot p_2 \\
 \lambda_{45} \cdot p_4 = \lambda_{14} \cdot p_1 + \lambda_{84} \cdot p_8 + \lambda_{94} \cdot p_9 \\
 \lambda_{59} \cdot p_5 = \lambda_{45} \cdot p_4 \\
 \lambda_{67} \cdot p_6 = \lambda_{16} \cdot p_1 \\
 \lambda_{79} \cdot p_7 = \lambda_{67} \cdot p_6 \\
 \lambda_{84} \cdot p_8 = \lambda_{08} \cdot p_8 \\
 p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 = 1
 \end{cases} \quad (3.3)$$

Отримано наступні результати: ймовірність знаходження локомотива в стані передрейсової підготовки при використанні електронного паспорту збільшується з 0,12 до 0,21. При цьому ймовірність знаходження локомотива в стані експлуатації збільшується з 0,45 до 0,6, а ймовірність відмови на шляху прямування зменшується з 0,15 до 0,05 (рисунк 3.5).

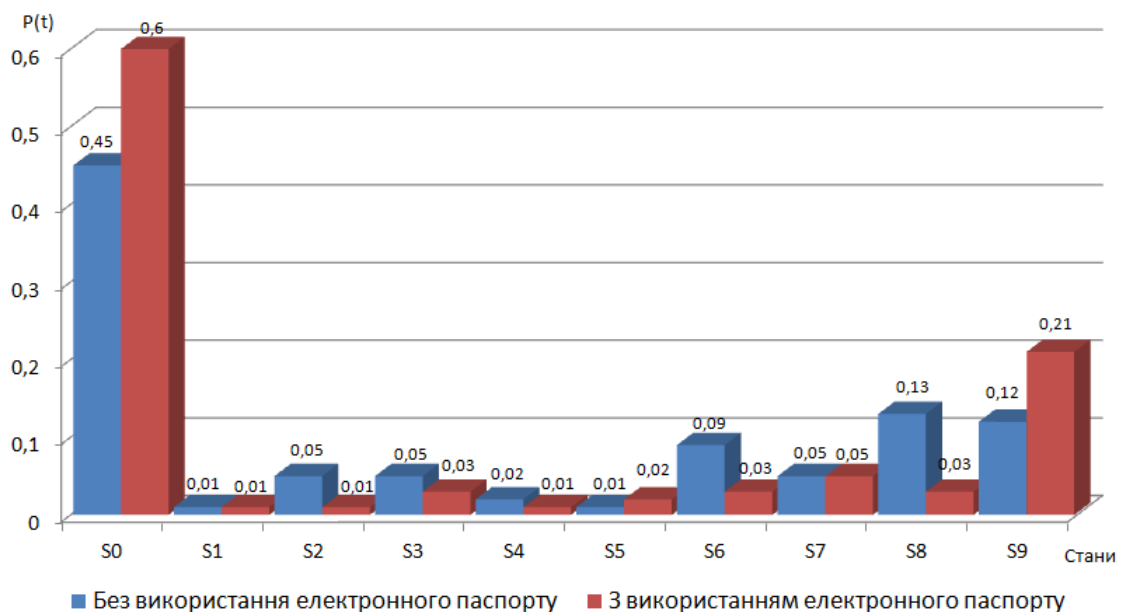


Рисунок 3.5 – Діаграма розподілу ймовірностей станів процесу експлуатації локомотива

Також було побудовано граф-модель станів процесу експлуатації вузлів локомотива (рисунок 3.6), записано та вирішено систему рівнянь Колмогорова (3.4) для станів вузлів локомотива та отримано значення ймовірностей знаходження вузлів локомотива у кожному із станів.

Для об'єкту “вузол” були обрані наступні події: робота на локомотиві, діагностування, зняття з локомотива, постановка на ремонт, випробування, випуск з ремонту, відправлення в технологічний запас, встановлення на локомотив, постановка на неплановий ремонт, випуск з непланового ремонту, відправлення на заводський ремонт, отримання із заводського ремонту, надходження, списання, відмова.

Кожен вузол після зняття його з локомотива, що обов'язково фіксується в електронному паспорті, надходить у відповідне відділення. У відділенні проводять його діагностування, щоб визначити необхідність розбирання та об'єм ремонту. Після проведених ремонтних робіт та випробувань справні вузли або встановлюються на локомотив, або переходять в технологічний запас депо. Також фіксуються постановка і випуск з непланових та заводських ремонтів, купівля нових вузлів та списання тих, що відпрацювали свій ресурс.

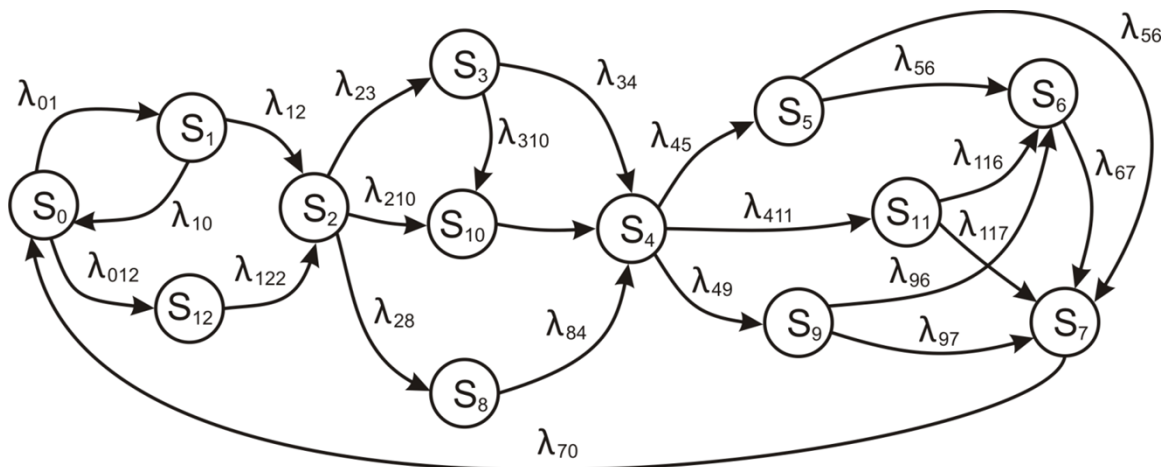


Рисунок 3.6 – Граф станів системи процесу експлуатації вузла
ЛОКОМОТИВА

Інформація для заповнення електронного паспорту отримується від засобів технічної діагностики, як бортових (в експлуатації), так і переносних і стаціонарних під час ремонту та технічного обслуговування.

Перехід із стану S_0 в стан S_1 відбувається під впливом потоку подій «Передрейсова підготовка». Середній час настання події дорівнює t_{01} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{01} = \frac{1}{t_{01}}$.

Перехід із стану S_0 в стан S_{12} відбувається під впливом потоку подій «Відмова на шляху прямування». Середній час настання події дорівнює t_{012} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{012} = \frac{1}{t_{012}}$.

Перехід із стану S_{12} в стан S_2 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення на заводський ремонт після діагностування». Середній час настання події дорівнює t_{122} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{122} = \frac{1}{t_{122}}$.

Перехід із стану S_2 в стан S_3 відбувається під впливом потоку подій «Постановка на ремонт після зняття з локомотива». Середній час настання події дорівнює t_{23} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{23} = \frac{1}{t_{23}}$.

Перехід із стану S_2 в стан S_{10} відбувається під впливом потоку подій «Відправлення на заводський ремонт». Середній час настання події дорівнює t_{210} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{210} = \frac{1}{t_{210}}$.

Перехід із стану S_2 в стан S_8 відбувається під впливом потоку подій «Постановка на неплановий ремонт». Середній час настання події дорівнює t_{28} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{28} = \frac{1}{t_{28}}$.

Перехід із стану S_3 в стан S_{10} відбувається під впливом потоку подій «Відправлення на заводський ремонт». Середній час настання події дорівнює t_{310} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{310} = \frac{1}{t_{310}}$.

Перехід із стану S_3 в стан S_4 відбувається під впливом потоку подій «Випробування». Середній час настання події дорівнює t_{34} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{34} = \frac{1}{t_{34}}$.

Перехід із стану S_6 в стан S_7 відбувається під впливом потоку подій «Випуск із заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{67} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{67} = \frac{1}{t_{67}}$.

Перехід із стану S_8 в стан S_4 відбувається під впливом потоку подій «Випробування після проведення заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{84} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{84} = \frac{1}{t_{84}}$.

Перехід із стану S_{10} в стан S_4 відбувається під впливом потоку подій «Випробування після проведення непланового ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{104} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{104} = \frac{1}{t_{104}}$.

Перехід із стану S_4 в стан S_5 відбувається під впливом потоку подій «Випуск з ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{45} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{45} = \frac{1}{t_{45}}$.

Перехід із стану S_4 в стан S_{11} відбувається під впливом потоку подій «Отримання із заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{411} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{411} = \frac{1}{t_{411}}$.

Перехід із стану S_4 в стан S_9 відбувається під впливом потоку подій «Випуск з непланового ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{49} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{49} = \frac{1}{t_{49}}$.

Перехід із стану S_5 в стан S_6 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення в технологічний запас після випуску з ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{56} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{56} = \frac{1}{t_{56}}$.

Перехід із стану S_5 в стан S_7 відбувається під впливом потоку подій «Встановлення на локомотив після ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{57} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{57} = \frac{1}{t_{57}}$.

Перехід із стану S_6 в стан S_7 відбувається під впливом потоку подій «Встановлення на локомотив із технологічного запасу». Середній час настання події дорівнює t_{67} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{67} = \frac{1}{t_{67}}$.

Перехід із стану S_{11} в стан S_6 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення в технологічний запас після заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{116} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{116} = \frac{1}{t_{116}}$.

Перехід із стану S_{11} в стан S_7 відбувається під впливом потоку подій «Встановлення на локомотив після заводського ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{117} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{117} = \frac{1}{t_{117}}$.

Перехід із стану S_9 в стан S_6 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення в технологічний запас після непланового ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{96} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{96} = \frac{1}{t_{96}}$.

Перехід із стану S_9 в стан S_7 відбувається під впливом потоку подій «Встановлення на локомотив після непланового ремонту». Середній час настання події дорівнює t_{97} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{97} = \frac{1}{t_{97}}$.

Перехід із стану S_9 в стан S_0 відбувається під впливом потоку подій «Робота на локомотиві після встановлення». Середній час настання події дорівнює t_{70} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{70} = \frac{1}{t_{70}}$.

Перехід із стану S_1 в стан S_0 відбувається під впливом потоку подій «Відправлення на заводський ремонт». Середній час настання події дорівнює t_{10} , інтенсивність переходу дорівнює $\lambda_{10} = \frac{1}{t_{10}}$.

Для можливості застосування рівнянь Колмогорова було проведено дослідження потоків подій. Визначено, що закони розподілу часу переходів з одного стану в інший підпорядковані експоненціальному закону (рисунок 3.7).

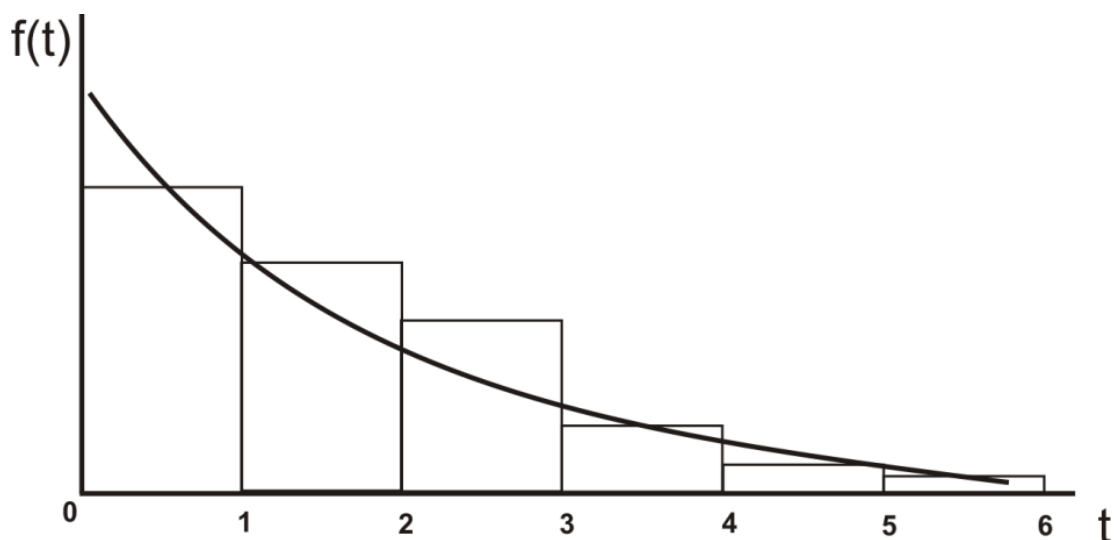


Рисунок 3.7 - Розподіл середнього часу настання подій, що призводять до зміни станів процесу експлуатації локомотива

$$\left\{ \begin{array}{l}
 (\lambda_{01} + \lambda_{012}) \cdot p_0 = \lambda_{70} \cdot p_7 \\
 (\lambda_{12} + \lambda_{10}) \cdot p_1 = \lambda_{01} \cdot p_0 \\
 (\lambda_{23} + \lambda_{28} + \lambda_{210}) \cdot p_2 = \lambda_{12} \cdot p_1 + \lambda_{122} \cdot p_{12} \\
 (\lambda_{34} + \lambda_{310}) \cdot p_3 = \lambda_{23} \cdot p_2 \\
 (\lambda_{45} + \lambda_{49} + \lambda_{411}) \cdot p_4 = \lambda_{34} \cdot p_3 + \lambda_{84} \cdot p_8 + \lambda_{104} \cdot p_{10} \\
 (\lambda_{56} + \lambda_{57}) \cdot p_5 = \lambda_{45} \cdot p_4 \\
 \lambda_{67} \cdot p_6 = \lambda_{56} \cdot p_5 + \lambda_{96} \cdot p_9 + \lambda_{116} \cdot p_{11} \\
 \lambda_{70} \cdot p_7 = \lambda_{57} \cdot p_5 + \lambda_{67} \cdot p_6 + \lambda_{117} \cdot p_{11} \\
 \lambda_{84} \cdot p_8 = \lambda_{28} \cdot p_2 \\
 (\lambda_{96} + \lambda_{97}) \cdot p_9 = \lambda_{49} \cdot p_4 \\
 \lambda_{104} \cdot p_{10} = \lambda_{210} \cdot p_2 + \lambda_{310} \cdot p_3 \\
 (\lambda_{116} + \lambda_{117}) \cdot p_{11} = \lambda_{411} \cdot p_4 \\
 p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 + p_{10} + p_{11} + p_{12} = 1
 \end{array} \right. \quad (3.4)$$

Отримано наступні результати: ймовірність знаходження вузла в стані “Робота на локомотиві” при використанні електронного паспорту збільшується з 0,57 до 0,69. При цьому ймовірність знаходження локомотива в стані експлуатації збільшується з 0,45 до 0,6, а ймовірність відмови зменшується з 0,08 до 0,02 (рисунок 3.8).

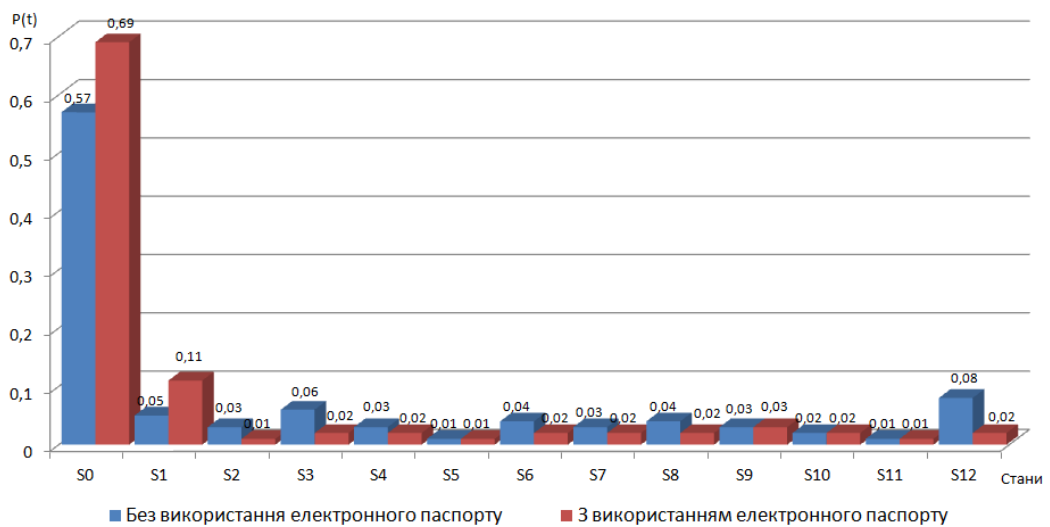


Рисунок 3.8 – Графік розподілу ймовірностей системи станів процесу експлуатації вузла локомотива

3.3 Отримання інтерполяційної формули визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу

Успішне виконання рейсу локомотивом може залежати від сполучення різних експлуатаційних факторів. Показником, що характеризує надійну роботу локомотивів в експлуатації запропоновано використовувати коефіцієнт можливості виконання рейсу. Постає задача отримати формулу, за допомогою якої можна було б отримати значення коефіцієнту можливості виконання рейсу при різних поєднаннях факторів.

У якості інструменту для отримання інтерполяційної формули визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу обрано повний факторний експеримент [68-80].

Факторами, що впливають на значення коефіцієнту можливості виконання рейсу обрані: x_1 – профіль ділянки, x_2 – стаж машиніста, x_3 – довжина плеча, x_4 – вага поїзда.

Прийняті значення нульового рівня, інтервалу вар'ювання, верхнього та нижнього рівнів факторів наведені в таблиці 3.1.

Кодовані змінні мають значення:

$$x_1 = \frac{i-0}{10}, x_2 = \frac{T-10}{10}, x_3 = \frac{L-300}{200}, x_4 = \frac{Q-4000}{2000} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.1 – Значення рівнів та інтервалу вар'ювання змінних

Рівні та інтервал вар'ювання фактора	Фактори			
	x_1	x_2	x_3	x_4
	$i, \%$	$T, \text{ роки}$	$L, \text{ км}$	$Q, \text{ т}$
Нульовий рівень	0	10	300	4000
Інтервал вар'ювання	10	10	200	2000
Нижній рівень	-10	0	100	2000
Верхній рівень	10	20	500	6000

Матриця повного факторного експерименту для чотирьох факторів наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця повного факторного експерименту

№	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₁ x ₄	x ₂ x ₃	x ₂ x ₄	x ₃ x ₄	y ₁	y ₂	y ₃	y _m	y
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,84	0,91	0,88	0,88
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0,91	0,87	0,89	0,89	0,93
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,88	0,95	0,85	0,89	0,88
5	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0,89	0,96	0,91	0,92	0,90
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,92	0,9	0,93	0,92	0,91
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,94	0,89	0,91	0,91	0,89
8	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0,93	0,91	0,94	0,93	0,91
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,91	0,94	0,91	0,92	0,88
10	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,89	0,88	0,9	0,89	0,92
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,9	0,79	0,79	0,83	0,90
12	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	0,91	0,9	0,84	0,88	0,91
13	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,95	0,88	0,92	0,92	0,90
14	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,93	0,95	0,9	0,93	0,90
15	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,79	0,87	0,89	0,85	0,94
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,84	0,96	0,91	0,90	0,89

Для кожної з чотирьох серій дослідів розраховувалися дисперсії за формулою:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_i)^2}{m-1} \quad (3.6)$$

де σ_i^2 – дисперсія в i -тій точці;

m – кількість паралельних дослідів;

y_{ji} – значення параметру оптимізації в j -му паралельному досліді;

\bar{y}_i – середнє значення параметру оптимізації в даній серії паралельних дослідів.

Для визначення однорідності дисперсій було розраховано критерій Кохрена за формулою:

$$G = \frac{\sigma_{i \max}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (3.7)$$

де $\sigma_{i \max}^2$ – найбільше значення дисперсії.

$$G = \frac{0,004}{0,0211} = 0,19$$

Табличне значення критерію Кохрена $G_{table} = 0,53$.

Так як $G < G_{table}$, дисперсії є однорідними.

Коефіцієнти моделі визначалися за формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} y_i}{n} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 0,899 ; b_1 = 0,0048 ; b_2 = -0,009 ; b_3 = 0,0102 ; b_4 = -0,0094 ; \\ b_{12} &= 0,0069 ; b_{13} = 0,0044 ; b_{14} = 0,0065 ; b_{23} = -0,0019 ; b_{24} = -0,0148 ; \\ b_{34} &= 0,1098 \end{aligned}$$

Знаючи коефіцієнти моделі, можна розрахувати значення коефіцієнту, та дослідити адекватність моделі.

Для перевірки адекватності моделі застосовувався F -критерій Фішера:

$$F = \frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma_y^2} \quad (3.9)$$

$$F = \frac{0,0051}{0,0013} = 3,92$$

Табличне значення F -критерію Фішера $F_{table} = 5,91$.

Розраховане значення F -критерій Фішера менше табличного. Це свідчить про те, що модель адекватна і формула для визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу має вигляд:

$$k = 0,899 + 0,0048x_1 - 0,009x_2 + 0,0102x_3 - 0,0094x_4 + 0,0069x_1x_2 + \\ + 0,0044x_1x_3 + 0,0065x_1x_4 - 0,0019x_2x_3 - 0,0148x_2x_4 + 0,1094x_3x_4 \quad (3.10)$$

Ця формула справедлива для змінних в інтервалах вар'ювання, наведених в таблиці 3.1. По ній можна розрахувати значення коефіцієнту можливості виконання рейсу при різних комбінаціях факторів. По силі впливу на коефіцієнт можливості виконання рейсу фактори розміщуються у наступному порядку: довжина плеча, вага поїзда, стаж машиніста, профіль ділянки.

В процесі передрейсової підготовки локомотивів електронний паспорт виступає як експертна система (система підтримки прийняття рішень), яка дозволяє оцінити фактичний технічний стан локомотива та його вузлів перед виходом в рейс.

3.4 Математична модель управління ризиками в процесі експлуатації

Електронний паспорт дозволяє автоматизувати обробку та аналіз результатів технічного діагностування, а також розробку технологічного процесу передрейсової підготовки. При застосуванні електронного паспорта локомотива очікується зменшення кількості відмов вузлів локомотивів на шляху прямування, оскільки виключається можливість відправки локомотива

в рейс, якщо технічні параметри його вузлів не задовільняють вимогам нормативної документації [81-91].

Математична модель управління ризиками в процесі експлуатації має вигляд:

$$\begin{aligned}
 R &= \int_0^t (R_{TC}(t) + R_{ЛБ}(t) + R_{УР}(t) + R_{ЗУ}(t)) dt = \\
 &= C_{ЛН} \cdot \left(\int_0^t P_{TC}(i_{із}, i_{стар}, i_{ям}, i_{мод}, i_{крп}, i_{мр}, t) dt + \int_0^t P_{ЛБ}(i_{ст}, i_{нн}, i_{нфс}, i_c, i_m, t) dt + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^t P_{УР}(i_{вн}, i_{дн}, i_{нк}, t) dt + \int_0^t P_{ЗУ}(i_{темп}, i_m, i_o, i_{чд}, t) dt \right) \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

де R – ризик, грн; R_{TC} – ризик, що виникає через технічний стан локомотива, грн; $R_{ЛБ}$ – ризик, що виникає через невірні дії членів локомотивної бригади, грн; $R_{УР}$ – ризик, що виникає через умови рейсу, грн; $R_{ЗУ}$ – ризик, що виникає через дію зовнішніх умов, грн; $C_{ЛН}$ – вартість ліквідації наслідків, грн; P_{TC} – ймовірність виникнення відмови через технічний стан локомотива; $i_{із}$ – інтенсивність зношення вузлів та деталей локомотива; $i_{стар}$ – інтенсивність старіння локомотива; $i_{ям}$ – якість матеріалів, які застосовувались при ремонті; $i_{мод}$ – рівень технологічної оснащеності депо; $i_{крп}$ – рівень кваліфікації ремонтного персоналу; $i_{мр}$ – рівень дотримання технології ремонту; $P_{ЛБ}$ – ймовірність виникнення відмови через невірні дії членів локомотивної бригади; $i_{ст}$ – стаж члену локомотивної бригади; $i_{нн}$ – рівень професійної підготовки члену локомотивної бригади; $i_{нфс}$ – психофізіологічний стан члену локомотивної бригади; i_c – сумісність членів локомотивної бригади; i_m – темперамент членів локомотивної бригади; $P_{УР}$ – ймовірність виникнення відмови через умови рейсу; $i_{вн}$ – вага поїзда, т; $i_{дн}$ – довжина плеча, км; $i_{нк}$ – профіль колії, км; $P_{ЗУ}$ – ймовірність виникнення

відмови через зовнішні умови; i_{temp} – температура повітря; i_m – тиск; i_o – ймовірність опадів; $i_{чд}$ – час доби.

При управлінні ризиками необхідно враховувати наступні обмеження:

$$\begin{cases} N_{Л} \leq N_{ЛРД} \\ N_{ЛБ} \leq N_{ВЛБ} \end{cases} \quad (3.12)$$

де $N_{Л}$ – кількість локомотивів, які потенційно можуть виконати рейс;

$N_{ЛРД}$ – кількість локомотивів у розпорядженні депо;

$N_{ЛБ}$ – кількість локомотивних бригад, які можуть бути відправлені в рейс;

$N_{ВЛБ}$ – кількість вільних локомотивних бригад.

Перша складова цільової функції (3.11) відповідає витратам, які може понести АТ “Укрзалізниця” у разі відмови локомотива на шляху прямування через незадовільний технічний стан. Тобто перед виходом в рейс фактичний технічний стан є таким, що умови рейсу, зовнішні умови, а також дії локомотивних бригад можуть призвести до відмови. Ризик відмови можна знизити заміною локомотива на такий, фактичний технічний стан якого дозволить виконати рейс.

Другий доданок цільової функції (3.11) відображає витрати, які може понести АТ “Укрзалізниця” у разі відмови локомотива на шляху прямування через невірні дії членів локомотивної бригади. Для зниження ризику перед виходом локомотива в рейс необхідно впевнитись, що кваліфікація членів локомотивної бригади є достатньою, щоб виконати рейс на локомотиві з визначеним технічним станом при відомих умовах рейсу та зовнішніх умовах. У разі необхідності локомотивну бригаду слід замінити на більш кваліфіковану.

Третя складова цільової функції (3.11) відповідає витратам, які може понести АТ “Укрзалізниця” у разі відмови локомотива на шляху прямування

через несприятливі умови рейсу. Так як умови рейсу змінити неможливо, для зниження ризику відмови локомотива на шляху прямування необхідно впевнитись, що поточні умови рейсу не зможуть змінити технічні параметри вузлів локомотива до критичного рівня. В іншому випадку необхідно замінити локомотив.

Четвертий доданок цільової функції (3.11) відображає витрати, які може понести АТ “Укрзалізниця” у разі відмови локомотива на шляху прямування через несприятливі зовнішні умови. Як і у випадку з ризиками, що виникають при несприятливих умовах рейсу, для зниження ризику відмови локомотива на шляху прямування для виконання рейсу необхідно обирати локомотив, технічні параметри вузлів якого залишаться в межах допустимих при дії зовнішніх умов, що впливатимуть на можливість виконання конкретного рейсу.

Враховуючи вище наведене, для управління ризиками в процесі експлуатації були розроблені наступні стратегії:

якщо $R_{TC} \rightarrow \min \wedge R_{LB} \rightarrow \min \wedge R_{YP} \rightarrow \min \wedge R_{ZY} \rightarrow \min$, то локомотив можна відправляти в рейс

якщо $R_{TC} \rightarrow \min \wedge R_{LB} \rightarrow \max \wedge R_{YP} \rightarrow \min \wedge R_{ZY} \rightarrow \min$, то локомотив можна відправляти в рейс

якщо $R_{TC} \rightarrow \min \wedge R_{LB} \rightarrow \max \wedge R_{YP} \rightarrow \max \wedge R_{ZY} \rightarrow \min$, то необхідно замінити локомотивну бригаду

якщо $R_{TC} \rightarrow \min \wedge R_{LB} \rightarrow \max \wedge R_{YP} \rightarrow \max \wedge R_{ZY} \rightarrow \max$, то необхідно замінити локомотивну бригаду

якщо $R_{TC} \rightarrow \max \wedge R_{LB} \rightarrow \min \wedge R_{YP} \rightarrow \min \wedge R_{ZY} \rightarrow \min$, то локомотив можна відправляти в рейс

якщо $R_{TC} \rightarrow \max \wedge R_{LB} \rightarrow \max \wedge R_{YP} \rightarrow \min \wedge R_{ZY} \rightarrow \min$, то необхідно замінити локомотив

якщо $R_{TC} \rightarrow \max \wedge R_{ЛБ} \rightarrow \max \wedge R_{УР} \rightarrow \max \wedge R_{ЗУ} \rightarrow \min$, то
необхідно замінити локомотив

якщо $R_{TC} \rightarrow \max \wedge R_{ЛБ} \rightarrow \max \wedge R_{УР} \rightarrow \max \wedge R_{ЗУ} \rightarrow \max$, то
необхідно замінити локомотив

З метою мінімізації ризику виникнення відмови на шляху прямування проводиться оцінка ймовірностей виникнення відмови на шляху прямування. У разі необхідності проводиться заміна локомотива або локомотивної бригади.

3.5 Розробка методики прийняття рішення про видачу локомотива в рейс на основі аналізу його фактичного технічного стану

В сучасних економічних умовах необхідно підвищувати конкурентноспроможність залізничного транспорту в забезпеченні перевезень вантажів і пасажирів, підвищувати ефективність використання рухомого складу. З одного боку потрібно зменшувати простой та збільшувати міжремонтні пробіги, а з іншого – забезпечувати високий рівень надійності локомотивів в експлуатації. Для забезпечення цієї умови необхідно в кожний момент часу з високим ступенем точності мати інформацію про фактичний технічний стан локомотива.

Технічний стан локомотива характеризується сукупністю властивостей, що змінюються в процесі експлуатації і обумовлюють його придатність до безпечного і ефективного використання за призначенням в заданих умовах. Зміна технічного стану локомотива відбувається під впливом зовнішніх факторів, а також внутрішніх фізичних процесів.

Значна кількість відмов обладнання локомотивів під час рейсу пов'язана з неякісним виконанням передрейсової підготовки. Причиною

цього є недостатня кількість інформації про значення технічних параметрів обладнання кожного конкретного локомотива.

Однією із задач системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів є визначення рівня можливості конкретного локомотива виконати конкретний рейс з відомими параметрами (вагою поїзда, довжиною плеча, профілем шляху).

Отримуючи у якості вхідної інформації умови майбутнього рейсу (рисунок 3.9), система управління передрейсовою підготовкою локомотивів повинна на основі аналізу технічних параметрів прийняти рішення про видачу локомотива.

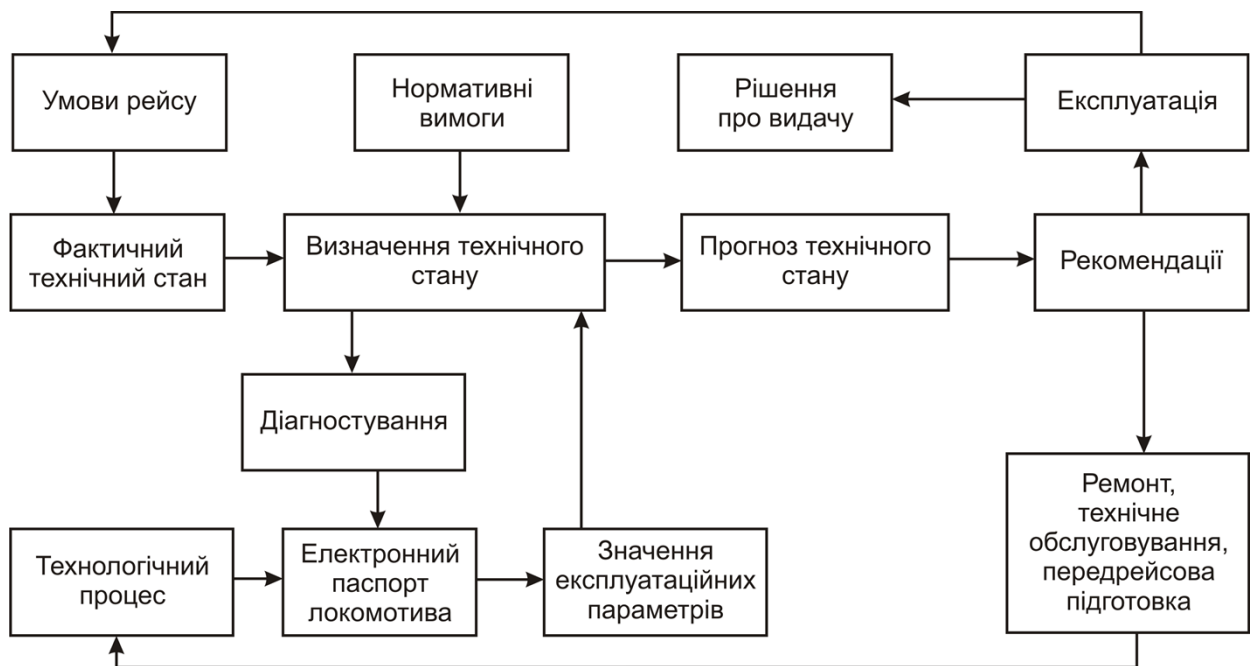


Рисунок 3.9 – Схема процесу управління передрейсовою підготовкою локомотивів з використанням електронного паспорта

При визначенні фактичного технічного стану значення експлуатаційних параметрів порівнюються з нормативними. На основі порівняння проводиться прогнозування технічного стану локомотива в майбутньому. Результат прогнозу впливає на рекомендації для системи

експлуатації та ремонту, технічного обслуговування і передрейсової підготовки. Результати кожного діагностування заносяться в електронний паспорт локомотива. При виконанні ремонту або технічного обслуговування зміна кожного технічного параметру відображається в електронному паспорті.

Рекомендації після прогнозу технічного стану можуть бути використані для впливу на умови рейсу, на зменшення ваги поїзда або довжини плеча.

Рішення про видачу локомотива приймається у разі, якщо фактичні значення експлуатаційних показників перевищують значення нормативних, а умови майбутнього рейсу не призведуть до різкої їх зміни.

Важливою ланкою процесу передрейсової підготовки локомотива, яка впливає на точність прогнозу технічного стану, є діагностування. Процес діагностування (рисунок 3.10) заключається в перевірці стану вузла локомотива та пошуку можливого дефекту з метою його своєчасного усунення.

Необхідно враховувати зміну значень параметрів кожного конкретного вузла після виконання кожного конкретного рейсу.

Всі значення параметрів вузла зберігаються в електронному паспорті локомотива, починаючи з моменту реєстрації вузла в системі.

Прогноз технічного стану вузла в експлуатації робиться на основі аналізу всіх попередніх значень технічних параметрів, фактичного значення параметру на поточний момент часу, швидкості його зміни в залежності від умов експлуатації.

Визначення швидкості зміни технічного параметру вузла необхідне для виключення ситуації, коли поточне значення не виходить за межі допустимого, але умови експлуатації призведуть до того, що граничне значення параметру буде досягнуто до завершення рейсу, тобто вузол може відмовити на лінії.

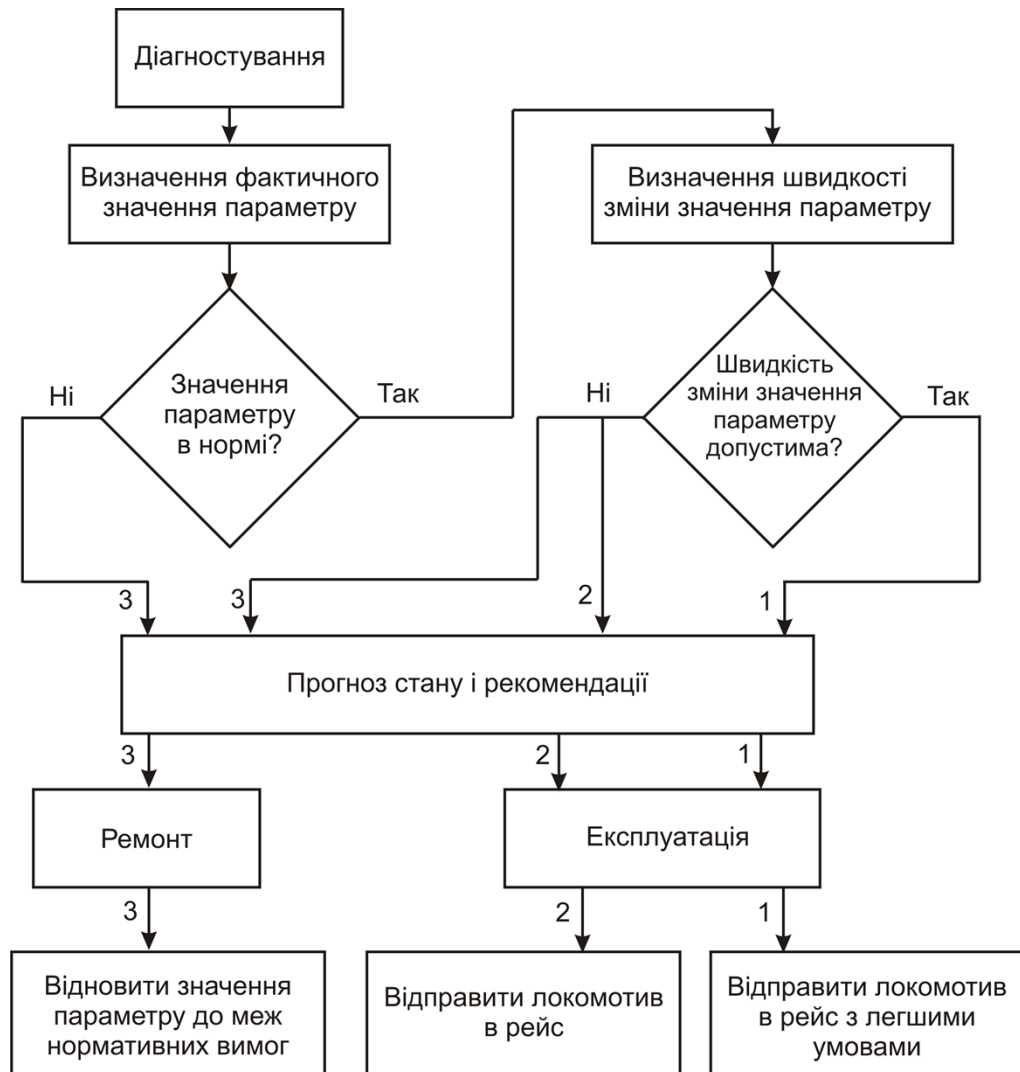


Рисунок 3.10 – Алгоритм прийняття рішення про можливість видачі локомотива в рейс

У такому випадку необхідно або відправляти локомотив у рейс з легшими умовами, або відновлювати значення параметрів ближче до нормативних.

Рішення про відправлення локомотива в рейс повинно бути технічно обгрунтованим і спиратися на результати діагностування стану його вузлів і прогнозування зміни значень технічних параметрів цих вузлів під час виконання конкретного рейсу.

3.6 Організація імітаційного моделювання системи передрейсової підготовки локомотивів

Передрейсова підготовка локомотивів проводиться для визначення фактичного технічного стану локомотива перед виходом в рейс з метою зменшення ймовірності відмови вузлів локомотива на шляху прямування. Удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів є важливою задачею. Тому необхідно провести дослідження системи передрейсової підготовки. Дослідити систему передрейсової підготовки можливо шляхом проведення імітаційного моделювання.

Методи і засоби імітаційного моделювання описані в [92-99], однак вони описують абстрактні системи та не застосовувались для описання систем локомотивного господарства.

Процес функціонування системи передрейсової підготовки локомотивів як системи масового обслуговування, в яку надходить випадковий потік заявок з інтервалами між сусідніми заявками, розподіленими по закону $A(\tau)$, а тривалість обслуговування заявок в приладі розподілена по закону $B(\tau)$, може бути представлений у вигляді часових діаграм, на основі яких можуть бути виміряні і розраховані характеристики обслуговування заявок.

На рисунку 3.11 представлені чотири діаграми, які відображають:

1) Процес надходження локомотивів на позицію передрейсової підготовки у вигляді моментів t_i надходження заявок в систему, що формуються за правилом:

$$t_i = t_{i-1} + \tau_{a_i} , \quad (3.13)$$

де τ_{a_i} – інтервали між заявками, що надходять в систему, $i = 1, 2, \dots, n$.

В початковий момент часу $t_i = 0$.

2) Процес обслуговування локомотиву на позиції передрейсової підготовки, представлений у вигляді тривалостей обслуговування τ_{b_i} і моментів завершення обслуговування t'_i локомотиву на позиції, які визначаються за наступним правилом:

$t'_i = t_i + \tau_{b_i}$, якщо на момент надходження i -го локомотива позиція передрейсової підготовки була вільною, $i = 1, 2, \dots, n$;

$t'_i = t_{i-1} + \tau_{b_i}$, якщо на момент надходження i -го локомотива позиція передрейсової була зайнята обслуговуванням попереднього локомотива, $i = 1, 2, \dots, n$.

В початковий момент часу $t'_i = 0$.

3) Модельний або реальний час, що показує дискретну зміну часу в реальній системі, кожен момент якого відповідає одній з наступних подій: надходження локомотива в систему або завершення обслуговування локомотива на позиції. В ці моменти часу відбувається зміна стану в системі, що описується кількістю заявок, які знаходяться в системі.

4) Кількість заявок в системі, що описує стан дискретної системи і змінюється за правилом: збільшення на одиницю в момент надходження локомотива в систему і зменшення на одиницю в момент завершення обслуговування.

При дотриманні обраного масштабу часу представлені діаграми дозволяють шляхом вимірювання визначити значення ймовірно-часових характеристик функціонування системи, що моделюється, зокрема, як показано на другій діаграмі, час перебування кожного локомотива в системі τ_{u_i} , $i = 1, 2, \dots, n$.

Час перебування локомотивів в системі – величина випадкова. В простішому випадку, застосовуючи методи математичної статистики, можна розрахувати два перших моменти розподілення часу перебування:

- математичне очікування:

$$u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_{u_i}, \quad (3.14)$$

- другий початковий момент:

$$u^{(2)} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \tau_{u_i}^2, \quad (3.15)$$

де N – кількість значень часу перебування локомотивів, отриманих на діаграмі, тобто кількість локомотивів відображених на діаграмі як ті, що пройшли через систему і залишили її.

Звідси можуть бути отримані значення дисперсії, середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту варіації часу перебування локомотивів в системі.

На основі отриманих за допомогою часових діаграм значень часу перебування локомотивів в системі можна побудувати гістограму функції і щільності розподілення часу перебування.

Точність отриманих числових моментів розподілення і якість гістограм суттєво залежить від кількості значень N часу перебування локомотивів, на основі яких вони розраховуються: чим більше N , тим точніше результат розрахунку. Конкретне значення N залежить від багатьох факторів, що впливають на швидкість сходження результатів до істинного значення, основними серед яких при моделюванні систем масового обслуговування являються закони розподілів інтервалів між заявками, що надходять, і тривалостей обслуговування, завантаження системи, складність моделі, кількість класів заявок.

Імітаційна модель представляє собою алгоритм реалізації часової діаграми функціонування системи, яка досліджується. В простішому випадку часова діаграма може бути реалізована наступним чином: спочатку формуються моменти надходження всіх локомотивів в систему, а потім для

кожного локомотива визначаються тривалості обслуговування на позиції передрейсової підготовки і формуються моменти завершення обслуговування (виходу заявок із системи). Очевидно, що такий підхід неприйнятний, оскільки навіть для простої системи необхідно одночасно зберігати велику кількість значень моментів надходження і завершення обслуговування локомотивів, а також інших змінних.

Другий підхід, який може бути запропонований для реалізації часової діаграми, – покрокова побудова діаграми. Для цього формується змінна для модельного часу і вибирається крок Δt його зміни. В кожен такий момент часу необхідно перевіряти, яка подія (надходження в систему або завершення обслуговування локомотиву) сталася в системі за попередній інтервал Δt .

Недолік такого підходу полягає в проблематичності вибору довжини інтервалу Δt . З однієї сторони, інтервал Δt повинен бути якомога менше для зменшення методичної похибки моделювання, з іншої сторони, інтервал Δt повинен бути якомога більше для зменшення часу моделювання.

Найбільш ефективним підходом визнано підхід із змінним кроком просування модельного часу, який реалізується у відповідності з принципом «до найближчої події». Принцип просування модельного часу до найближчої події заключається в наступному.

По всіх процесах, що паралельно проходять в системі, яка досліджується, в кожен момент часу формуються моменти настання найближчої події в майбутньому. Потім модельний час пересувається до моменту настання найближчого із всіх можливих подій. В залежності від того, яка подія стала найближчою, виконуються ті чи інші дії. Якщо найближчою подією являється надходження локомотива в систему, то виконуються дії, пов'язані із зайняттям позиції передрейсової підготовки при умові, що вона вільна, і занесення локомотиву в чергу, якщо позиція зайнята. Якщо ж найближчою подією являється завершення обслуговування локомотива на позиції, то виконуються дії, пов'язані із звільненням позиції

передрейсової підготовки і вибором на обслуговування нового локомотива із черги, якщо остання не порожня. Потім формується новий момент настання тієї ж події.

На діаграмі «Модельний (реальний) час» (рисунок 3.11) просування часу у відповідності із цим принципом показано у вигляді стрілок.

За допомогою побудованої діаграми функціонування системи передрейсової підготовки можна розрахувати тривалість обслуговування локомотива на передрейсовій підготовці, час очікування локомотивом своєї черги, відстежувати кількість локомотивів, що знаходяться на передрейсовій підготовці. Для ефективного використання ресурсів локомотивного депо необхідно дотримуватись умови, що кількість заявок не повинна перевищувати кількість місць для проведення робіт та очікування.

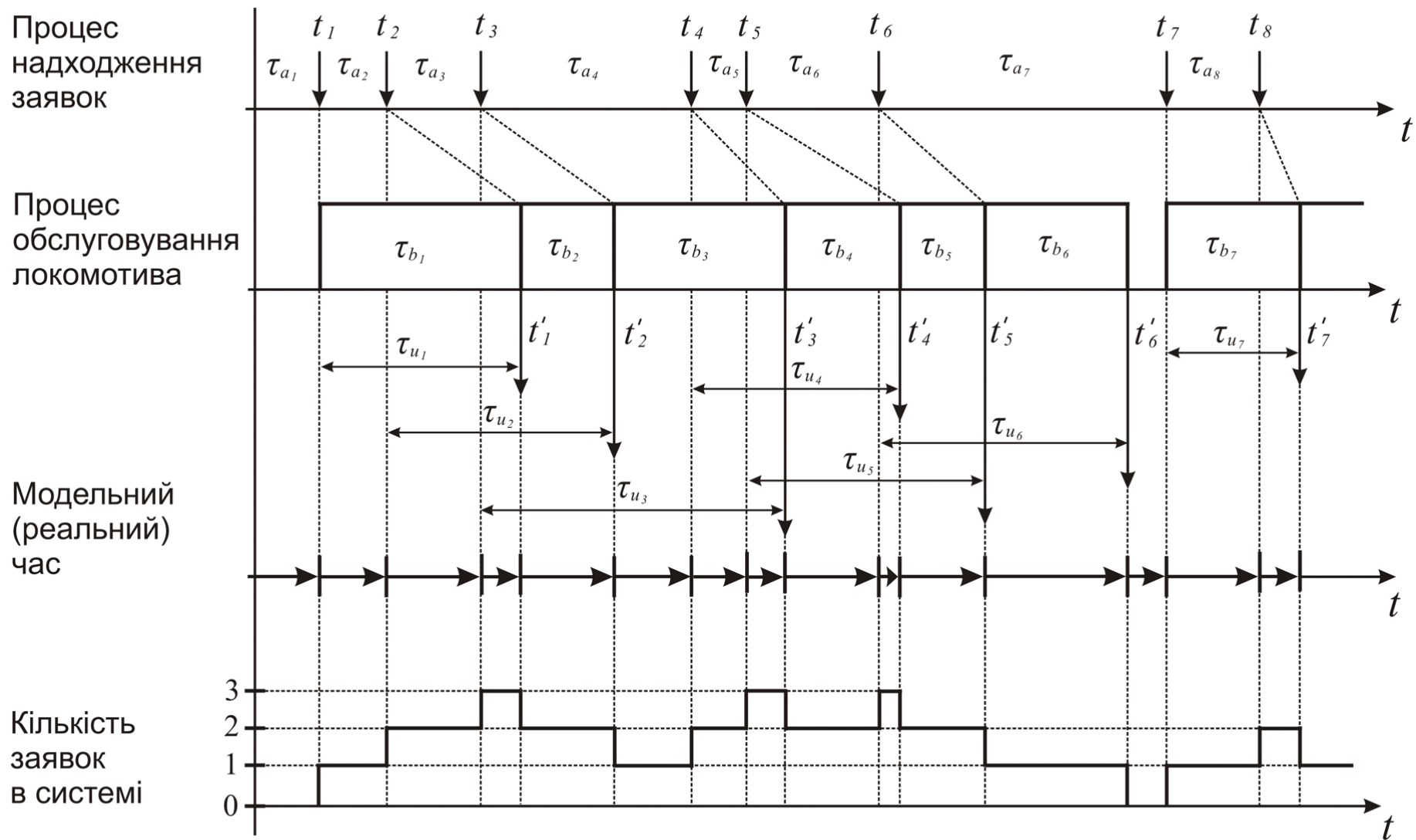


Рисунок 3.11 – Діаграми функціонування системи передрейсової підготовки локомотивів

3.7 Визначення залежності швидкості зміни параметрів вузлів локомотива від умов експлуатації

Локомотив, як будь-яка складна транспортна машина, має обмежену надійність, що обумовлено об'єктивними причинами: зношенням пар тертя, старінням та втомленням матеріалів, втратою функціональних властивостей робочих рідин, порушенням зазорів, регулювань, накопичення яких може призвести до неочікуваних відмов вузлів і агрегатів локомотива під час виконання рейсу.

Для запобігання таких випадків в системі експлуатації та ремонту локомотивів розроблено ряд запобіжних заходів, направлених на підтримання роботоспроможності локомотива протягом всього терміну експлуатації.

Для технічних засобів передбачені три групи показників надійності: довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності. В кожній групі передбачені одиничні показники: ресурс, напрацювання на відмову, працеемність відновлення і т.д.

Однак дані показники не дають цілісного представлення про фактичний технічний стан і фактичну надійність локомотива, так як вони існують відокремлено і не пов'язані єдиним критерієм.

Питання визначення надійності роботи вузлів локомотива розглядалося у багатьох роботах, зокрема в роботах Е.Д. Тартаковського, В.Г. Пузиря, О.В. Устенко. Однак, в цих роботах не приділялася увага впливу умов експлуатації на технічний стан вузлів і локомотива в цілому.

Зміни, що відбуваються у вузлах локомотива з часом і призводять до втрати його працездатності, пов'язані із зовнішніми і внутрішніми впливами на них. Існують три основних джерела впливу на вузли локомотива:

- дія енергії зовнішнього середовища, включаючи людину, яка виконує функції оператора, здійснюючи експлуатаційну роботу або ремонт, технічне обслуговування чи передрейсову підготовку;

- внутрішні джерела енергії, пов'язані з робочими процесами, що проходять у вузлах локомотива;

- потенціальна енергія, накопичена в матеріалах конструкції локомотива в процесі експлуатації.

Основними формами енергії, що впливають на працездатність об'єктів є: механічна, теплова, хімічна, електромагнітна. Ці форми енергії, діючи на вузли локомотива викликають в них процеси, що погіршують початкові параметри і можуть призвести до відмови (рисунок 3.12).

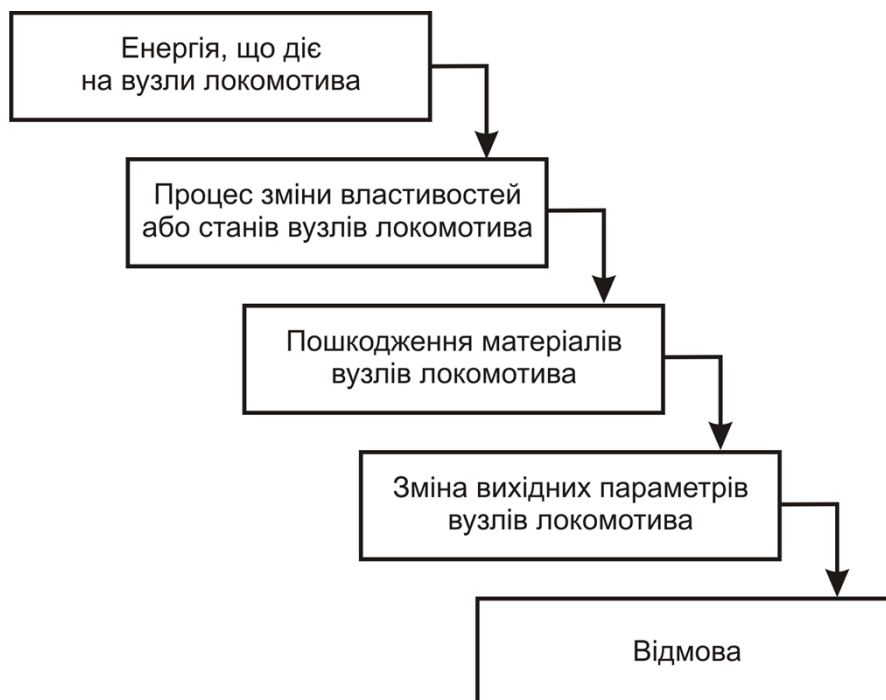


Рисунок 3.12 – Схема зміни властивостей і станів вузлів локомотива

В результаті дії тієї чи іншої енергії пошкодження вузла може відбутися не відразу. Часто перед періодом зовнішнього прояву, тобто пошкодженням вузла, існує період накопичення впливів. Наприклад, для

початку розвитку втомної тріщини необхідна певна кількість циклів змінних напружень.

Під пошкодженням вузла розуміється відхилення його параметрів від початкових. Якщо ці відхилення перевищують допустимий рівень, то може відбутися відмова вузла.

Часто зміна параметру вузла локомотива Y підпорядковується лінійному закону

$$Y = \gamma \cdot t, \quad (3.16)$$

де γ – швидкість протікання процесу, яка залежить, як правило, від великої кількості випадкових факторів – від навантаження, температури, умов експлуатації і т.д.

Найбільш часто швидкість протікання процесу підпорядкована нормальному закону розподілення (рисунок 3.13)

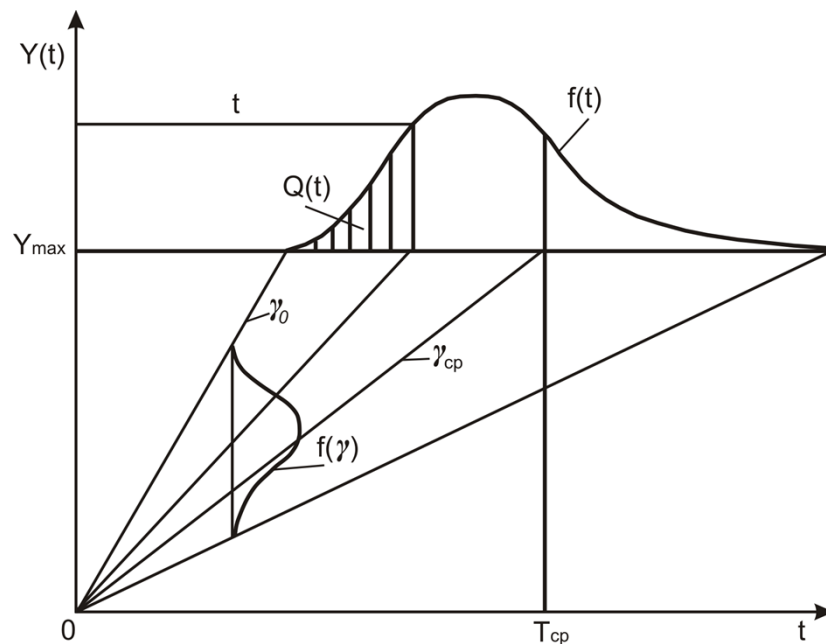


Рисунок 3.13 – Модель зміни параметру вузла локомотива по лінійному закону

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\gamma_\gamma - \gamma_{cp})^2}{2\sigma_\gamma^2} \right\}. \quad (3.17)$$

Гранично допустиме значення параметрів Y_{\max} встановлюється з умови правильності функціонування об'єкту. При $Y = Y_{\max}$ настає граничний стан, який і визначає термін служби вузлів локомотива до відмови $t = T$. Термін служби є функцією випадкового аргументу, тобто:

$$T = \frac{Y_{\max}}{\gamma}. \quad (3.18)$$

Ймовірність безвідмовної роботи вузла визначається наступною залежністю:

$$P(t) = 0,5 + \Phi \left(\frac{Y_{\max} - \gamma_{cp} \cdot t}{t \cdot \sigma_\gamma} \right). \quad (3.19)$$

Якщо в початковий момент часу існує розкид значень параметру Y , тоді термін служби об'єкта є функцією двох незалежних аргументів Y_0 та γ

$$T = \frac{Y_{\max} - Y_0}{\gamma}. \quad (3.20)$$

Приймаючи, що випадкові аргументи Y_0 та γ розподілені по нормальному закону і лінійна зміна $Y(t)$ за часом:

$$P(t) = 0,5 + \Phi \left(\frac{Y_{\max} - Y_0 - \gamma_{cp} \cdot t}{\sqrt{\sigma_{Y_0}^2 + \sigma_{\gamma}^2(t) \cdot t^2}} \right) \quad (3.21)$$

Одними з основних функцій системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів є прогнозування технічного стану локомотива і визначення можливості локомотивом рівня можливості конкретного локомотива виконати конкретний рейс з відомими параметрами.

Для забезпечення оцінки технічного стану локомотива перед виконанням рейсу і після його завершення необхідно визначити критерій, який би комплексно охоплював показники надійності вузлів локомотива і вплив на них негативних параметрів рейсу.

Для оцінки технічного рівня локомотива під час виконання рейсу необхідно визначити ряд параметрів, що в найбільшій мірі впливають на його фактичний технічний стан.

Кількість показників не повинна бути надто великою, але в достатньо точній мірі враховувати основні чинники, які найбільшою мірою знижують показники надійності роботи вузлів локомотива.

Для оцінки технічного стану локомотива під час передрейсової підготовки доцільно використовувати наступні показники:

Q , т – найбільша вага поїзда;

V_p , км/год – рейсова швидкість локомотива;

L , км – довжина плеча;

R , км – найбільший радіус кривої;

I_n , % – найбільший підйом;

I_c , % – найбільший спуск;

$G_{в.м.}$, т (кВт·год) – витрати матеріалів і енергетичних ресурсів;

T_p , км (год) – загальний ресурс локомотива до виконання капітального ремонту.

Технічний рівень локомотива можна математично описати в загальному вигляді як деяку функцію критерію T від параметрів його оцінки:

$$T = f(Q, V_p, L, R, I_n, I_c, G_{в.м.}, T_p) \quad (3.22)$$

Кількість рейсів, які локомотив зможе виконати на певних плечах обслуговування, залежить від умов експлуатації, а саме довжини плеча, ваги поїзда, наявності кривих різних радіусів, ухилів, підйомів. Кожен з цих чинників негативно впливає на поточний технічний стан локомотива.

3.8 Оцінка впливу взаємодії пари факторів на коефіцієнт можливості виконання рейсу

Аналіз надійності роботи локомотивів в експлуатації вказує на досить високий рівень кількості їх відмов на шляху прямування. Це свідчить про те, що перед виходом локомотива в рейс не проводиться оцінка його можливості успішно завершити рейс під впливом різних факторів. Відмови на шляху прямування можуть призводити до значних матеріальних втрат, яких можна було б уникнути ще на етапі підготовки до рейсу.

По-перше, перед відправленням локомотива на лінію необхідно провести аналіз його фактичного технічного стану та впевнитися в тому, що стан його вузлів дозволяє безвідмовно виконати рейс. З цією метою може застосовуватися електронний паспорт локомотива. По-друге, необхідно впевнитись у достатній кваліфікації локомотивної бригади з метою уникнення виникнення відмов локомотива через невірні дії бригади.

По-третє, необхідно врахувати вплив експлуатаційних параметрів майбутнього рейсу на зміну технічного стану локомотива та його вузлів.

Як інструмент, який дозволить промоделювати та проаналізувати взаємодію різних факторів може бути використаний метод повного факторного експерименту [68-80].

Факторами, що впливають на значення коефіцієнту можливості виконання рейсу, обрані: x_1 – профіль ділянки, x_2 – стаж машиніста, x_3 – довжина плеча, x_4 – маса поїзда.

Прийняті значення нульового рівня, інтервалу вар'ювання, нижнього та верхнього рівня факторів наведено в таблиці 1.

Для переходу від дійсних значень до значень ± 1 проводиться кодування факторів. Кодування визначається співвідношенням:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{J_i}, \quad (3.23)$$

де x_i – кодоване поточне значення фактору;

\tilde{x}_i – натуральне поточне значення фактору;

\tilde{x}_{i0} – натуральне значення нульового рівня;

J_i – натуральне значення інтервалу вар'ювання.

Таблиця 3.3 – Значення рівнів та інтервалу вар'ювання змінних

Рівні та інтервал вар'ювання фактора	Фактори			
	x_1	x_2	x_3	x_4
	і, ‰	Т, роки	L, км	Q, т
Нульовий рівень	0	10	300	4000
Інтервал вар'ювання	10	10	200	2000
Нижній рівень	-10	0	100	2000
Верхній рівень	10	20	500	6000

Значення кодованих змінних наступні:

$$x_1 = \frac{i-0}{10}, x_2 = \frac{T-10}{10}, x_3 = \frac{L-300}{200}, x_4 = \frac{Q-4000}{2000} \quad (3.24)$$

Матриця повного факторного експерименту для взаємодії факторів профіль ділянки та стаж машиніста наведена в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Матриця повного факторного експерименту для взаємодії факторів профіль ділянки та стаж машиніста

№ дослідду	Фактори та їх взаємодія				Коефіцієнт				
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y _{сер}	\hat{y}
1	1	-1	-1	1	0,91	0,89	0,87	0,89	0,9044
2	1	1	-1	-1	0,89	0,88	0,87	0,88	0,8945
3	1	-1	1	-1	0,92	0,9	0,87	0,90	0,9112
4	1	1	1	1	0,88	0,94	0,93	0,92	0,8988

В цій таблиці y_1, y_2, y_3 – результати паралельних дослідів (отримані моделюванням). По них розраховувались дисперсії для кожної з серій дослідів за формулою:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_i)^2}{m-1} \quad (3.25)$$

де σ_i^2 – дисперсія в i -тій точці;

m – кількість паралельних дослідів;

y_{ji} – значення параметру оптимізації в j -му паралельному досліді;

\bar{y}_i – середнє значення параметру оптимізації в даній серії паралельних дослідів.

$$\sigma_1^2 = \frac{(0,91 - 0,89)^2 + (0,89 - 0,89)^2 + (0,87 - 0,89)^2}{3 - 1} = 0,0004$$

Аналогічно визначаються $\sigma_2^2 = 0,0001$, $\sigma_3^2 = 0,0006$, $\sigma_4^2 = 0,001$.

Для визначення однорідності дисперсій розраховується критерій Кохрена за формулою:

$$G = \frac{\sigma_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \quad (3.26)$$

де $\sigma_{i\max}^2$ – найбільше значення дисперсії.

$$G = \frac{0,001}{0,0004 + 0,0001 + 0,0006 + 0,001} = 0,47$$

Табличне значення $G_{table} = 0,68$.

Так як $G < G_{table}$, дисперсії однорідні.

Коефіцієнти моделі визначаються за формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} y_i}{n} \quad (3.27)$$

$$b_0 = \frac{1 \cdot 0,89 + 1 \cdot 0,88 + 1 \cdot 0,9 + 1 \cdot 0,92}{4} = 0,8958$$

Аналогічно визначаються $b_1 = 0,0025$, $b_2 = 0,0108$ та $b_{12} = 0,0075$.

Знаючи коефіцієнти моделі, можна розрахувати значення коефіцієнту, та дослідити адекватність моделі.

Для перевірки адекватності моделі застосовується F -критерій Фішера:

$$F = \frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma_y^2} \quad (3.28)$$

де σ_{ad}^2 – дисперсія адекватності:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k - 1} \quad (3.29)$$

де \hat{y}_i – значення критерію оптимізації, що передбачене рівнянням для i -го досліджу.

Якщо для обраного рівня значимості розрахункове значення F -критерію Фішера не перевищує табличного, то модель вважається адекватною.

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{(0,89 - 0,9044)^2 + (0,88 - 0,8945)^2 + (0,9 - 0,9112)^2 + (0,92 - 0,8988)^2}{4 - 2 - 1} = 0,00094$$

$$F = \frac{0,00094}{0,0005} = 1,75$$

Табличне значення $F_{table} = 6,39$.

Так як $F < F_{table}$, модель є адекватною.

Формула для визначення коефіцієнта виконання рейсу буде мати наступний вигляд:

$$k = 0,8958 + 0,0025x_1 + 0,0108x_2 + 0,0075x_1x_2 \quad (3.30)$$

За отриманою формулою у тривимірному просторі була побудована поверхня, яка відображає значення коефіцієнта можливості виконання рейсу в інтервалах вар'ювання факторів x_1 – профіль ділянки, x_2 – стаж машиніста (рисунок 3.14).

Аналіз отриманої поверхні показує, що при взаємодії факторів x_1 – профіль ділянки та x_2 – стаж машиніста коефіцієнт можливості виконання рейсу змінюється від 0,88 до 0,916. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимального значення x_1 та мінімального значення x_2 , а максимальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимальних значень x_1 та x_2 .

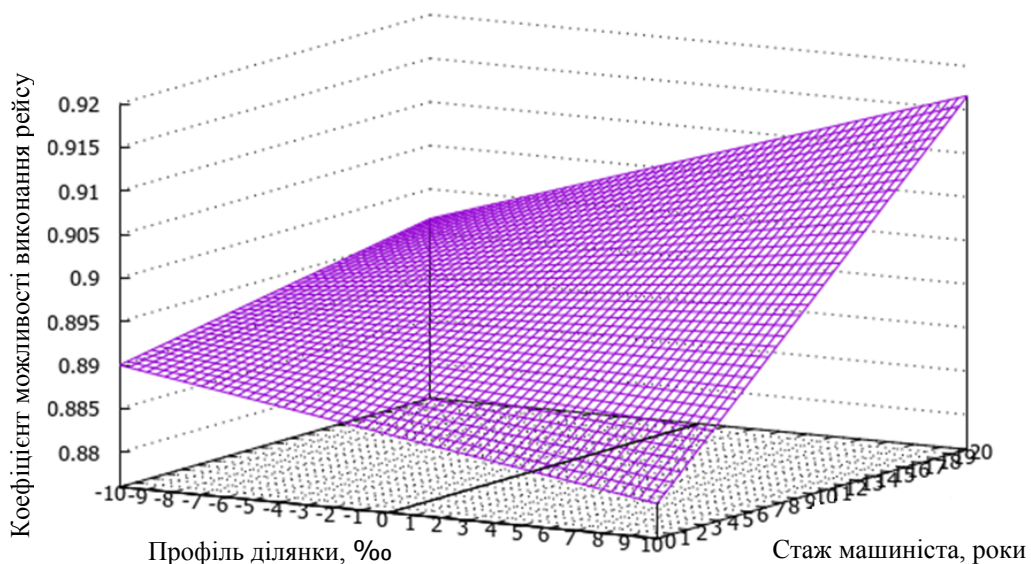


Рисунок 3.14 – Залежність коефіцієнта можливості виконання рейсу від взаємодії факторів x_1 – профіль ділянки та x_2 – стаж машиніста

Далі був проведений повний факторний експеримент при взаємодії факторів x_3 – довжина плеча та x_4 – маса поїзда. Для цього була заповнена матриця факторного експерименту, розраховано дисперсії, коефіцієнти моделі, похибка досліду, а також проведено перевірку моделі на адекватність у відповідності до методології, описаної вище.

Формула для визначення коефіцієнту можливості виконання рейсу при взаємодії факторів x_3 – довжина плеча та x_4 – маса поїзда має наступний вигляд

$$k = 0,8715 - 0,0057x_3 - 0,0014x_4 - 0,0033x_3x_4 \quad (3.31)$$

Поверхня, яка відображає значення коефіцієнту можливості виконання рейсу в інтервалах вар'ювання факторів x_3 – довжина плеча та x_4 – маса поїзда наведена на рисунку 3.15.

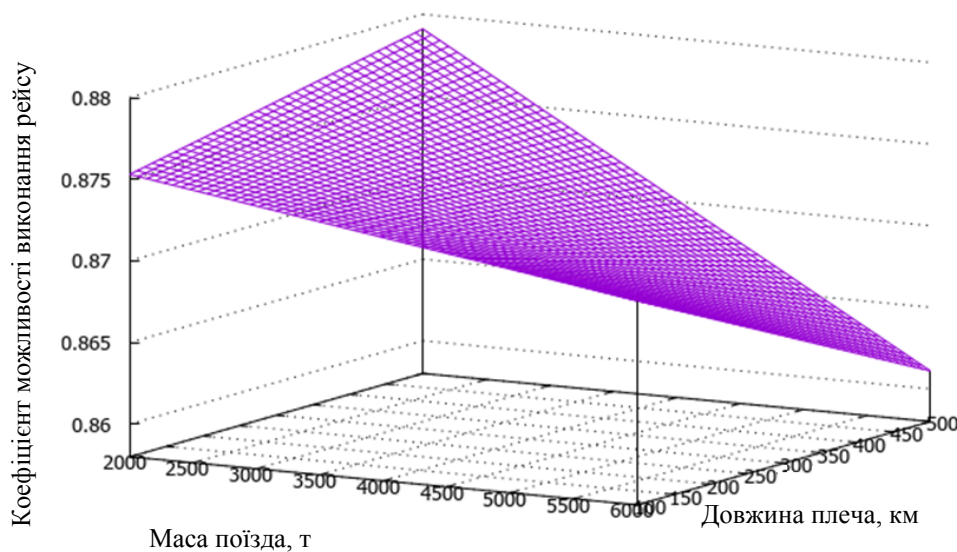


Рисунок 3.15 – Залежність коефіцієнта можливості виконання рейсу від взаємодії факторів x_3 – довжина плеча та x_4 – маса поїзда

При взаємодії факторів x_3 – довжина плеча та x_4 – маса поїзда значення коефіцієнту можливості виконання рейсу змінюється від 0,862 до 0,878. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимальних значень

факторів x_3 та x_4 , а максимальне значення коефіцієнту – взаємодії максимального значення фактору x_3 та мінімального значення фактору x_4 .

Наступним був проведений повний факторний експеримент при взаємодії факторів x_4 – маса поїзда та x_2 – стаж машиніста. Була заповнена матриця факторного експерименту, розраховано дисперсії, коефіцієнти моделі, похибка дослідів, а також проведено перевірку моделі на адекватність у відповідності до методології, описаної вище.

Формула для визначення коефіцієнту можливості виконання рейсу при взаємодії факторів x_3 – довжина плеча та x_4 – маса поїзда має наступний вигляд

$$k = 0,8837 - 0,0218x_4 + 0,0315x_2 - 0,0089x_4x_2 \quad (3.32)$$

Було побудовано тривимірну поверхню, яка відображає значення коефіцієнта можливості виконання рейсу в інтервалах вар'ювання факторів x_4 – маса поїзда та x_2 – стаж машиніста (рисунок 3.16).

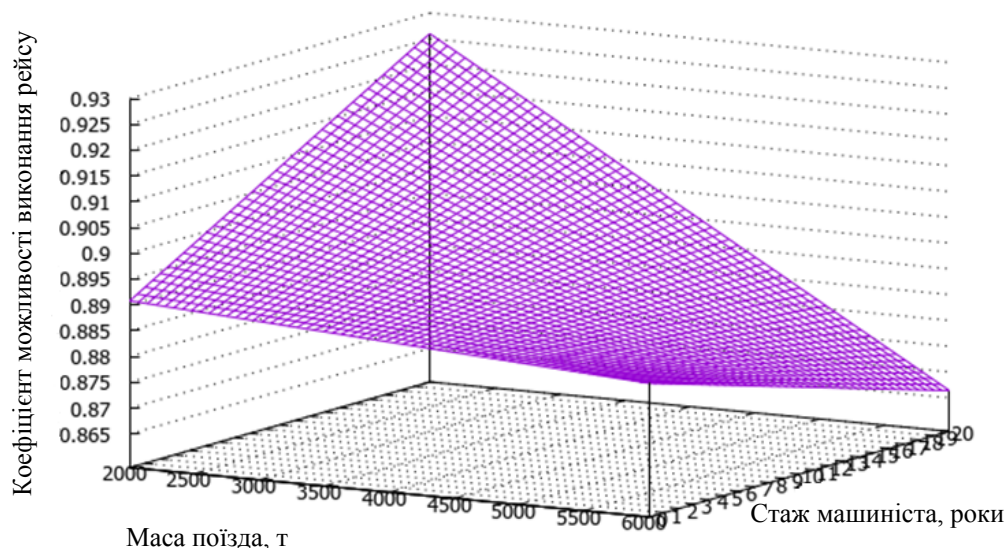


Рисунок 3.16 – Залежність коефіцієнта можливості виконання рейсу від взаємодії факторів x_4 – маса поїзда та x_2 – стаж машиніста

При взаємодії факторів x_4 – маса поїзда та x_2 – стаж машиніста коефіцієнт можливості виконання рейсу змінюється від 0,866 до 0,926. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимальних значень x_4 та x_2 , а максимальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимального значення фактору x_2 та мінімальному значенню x_4 .

Наступною парою факторів було обрано x_2 – стаж машиніста і x_3 – довжина плеча. Після проведення повного факторного експерименту для обчислення коефіцієнту можливості виконання рейсу при взаємодії факторів x_2 – стаж машиніста і x_3 – довжина плеча було отримано наступну формулу

$$k = 0,8948 - 0,0253x_2 - 0,0071x_3 - 0,0105x_2x_3 \quad (3.33)$$

Відповідно до отриманої формули було побудовано поверхню, що відображає значення коефіцієнту можливості виконання рейсу в інтервалах взаємодії факторів x_2 та x_3 (рисунок 3.17).

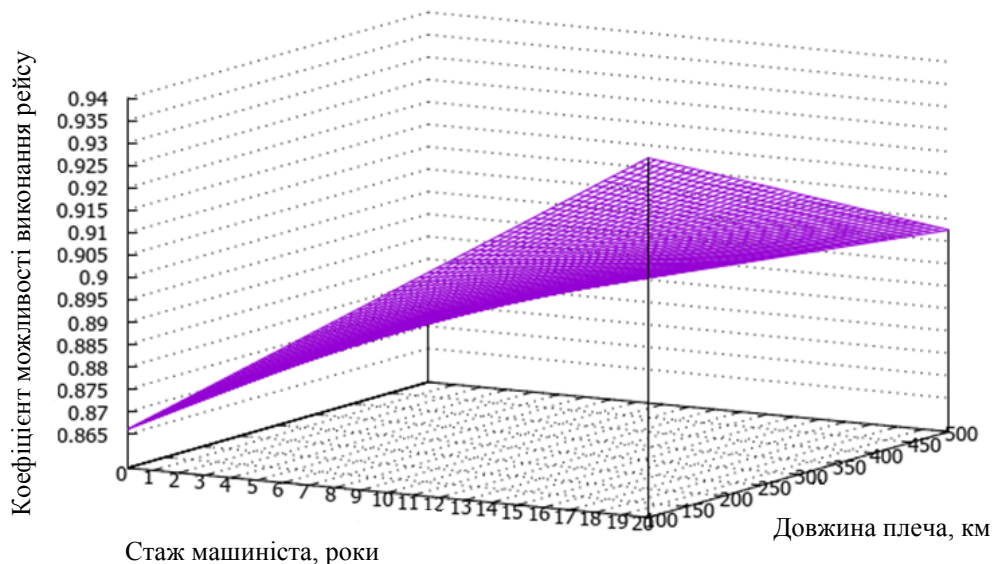


Рисунок 3.17 – Залежність коефіцієнта можливості виконання рейсу від взаємодії факторів x_2 – стаж машиніста і x_3 – довжина плеча

При взаємодії факторів обрано x_2 – стаж машиніста і x_3 – довжина плеча коефіцієнт можливості виконання рейсу змінюється від 0,866 до 0,913. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії мінімальних значень факторів x_2 та x_3 , а максимальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимального значення x_2 та мінімального значення x_3 .

Останньою групою факторів, для яких були зроблені обчислення, були x_4 – маса поїзда та x_1 – профіль ділянки. Проведені розрахунки показали, що формула для визначення коефіцієнту можливості виконання рейсу при взаємодії факторів x_4 та x_1 матиме наступний вигляд

$$k = 0,8919 - 0,0165x_4 + 0,0043x_1 - 0,0203x_4x_1 \quad (3.34)$$

Поверхня, яка відображає значення коефіцієнту можливості виконання рейсу в інтервалах вар'ювання факторів x_4 та x_1 наведена на рисунку 3.18.

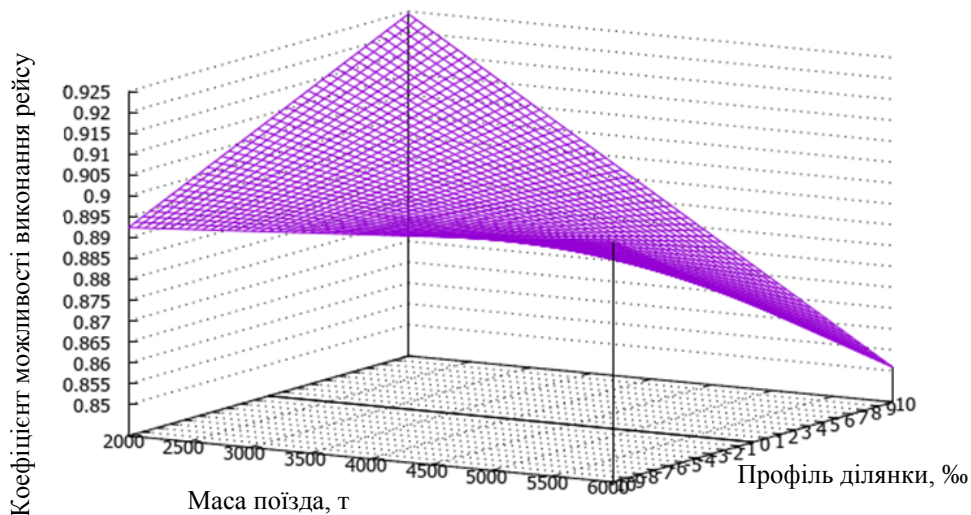
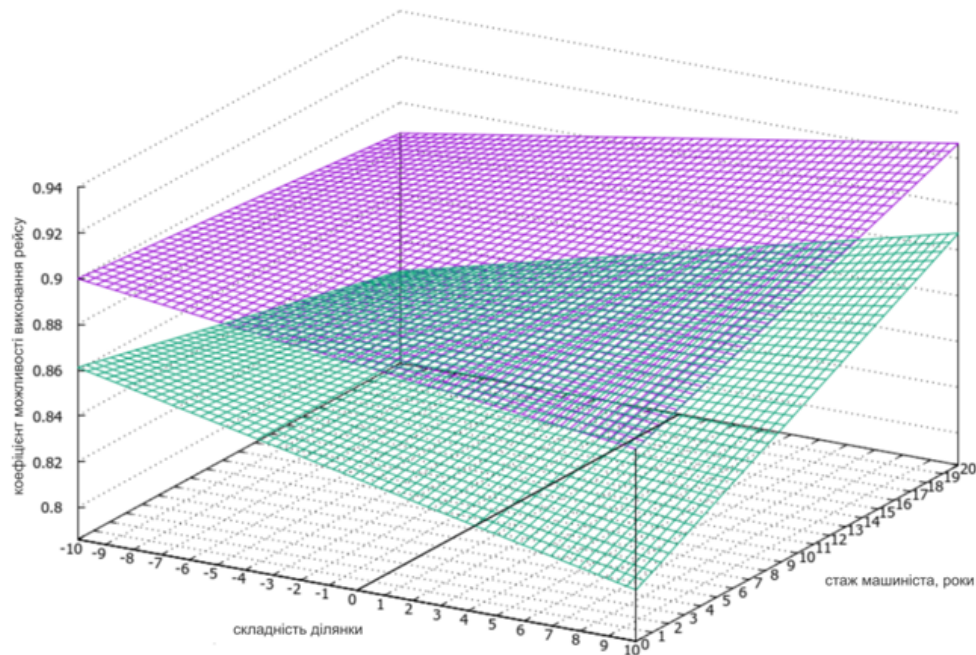


Рисунок 3.18 – Залежність коефіцієнта можливості виконання рейсу від взаємодії факторів x_4 – маса поїзда та x_1 – профіль ділянки

Аналіз побудованої поверхні показує, що при взаємодії факторів x_4° – маса поїзда та x_1 – профіль ділянки коефіцієнт можливості виконання рейсу змінюється від 0,85 до 0,925. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимальних значень факторів x_4° та x_1 , а максимальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії мінімального значення x_4 та максимального значення x_1 .

Отримані формули справедливі для змінних в інтервалах вар'ювання, наведених в таблиці 3.3. Використовуючи їх, можливо розрахувати значення коефіцієнту можливості виконання рейсу при різних поєднаннях пар факторів [100].



— $0,8458+0,0021x_1+0,011x_2+0,0285x_1x_2$ (без використання електронного паспорту)

— $0,8958+0,0025x_1+0,0108x_2+0,0075x_1x_2$ (з використанням електронного паспорту)

Рисунок 3.19 – Залежність коефіцієнту можливості виконання рейсу при взаємодії пари факторів складність ділянки та стаж машиніста

При цьому коефіцієнт можливості виконання рейсу приймає значення від 0,85 до 0,926. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимальних значень факторів x_4° та x_1 , максимальне значення коефіцієнту

відповідає взаємодії максимального значення фактору x_2 та мінімального значення фактору x_4 .

По силі впливу на коефіцієнт можливості виконання рейсу фактори розміщуються в такому порядку: стаж машиніста, довжина плеча, маса поїзда, профіль ділянки.

Також було побудовано залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу без використання електронного паспорту локомотива в процесі передрейсової підготовки та з використанням електронного паспорту.

Аналіз отриманих поверхонь (рисунок 3.19) показав, що використання електронного паспорту локомотива в процесі передрейсової підготовки дозволяє підвищити значення коефіцієнта можливості виконання рейсу в середньому на 5%.

3.9 Висновки до розділу 3

1. Розроблено модель процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту. Отримано значення ймовірностей знаходження локомотива у кожному із станів Ймовірність знаходження локомотива в стані передрейсової підготовки при використанні електронного паспорту збільшується з 0,12 до 0,21. При цьому ймовірність знаходження локомотива в стані експлуатації збільшується з 0,45 до 0,6, а ймовірність відмови на шляху прямування зменшується з 0,15 до 0,05.

2. Кількість рейсів, які локомотив зможе виконати на певних плечах обслуговування, залежить від умов експлуатації, а саме довжини плеча, ваги поїзда, наявності кривих різних радіусів, ухилів, підйомів. Кожен з цих чинників негативно впливає на поточний технічний стан локомотива.

3. Рішення про відправлення локомотива в рейс повинно бути технічно обґрунтованим і спиратися на результати діагностування стану його вузлів і

прогнозування зміни значень технічних параметрів цих вузлів під час виконання конкретного рейсу.

4. Показником, що характеризує успішне виконання рейсу запропоновано використовувати коефіцієнт можливості виконання рейсу.

5. Отримано залежності для визначення коефіцієнту можливості виконання рейсу при взаємодії різних факторів. При цьому коефіцієнт можливості виконання рейсу приймає значення від 0,85 до 0,926. Мінімальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимальних значень факторів x_4 та x_1 , максимальне значення коефіцієнту відповідає взаємодії максимального значення фактору x_2 та мінімального значення фактору x_4 .

По силі впливу на коефіцієнт можливості виконання рейсу фактори розміщуються в такому порядку: стаж машиніста, довжина плеча, маса поїзда, профіль ділянки.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ ЛОКОМОТИВА

4.1 Загальні вимоги до побудови автоматизованої інформаційної системи

Система підтримки прийняття рішень (СППР) - це інтерактивні системи, розроблені в допомогу відповідальним особам при прийнятті рішень. СППР включають і дані, і моделі, щоб допомогти особі, яка приймає рішення, вирішити проблеми, особливо ті, які погано формалізовані. Системи орієнтовані на відповідальних працівників, на зміни, гнучкість і швидку реакцію. Акцент робиться на моделях, припущеннях і показаннях графіки. Основа – професійний аналіз і прийоми проектування. Ці системи по типу ітераційні, не жорсткі і ніколи не закінчені. Цього вимагає суть неструктурованих проблем, які оригінальні і незвичайні, для них немає ніяких алгоритмів для вирішення і кожна має свою відповідь. Тому СППР розроблені для підтримки слабоструктурованого і неструктурованого прикладного аналізу, щоб допомагати проектувати, оцінювати альтернативи і контролювати процес реалізації [101].

Основою успішного функціонування виробничого середовища є прийняття рішень, адекватних умовам, в яких функціонують об'єкти. Системи підтримки прийняття рішень, в яких сконцентровані потужні методи математичного моделювання, науки управління, інформатики, є інструментом, покликаним надати допомогу працівникам у своїй діяльності в динамічних умовах. Перевага інформаційних систем полягає у великій швидкодії і пам'яті, що робить їх необхідними практично у всіх областях людської діяльності.

У прийнятті рішень найважливішими областями, в яких інформаційні системи стають найближчим помічником людини, є:

- швидкий доступ до інформації, накопиченої в інформаційній системі, або в комп'ютерній мережі;
- здійснення оптимізації або інтерактивної імітації, заснованих на математичних або евристичних моделях;
- знаходження в базах даних прийнятих раніше рішень в ситуаціях, подібних тим, що досліджуються, для використання особою, яка приймає рішення (ОПР) в потрібний момент;
- використання знань кращих в своїй області фахівців, включених до бази знань експертних систем;
- представлення результатів у найбільш придатною для ОПР формі.

Але традиційне використання ЕОМ не найефективніший. Працівник, крім інформації з бази даних, крім деяких економічних або технологічних розрахунків, у своїй діяльності зустрічається з великою кількістю завдань з управління системою, які не вирішуються в рамках традиційних інформаційних технологій [101].

У зв'язку з необхідністю вирішення завдань подібного роду були розроблені інформаційні системи нового типу - системи підтримки прийняття рішень (СППР). СППР є системами обробки інформації з метою інтерактивної підтримки діяльності працівника в процесі прийняття рішень.

Можна виділити два основних напрямки такої підтримки:

- полегшення взаємодії між даними, процедурами аналізу і обробки даних і моделями прийняття рішень, з одного боку, і ОПР, як користувача цих систем – з іншого;
- надання допоміжної інформації, особливо для вирішення неструктурованих або слабоструктурованих задач, для яких важко заздалегідь визначити дані і процедури відповідних рішень.

Іншими словами, СППР – це комп'ютеризовані помічники, які підтримують працівника в перетворенні інформації в ефективні дії для системи, яка управляється. Ці системи повинні володіти такими якостями, які роблять їх не тільки корисними, але й незамінними для ОПР. Як будь-які інформаційні системи, вони повинні забезпечувати специфічні потреби процесу прийняття рішень в інформації. Крім того, і це, мабуть, головне - СППР повинна адаптуватися до його стилю роботи, відображати його стиль мислення, асистувати у всіх або більшості важливих аспектів діяльності ОПР. СППР повинні мати можливість адаптуватися до зміни обчислювальних моделей, спілкуватися з користувачем на специфічному для області, що управляється, мовою, представляти результати в такій формі, яка сприяла б більш глибокому розумінню результатів. При цьому, природно, роль СППР не в тому, щоб замінити працівника, а в тому, щоб підвищити його ефективність та результативність рішень, що приймаються [102].

Мета СППР полягає не в автоматизації процесу прийняття рішення, а в здійсненні кооперації, взаємодії між системою і людиною в процесі прийняття рішень. СППР повинна підтримувати інтуїцію, вміти розпізнавати двозначність і неповноту інформації, і мати засоби для їх подолання. Вони повинні бути дружніми ОПР, допомагаючи їм в концептуальному визначенні завдань, пропонуючи звичні уявлення результатів.

Крім відомих вимог до інформаційних систем (потужна СУБД, яка забезпечує ефективний доступ до даних, їх цілісність і захист; розвинені аналітичні та обчислювальні процедури, що забезпечують обробку і аналіз даних; транспортабельність, надійність, гнучкість, можливість включення нових технологічних процедур), СППР повинні володіти специфічними рисами:

- можливістю вироблення варіантів рішень в спеціальних, несподіваних для ОПР ситуаціях;

- можливістю моделей, які застосовуються в системах, адаптуватися до конкретної, специфічної реальності в результаті діалогу з користувачем;
- можливістю системи інтерактивного генерування моделей.

У зв'язку з тим, що ОПР не завжди має добре визначену мету в кожній ситуації, рішення є дослідницьким процесом, а СППР – засобом більш поглибленого пізнання системи і удосконалення роботи працівника.

Як правило, СППР мають модульну структуру, що дозволяє включати нові процедури і модернізувати вже включені в систему відповідно до нових вимог. Прийняття рішень передбачає послідовне виконання наступних кроків: осмислення проблеми, діагностика, концептуальне або математичне моделювання, вироблення альтернатив і вибір тих, які найбільшою мірою задовольняють поставленим цілям, а також моніторинг здійснення рішення. СППР покликані допомогти ОПР на кожному з перерахованих кроків і, отже, прогрес в розробці і розширенні сфери їх застосування залежить і від концепції їх побудови, і від досконалості відображення кожної з функцій, яку вони підтримують [101].

Прогрес останніх років виражається в інтеграції в СППР систем, заснованих на знаннях, що дозволяє отримувати поради та пояснення запропонованого рішення. Еволюція СППР також характеризується і рівнем допомоги, що надається ОПР – від пасивної підтримки до розширеної, активної підтримки. Пасивна підтримка надає зручний інструмент, не претендуючи на зміну існуючих способів дій ОПР. Якість цих СППР залежить від зручності та доступності програмного продукту, точніше сказати, від його інтерфейсу. Фактично це інтерактивні інформаційні системи, що надають працівнику тільки ті послуги, які він вимагає, і тільки у відповідь на його вимогу. В пасивний підхід включаються традиційні СППР, які відповідають на питання "Що якщо?" (What if?). ОПР обирає альтернативи і оцінює їх, маючи можливість аналізувати прості

альтернативи, узагальнюючи, збільшує ефективність процесу прийняття рішень.

В даний час створилися передумови для переходу до розширеної підтримки прийняття рішень, в якій використовуються нові, нетрадиційні області, використовуються аналітичні методи і, зокрема, багатокритеріальний аналіз. Цей підхід більш широко використовує нормативний аспект отримання ефективного вирішення, ніж звичайні СППР. Одночасно присутні процедури аналізу і пояснення отриманого рішення і оцінки як переваг, так і можливих втрат. Таким чином, ОПР може оцінити запропонований СППР варіант і прийняти рішення, маючи більш широкий погляд, як на саме рішення, так і на його наслідки, завдяки консультаціям, наданим системою. Як правило, СППР використовують інформацію з баз даних і знань та (або) надану ОПР.

Відомо, що працівники користуються і інформацією з текстових документів, звітів, спеціальних оглядів, статей і ін. Можливо і більш широке застосування неструктурованою інформації в СППР. В даний час виділяють три класи СППР в залежності від складності завдань, що вирішуються і областей застосування [102].

СППР першого класу, що володіють найбільшими функціональними можливостями, призначені для застосування в органах управління вищого рівня і органах управління великих компаній при плануванні великих комплексних цільових програм для обґрунтування рішень щодо включення в програму різних заходів і розподілу між ними ресурсів на основі оцінки їх впливу на досягнення основної мети програми. СППР цього класу є системами колективного користування, бази знань яких формуються багатьма експертами-фахівцями в різних областях знань.

СППР другого класу є системами індивідуального користування, бази знань яких формуються самим користувачем. Вони призначені для

використання працівниками середнього рангу, а також керівниками малих та середніх підприємств для вирішення оперативних завдань управління.

СППР третього класу є системами індивідуального користування, адаптуються до досвіду користувача. Вони призначені для рішення прикладних задач системного аналізу та управління, які часто зустрічаються. Такі системи забезпечують отримання рішення поточного завдання на основі інформації про результати практичного використання рішень цього ж завдання, прийнятих в минулому. Конкурентоспроможне виробництво повинно ґрунтуватися на новітніх досягненнях і у зв'язку з цим досить легко переорієнтуватися на більш досконалі технології.

Тому працівнику будь-якого рангу слід забезпечити необхідну допомогу у прийнятті та обґрунтуванні рішень, адекватних умовам, що змінюються, у яких функціонує керована ним система, і впливів з боку середовища. СППР є потужним інструментом для вироблення альтернативних варіантів дій, аналізу наслідків їх застосування та вдосконалення навичок працівника в такій важливій галузі його діяльності як прийняття рішень [101-105].

4.2 Розроблення програмної реалізації та інтерфейсу електронного паспорту локомотива

Розроблені моделі використано для формування інформаційної системи, яка може бути інтегрована з автоматизованими робочими місцями в депо [106-122]. У якості практичної реалізації було запропоновано програмне забезпечення електронного паспорту (рисунок 4.1), яке можливо інтегрувати з автоматизованим робочим місцем (АРМ) чергового по депо для аналізу стану та підбору локомотивів для відправлення в рейс.

У відповідності до розробленої моделі програмне забезпечення електронного паспорту локомотива має систему управління базами даних, за допомогою якої здійснюється обробка даних щодо параметрів вузлів локомотива, які заносяться у базу при кожному проведенні замірів під час проведення технічного обслуговування, діагностування, поточних ремонтів та передрейсової підготовки.

Задачею програмного забезпечення є надання черговому по депо рекомендацій щодо можливості відправлення конкретного локомотива в рейс після проведення аналізу його фактичного технічного стану, порівняння з умовами майбутнього рейсу та розрахунку значення коефіцієнту можливості виконання рейсу.

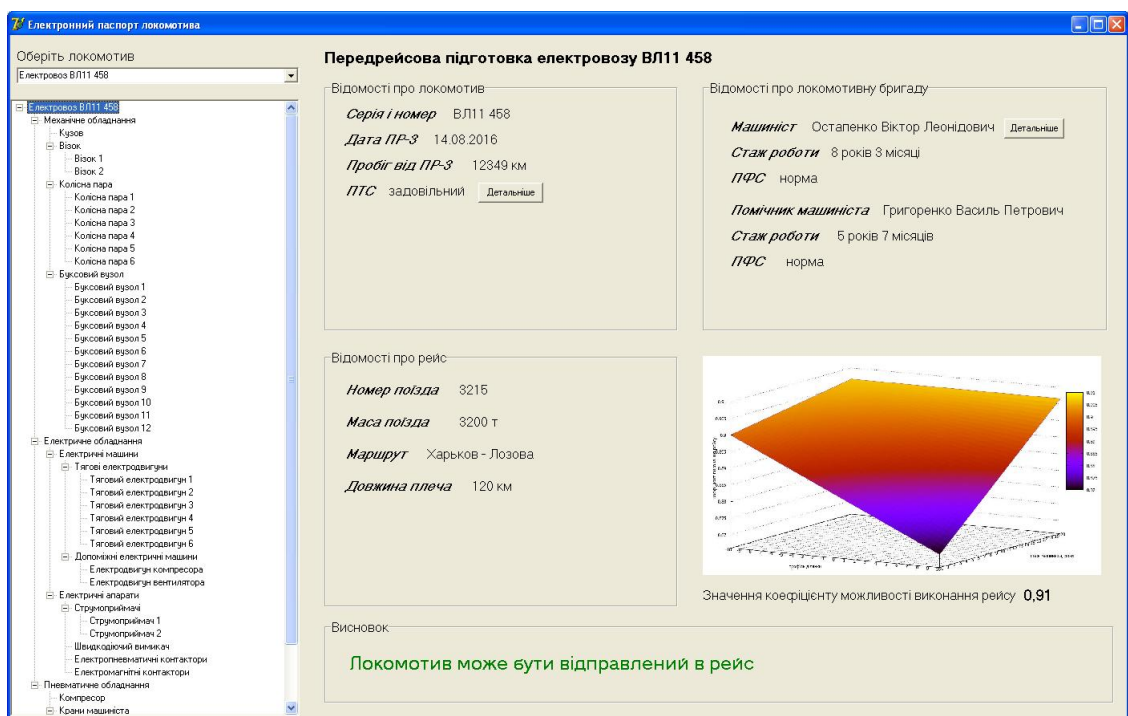


Рисунок 4.1 – Приклад інтерфейсу програмного забезпечення електронного паспорту локомотива

Робота інформаційної системи передбачає постійну взаємодію з користувачем за допомогою діалогових вікон. Користувачу необхідно здійснювати введення та контроль даних про рейси, які необхідно виконати,

наприклад, номер та вагу поїзда, довжину плеча, профіль ділянки, дату та час відправлення (рисунок 4.2).

Після формування масиву даних про рейси формується масив даних про локомотивні бригади, які можуть їх виконати (рисунок 4.3).

The dialog box titled "Введення даних про рейс" (Entering train data) contains the following fields:

- Дата відправлення: 12.03.2021
- Час відправлення: 00:01
- Ділянка обслуговування: Оберіть ділянку обслуговування
- Довжина плеча, км: [empty text box]
- Профіль ділянки: [empty dropdown]
- Номер поїзда: Оберіть номер поїзда
- Маса поїзда: [empty text box]
- Додати button

Рисунок 4.2 – Діалогове вікно «Введення даних про рейс»

The dialog box titled "Введення даних про локомотивну бригаду" (Entering locomotive crew data) is organized as follows:

Машиніст

- Прізвище: Оберіть прізвище машиніста
- Ім'я: [empty dropdown]
- По-батькові: [empty dropdown]
- Стаж роботи: [empty dropdown]
- Кваліфікація: Оберіть кваліфікацію

Помічник машиніста

- Прізвище: Оберіть прізвище помічника машиніста
- Ім'я: [empty dropdown]
- По-батькові: [empty dropdown]
- Стаж роботи: [empty dropdown]

Обрати рейс button

Рисунок 4.3 – Діалогове вікно «Введення даних про локомотивну бригаду»

Після цього виконується підбір локомотива для виконання з наявного парку, враховуючи його поточний технічний стан та експлуатаційні параметри рейсу. За необхідності можна докладно переглянути технічні параметри обладнання локомотива. Підбір локомотива відбувається після розрахунку коефіцієнта можливості виконання рейсу.

Відомості про рейс		Відомості про бригаду	
Номер поїзда	3215	Машиніст	Остапенко Віктор Леонідович
Маса поїзда	3200 т	Стаж роботи	8 років 3 місяці
Маршрут	Харків-Лозова	Кваліфікація	II клас
Довжина плеча	120 км	Помічник машиніста	Григоренко Василь Петрович
		Стаж роботи	5 років 7 місяців

Переглянути поточні технічні параметри обладнання

Розрахувати коефіцієнт можливості виконання рейсу

Рисунок 4.4 – Діалогове вікно «Передрейсова підготовка»

Таким чином з кількох можливих варіантів для виконання рейсу обирається локомотив, який має найбільше значення коефіцієнту можливості виконання рейсу.

4.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження електронного паспорту локомотива

Доцільність удосконалення процесів передрейсової підготовки при впровадженні електронного паспорту локомотива визначається показником

економічного ефекту за розрахунковий період. Економічна ефективність впровадження інноваційного проекту оцінюється шляхом співставлення очікуваного ефекту та сукупних витрат на реалізацію проекту. Під сукупними витратами розуміють будь-які витрати, що пов'язані з реалізацією проекту [123]. У даному випадку в якості таких витрат виступають одноразові (капітальні) та поточні витрати одночасно.

До складу одноразових витрат на здійснення інноваційного проекту відносяться витрати на розробку прикладного програмного забезпечення та його встановлення на автоматизовані робочі місця. До складу поточних витрат без урахування амортизаційних відрахувань відносяться: загальний річний фонд заробітної плати з відрахуванням на соціальне страхування; витрати на електроенергію.

Постійні експлуатаційні витрати при використанні запропонованої технології без урахування амортизаційних відрахувань на реновацію будемо визначати за формулою:

$$V_e = Z + V_{zz} + E_e \quad (4.1)$$

де Z – річні витрати на заробітну плату диспетчерського апарату, грн;

V_{zz} – витрати на засоби зв'язку за рік, грн;

E_e – річні витрати на електроенергію, грн.

Річні витрати на заробітну плату залежать від:

$$Z = Z_{осн} + Z_{дод} + Н \quad (4.2)$$

де $Z_{осн}$ – основна заробітна плата за рік роботи персоналу, грн;

$Z_{дод}$ – додаткова заробітна плата за рік роботи, грн;

$Н$ – нарахування на основну та додаткову заробітну плату в розрахунку на рік роботи, грн.

Основна заробітна плата за рік роботи визначається як:

$$Z_{\text{осн}} = r_{\Gamma} \cdot t_p \cdot K_{\text{д}} \quad (4.3)$$

Додаткова заробітна плата за рік роботи становить 10% від основної заробітної плати та визначається як:

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{осн}} \cdot 0,1 \quad (4.4)$$

Нарахування на основну та додаткову заробітну плату в розрахунку на рік роботи (на соціальне страхування) складають 37,5 % від їх суми, тобто:

$$H = 0,375 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}) \quad (4.5)$$

Витрати на електроенергію визначаємо за формулою:

$$E_{\text{ел}} = P_{\text{ел}} \cdot r_{\text{ел}} \cdot t_{\text{ел}} \quad (4.6)$$

Економічний ефект від впровадження електронного паспорту локомотива визначається згідно з умовами використання за розрахунковий період. Сукупний економічний ефект визначається як сума річних економічних ефектів за розрахунковий період з обов'язковим урахуванням фактору часу (дисконтуванням або компаундуванням грошових потоків) за формулою:

$$\mathcal{E}_T = \sum_{t=1}^n \mathcal{E}_t \cdot \alpha_t = \sum_{t=1}^n (Z_{1,t} - Z_{2,t}) \cdot \alpha_n \quad (4.7)$$

де P_t – вартісна оцінка результатів заходу в t -му році розрахункового періоду, грн;

Z_t – вартісна оцінка витрат усіх ресурсів у t -му році розрахункового періоду, грн;

α_t – коефіцієнт приведення результатів, витрат, економічного ефекту різних років до розрахункового періоду;

t_n – початковий рік розрахункового періоду;

t_k – кінцевий рік розрахункового періоду. Вартісна оцінка витрат усіх ресурсів у t -му році розрахункового періоду визначається як сума одноразових інвестиційних витрат (витрати на науководослідні та проектно-конструкторські роботи, витрати на розробку програмного забезпечення, капітальні витрати на технічне оснащення робочих місць), постійних поточних експлуатаційних витрат на здійснення діяльності, а також витрат, що залежать від обсягів перевезення, приведених до розрахункового року у вигляді:

$$Z_T = \sum_{t_n}^{t_k} (П + И + C_{заг}) \cdot \alpha_t \quad (4.8)$$

До складу одноразових витрат на впровадження електронного паспорту локомотива входять витрати:

- на розробку, придбання, установку програмного забезпечення та налагодження сучасного персонального компютера для чергового по депо.

Необхідність приведення результатів і витрат (їх різниці – економічного ефекту) різних років до розрахункового року пояснюється тим, що номінальна однакова сума грошей, що отримана в різні роки, має різну вартість.

Виходячи з цього, економічний ефект у вигляді прибутку, отриманий в році розрахункового періоду, потрапляє в наступні роки в господарський

оборот і приносить похідний (вторинний) економічний ефект [123]. Результати економічного ефекту й витрати різних років будемо приводити до першого року життєвого циклу проекту, тобто визначаємо в теперішній вартості грошей (дисконтування). Тоді, коефіцієнт приведення α_t визначимо за формулою:

$$\alpha_t = \frac{(1 + E)^{t-k}}{(1 + I)^{t-k} \cdot (1 + E) \cdot (1 + R)}, \quad (4.9)$$

де, E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками.

При 20% річних, $E=0,2$;

I – середньорічний темп інфляції, яка прогнозується в період здійснення проекту (17%);

R – ризик (10%);

$t-k$ – кількість років, які відокремлюють розрахунковий рік від року, витрати якого приводять до розрахункового року.

Результати розрахунку економічного ефекту від впровадження електронного паспорту локомотива в процес передрейсової підготовки відображено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок економічного ефекту від впровадження електронного паспорту локомотива

Показник	Роки розрахункового періоду				
	2022	2023	2024	2025	2026
1	2	3	4	5	6
Витрати при існуючій технології передрейсової підготовки					
Загальні витрати, тис. грн.	16849,246	16849,246	16849,246	16849,246	16849,246
Витрати та розрахунок економічного ефекту при впровадженні електронного паспорту локомотива					
Одноразові витрати, тис. грн.	420,000				
Експлуатаційні витрати, тис. грн.	14359,631	14359,631	14359,631	14359,631	14359,631
Загальні витрати, грн.	14779,631	14359,631	14359,631	14359,631	14359,631
Економічний ефект, грн.	2069,615	2489,615	2489,615	2489,615	2489,615
Коефіцієнт приведення до розрахункового періоду	1	0,77	0,59	0,46	0,35

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Економічний ефект з урахуванням коефіцієнта приведення, грн.	2069,615	1917,004	1468,873	1145,223	871,365
Економічний ефект з наростаючим підсумком, грн.	2069,615	3986,619	5455,491	6600,714	7472,080

4.4 Висновки до розділу 4

1. З метою удосконалення процесів передрейсової підготовки було розроблено програмну реалізацію та інтерфейс електронного паспорту локомотива та запропоновано його інтеграцію з автоматизованими робочими місцями локомотивних депо.

2. Досвід впровадження електронних паспортів показує, що обробка результатів електронною системою дозволяє прискорити формування технічної документації, підвищити ефективність праці, скоротити час проведення операцій.

3. Економічний ефект від впровадження в процеси передрейсової підготовки локомотивів електронного паспорту досягається за рахунок зменшення витрат на заробітну плату, на технічне обслуговування та передрейсову підготовку, а також витрат, пов'язаних із відмовою локомотивів на шляху прямування.

4. Економічний ефект з наростаючим підсумком від впровадження в процеси передрейсової підготовки локомотивів електронного паспорту за розрахунковий період 2022 – 2026 роки складатиме 7472,080 тис. грн. Це свідчить про доцільність впровадження запропонованої технології

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів на основі електронного паспорту, що дозволяє оперативно відстежувати стан локомотива перед виходом в рейс та прогнозувати надійність його роботи.

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проведений аналіз процесу передрейсової підготовки показав, що він не дозволяє забезпечити достатній рівень надійності локомотивів перед виходом в рейс. В результаті приблизно 55% відмов виникають через неякісне виконання ремонту та незадовільний технічний стан, 25 % відмов – через невірні дії локомотивних бригад та 20% – через інші причини.

2. Запропонована структурна модель електронного паспорту встановлює взаємозв'язок між подіями, в яких бере участь локомотив та його вузли, та зміною їх технічного стану. Зокрема, для локомотива із середньою кількістю вузлів 135, необхідно здійснити 1147 пошукових операцій, що при ручній технології досить складно та призводить до зайвих витрат часу.

3. Розроблено модель процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, яка дозволила визначити ймовірності знаходження локомотива та його вузлів у кожному із станів. Визначено, що ймовірність перебування локомотива на передрейсовій підготовці у разі використання електронного паспорту збільшується з 0,12 до 0,21, разом з тим це збільшує ймовірність перебування локомотива в експлуатації з 0,45 до 0,6, а ймовірність відмови на шляху прямування зменшується з 0,15 до 0,05.

4. Розроблено математичну модель управління ризиками в процесі експлуатації локомотивів, на основі якої запропоновано набір стратегій з метою підвищення коефіцієнта можливості виконання рейсу локомотивом за різних поєднань експлуатаційних факторів. Максимальне значення коефіцієнту 0,96 можна отримати, застосовуючи першу стратегію.

5. Отримано залежності та розраховано значення коефіцієнту можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів. Розрахунки за даними окремих локомотивних депо дозволили окреслити межі цього коефіцієнту від 0,86 до 0,96. Прийнято доцільним дотримуватись значення коефіцієнту можливості виконання рейсу на рівні 0,93. На основі обробки статистичних даних встановлено, що використання електронного паспорту локомотива в процесі передрейсової підготовки дозволяє підвищити значення коефіцієнта можливості виконання рейсу в середньому на 5%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. Київ, 1998–2019. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення 23.12.2020).
2. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця». Київ, 2012. URL: http://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/general_information/indicators_of_transit (дата звернення 24.12.2020).
3. Довідник основних показників роботи Регіональних філій ПАТ «Українська залізниця» (2002-2017 роки) / ПАТ «Укрзалізниця» Управління статистики. Київ, 2018. 39 с.
4. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Угоду ратифіковано із заявою Законом від 16.09.2014 № 1678-VII / *Офіційний вісник України*. 2014 р. № 75, том 1. С. 83. Ст. 2125.
5. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р / Кабінет міністрів України. Офіційний вісник України. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848. Код акта 90720/2018.
6. Директива Ради 91/440/ЄЕС від 29 липня 1991 р. про розвиток залізниць Співтовариства. / Рада європейських співтовариств. *Офіційний вісник ЄС*. 1991. L 237, 24 серпня 1991 р. С. 25–28.
7. Пузир В.Г. Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07, 05.22.20. Х., 2005. 368 с.
8. Пузир В.Г. Вдосконалення системи експлуатації локомотивів на підставі інформації про їх фактичний технічний стан. Міжвуз. зб. наук. пр. Хар. держ. акад. залізнич. трансп. Х., 2001. Вип. 46. С. 46-49.
9. Тартаковский, Э.Д. Качество ремонта и надежность тепловозов. М.: Транспорт, 1973. 81 с.

10. Тартаковский Э.Д., Устенко А.В., Пузырь В.Г. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов: Учебн. пособие. Ч. III. Харьков: ХИИТ, 1992. 74 с.

11. Тартаковский, Э.Д. Методика определения среднего времени контроля систем локомотивов. Оптимизация управления и повышение эффективности работы локомотивов. Межвуз. сб. научн. тр. Гомель: БелИИЖТ, 1984. С. 66-68.

12. Бутько Т. В., Лаврухін О.В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту. *Збірник наукових праць ДонІТЗ*. 2006. Вип. 8. С. 21–29.

13. Серов А.В. Диагностика и управление состоянием системы. М.: Знание, 1974. 152 с.

14. Серов А.В. Оптимальное управление качеством и эффективностью работы машин в эксплуатации. М.: Знание, 1979. 52 с.

15. Тартаковский Э.Д. Качество ремонта и надежность тепловозов. М.: Транспорт, 1973. 134 с.

16. Тартаковский Э.Д. Предпосылки автоматизации и проектирования технологических процессов обслуживания и ремонта локомотивов. Тр. МИИТ. 1987. Вып. 795. С. 8-12.

17. Тартаковський Е.Д. Наукове обґрунтування концепції розвитку локомотивного господарств. Міжвуз. зб. наук. Праць. Х.: ХарДАЗТ, 1998. Вип. 34. С. 3-4.

18. Герцбах И.Б. Модели профилактики. М.: Сов. Радио, 1969. 216 с.

19. Павлович Е.С., Серегин А.А., Четвергов В.А. Принципы формулирования и поддержания общей надежности технических устройств. Сб. науч. Тр. ОМИИТа. Том 84. Омск, 1967. С. 15-18.

20. Данілевський В.І. Розробка електронного каталога запасних частин локомотивів для удосконалення капітального ремонту. Дис. ... канд. техн. наук 05.22.07. Х. 2005. 158 с.

21. Лакин И.К. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ. М.: ОЦВ, 2002. 516 с.
22. Мамиконов А.Г. Методы разработки автоматизированных систем управления. М.: Энергия, 1973. 336 с.
23. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов. М: Высш. шк., 1987. 247 с.
24. Пузир В.Г., Обозний О.М., Квітко О.Є. Використання електронного паспорту локомотива при плануванні та управлінні ремонтами. Зб. наук. праць: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 96. С. 110-115.
25. Лецкий Э.К., Панкратов В.И., Яковлев В.В. Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. М.: УМК МПС России, 2001. 668 с.
26. Лецкий Э.К., Крепкая З.А., Маркова И.В. Проектирование информационных систем на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. М.: Маршрут, 2003. 408 с.
27. Байцер Б. Микроанализ производительности вычислительных систем. М.: Наука, 1988. 360 с.
28. Майоров С.А., Новиков Г.Н., Алиев Т.И. Основы теории вычислительных систем. М.: Высшая школа, 1978. 408 с.
29. Дружинин Г.В., Лецкий Э.К., Панкратов А.И. Расчеты автоматизированных систем управления (на примерах АСУ железнодорожным транспортом). М.: Транспорт, 1985. – 223 с.
30. Дружинин Г.В., Сергеева И.В. Качество информации. М.: Радио и связь, 1990. 172 с.
31. Обозний О.М. Моделювання інформаційних процесів документообігу локомотивного депо при застосуванні електронного паспорта. Зб. наук. праць: УкрДАЗТ, 2007, Вип. 82. С. 57-60.
32. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Использование сетей Петри при проектировании систем обработки даны. М.: Наука, 1988. 103 с.

33. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
34. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 158 с.
35. Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Швецов А.Р. Модифицированные сети Петри. М.: Институт проблем управления, 1991. 45 с.
36. Wolfgang Reisig Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies *Springer* 2013th Edition.
37. James L Peterson Petri Net Theory and the Modeling of Systems *Springer* 2013.
38. Claude Girault, Rüdiger Valk Petri Nets for Systems Engineering *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 2003.
39. Roberto Gorrieri Process Algebras for Petri Nets *Springer International Publishing* 2017.
40. Wolfgang Reisig Petri Nets. An Introduction *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 1985.
41. Обозний О.М. Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива. Зб. наук. праць: УкрДАЗТ, 2010. Вип. 117. С. 98-103.
42. Перминов В.А., Федотов М.В., Грищенко А.В., Грачев В.В., Базилевский Ф.Ю. Использование нейросетевых диагностических моделей для контроля технического состояния тепловозов по данным бортовых систем диагностики. Материалы первой международной научно-практической конференции. М: МИИТ, 2014. С. 229 – 241.
43. . Обозний О.М., Пузир В.Г., Дацун Ю.М. Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики. Чорноморськ, 2016. С. 6-7.
44. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
45. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию. М.: Транспорт, 1981. 197 с.

46. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 463 с.
47. Климов Е.Н. Управление техническим состоянием судовой техники. М.: Транспорт, 1985. 199 с.
48. David Smith Reliability, Maintainability and Risk 6th Edition *Elsevier* 2001
49. Alessandro Birolini Reliability Engineering: Theory and Practice *Springer* 2017
50. Patrick D. T. O'Connor, Andre Kleyner Practical Reliability Engineering 5th edition *Wiley* 2012
51. Mohammad Modarres, Mark P. Kaminskiy, Vasiliy Krivtsov Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide 3rd edition *CRC Press* 2016
52. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1985. 121 с.
53. Венцель Е.С. Исследование операций: принципы, задачи, методы. – М.: Наука, 1985. 121 с.
54. David Freedman Markov Chains *Springer-Verlag New York* 1983
55. Kai Lai Chung Markov Chains With Stationary Transition Probabilities *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 1967
56. Imre Csiszar, György Michaletzky Stochastic Differential and Difference Equations *Birkhäuser Basel* 1997
57. John G. Kemeny, J. Laurie Snell Finite Markov Chains With a New Appendix "Generalization of a Fundamental Matrix" *Springer-Verlag New York* 1976
58. J. R. Norris Markov Chains *Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics* 1998
59. Robin J. Wilson Introduction to Graph Theory (5th Edition) *Pearson* 2010

60. Харари Ф. Теория графов Издательство: Едиториал УРСС, 2003. 297 с.
61. Gary Chartrand, Ping Zhang A First Course in Graph Theory (Dover Books on Mathematics) *Dover Publications*, 2012
62. Oystein Ore Theory of Graphs *American Mathematical Society*, 1962
63. Березина, Л. Ю. Графы и их применение. М.: Просвещение, 2008. 144 с.
64. Мальцев Ю.Н., Петров Е.П. Введение в дискретную математику. Элементы комбинаторики, теории графов и теории кодирования. М.: Наука, 2010. 869 с.
65. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Наука, 2009. 423 с.
66. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы.. М.: Наука, 2005. 182 с.
67. Уилсон Р. Введение в теорию графов. М.: Наука, 2007. 236 с.
68. Красовский Г.И. Планирование эксперимента. Минск: БГУ, 1982. 326 с.
69. Глудкин О.П. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов. М. Радио и связь, 1997. - 228 с.
70. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М.: Металлургия, 1968. 348 с.
71. Баженов В.И. Основы планирования и моделирования в теории инженерного эксперимента. М.: МАИ, 1983. 284 с.
72. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир, 1980. 486 с.
73. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976. 316 с.
74. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента. М.: Наука, 1983. 246 с.

75. Маркова Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. М.: Наука, 1973. 312 с.
76. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. М.: Судостроение, 1980. 424 с.
77. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 368 с.
78. Налимов В.В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 284 с.
79. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 344 с.
80. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М.: Мир, 1967. 284 с.
81. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 3 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 272 с.
82. Белов П. Г. Системный анализ и программно-целевой менеджмент рисков : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М.: Издательство Юрайт, 2019. 289 с.
83. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 2 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 250 с.
84. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 1 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 211 с.
85. Воронцовский А. В. Оценка рисков : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 179 с.
86. Воронцовский А. В. Управление рисками : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 414 с.
87. Вяткин В.Н., Гамза В.А., Маевский Ф.В. Риск-менеджмент: учебник: 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2019. 365 с.

88. Васин С.М., Шутов В.С. Управление рисками на предприятии: Учебное пособие. М.: КноРус, 2018. 352 с.
89. Черешкин, Д.С. Управление рисками и безопасностью. М.: Ленанд, 2010. 200 с.
90. Балдин К. В., Воробьев С. Н. Управление рисками: Учебное пособие. М.: Юнити-ДАНА, 2015. 511 с.
91. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. 2-е изд., испр. М.: Норма, 2014. 368 с.
92. Варжапетян А.Г. Имитационное моделирование на GPSS. М.: Вузовская книга, 2007. 424 с.
93. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: BHV, 2009. 400 с.
94. Девятков В.В., Кобелев Н.Б., Половников В.А. Имитационное моделирование: Учебное пособие. М.: КУРС, НИЦ Инфра-М, 2013. 368 с.
95. Павловский Ю.Н. Имитационное моделирование: Учебное пособие. М.: Академия, 2008. 256 с.
96. Решмин Б.И. Имитационное моделирование и системы управления. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 74 с.
97. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2019. 112 с.
98. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. М.: Альтекс-А, 2004. 384 с.
99. Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer, Tag Gon Kim Theory of Modeling and Simulation: Discrete Event & Iterative System Computational Foundations Second edition *Academic Press* 2000
100. Puzyr, V.G., Krasheninina, O.S., Zhalkin, D.S., Datsun, Y.M., Oboznyi, O.M. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility. IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering. 2019. Volume 659. Issue 1. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012057

101. Призначення систем підтримки прийняття рішень. URL: http://ni.biz.ua/3/3_17/3_173131_naznachenie-sistem-podderzhki-prinyatiya-resheniy.html. (дата звернення 19.11.2020).

102. Призначення систем підтримки прийняття рішень. URL: <http://um.co.ua/4/4-15/4-158624.html>. (дата звернення 19.11.2020).

103. Кравченко Т.К., Исаев Д.В. Системы поддержки принятия решений. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.:Издательство Юрайт, 2019. 292с.

104. Аксенов К. А., Гончарова Н. В. ; под науч. ред. Доросинского Л.Г. - Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 1. Учебное пособие для вузов - М.:Издательство Юрайт, 2019. 103с.

105. Аксенов К. А., Гончарова Н. В., Аксенова О. П. ; под науч. ред. Доросинского Л.Г. - Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 2. Учебное пособие для вузов. М.:Издательство Юрайт, 2019. 126с.

106. Заботина Н.Н. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. 331 с.

107. Исаев Г.Н. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. М.: Омега-Л, 2013. 424 с.

108. Коваленко В.В. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. М.: Форум, 2015. 976 с.

109. Перлова О.Н. Ляпина О.П., Гусева А.В. Проектирование и разработка информационных систем: Учебник. М.: Academia, 2017. 416 с.

110. Соловьев И.В. Проектирование информационных систем. - М.: Академический проспект , 2009. 398 с.

111. Федоров Н.В. Проектирование информационных систем на основе современных CASE-технологий. М.: МГИУ, 2008. 280 с.

112. Автоматизация проектирования вычислительных систем. Языки, моделирование и базы данных / ред. М. Брейер. - М.: Мир, 2015. 463 с.

113. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. М.: Горячая линия - Телеком, 2017. 452 с.
114. Silberschantz A., Korth H., Sudarshan S. Database System Concepts. – *McGraw-Hill*, 1997
115. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388 с.
116. Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. Построение экспертных систем. М.: Мир, 1987. 442 с.
117. Edosomwan J.A. Artificial intelligence series. Part 7. Ten design rules for knowledge based expert systems // *Ind. End. (USA)*/ 1987. P 78-80
118. Гаркуша Н. М., Цуканова О. В., Горошанська О. О. Моделі і методи прийняття рішень в аналізі та аудиті: навч. посіб. 2-ге вид. К., 2012. 591 с.
119. Мидоу Ч. Анализ информационных систем: моногр. М.: Прогресс, 2015. 400 с.
120. Ипатова Э. Р., Ипатов Ю.В. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем. М.: Флинта, 2016. 256 с.
121. Йордан Э. Объектно-ориентированный анализ и проектирование систем. М.: Лори, 2014. 264 с.
122. Гудвин Г.К., Гребне С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. ЛЗ, 2012. 911 с.
123. Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про
апробацію результатів дисертації**Основні наукові праці:**

1. Обозний О.М., Квітко О.Є. Побудова ER-моделі бази даних електронного паспорту локомотивного депо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 81. С. 149–153.
2. Обозний О.М., Квітко О.Є. Моделювання інформаційних процесів документообігу локомотивного депо при застосуванні електронного паспорта. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 82. С. 57–60.
3. Обозний О.М., Пузир В.Г., Квітко О.Є. Використання електронного паспорта локомотива при плануванні та управлінні ремонтами. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2008. Вип. 96. С. 110–115.
4. Пузир В.Г., Обозний О.М. Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорта локомотива. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. Вип. 117. С. 98–103.
5. Обозний О.М. Передрейсова підготовка локомотивів як система масового обслуговування. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 132. С. 36–40.
6. Обозний О.М., Бобрицький С.В. Розробка методики прийняття рішення про видачу локомотива в рейс на основі аналізу його фактичного технічного стану. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 149. С. 71–75.
7. Обозний О.М. Визначення залежності швидкості зміни параметрів вузлів локомотива від умов експлуатації. *Вісник Східноукраїнського*

національного університету імені Володимира Даля. 2015. №1 (218). С. 110–112.

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

8. Obozny O.M. Method of using electronic passport of locomotive in management system of preroute preparation. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2013. Vol. 2, № 3 (62). P. 56–58. DOI: 10.15587/1729-4061.2013.11717 (видання індексується у базі Scopus)

Публікації у виданнях інших держав:

9. 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 Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Volume 659. Issue 1. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012057 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав.*

10. 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. Issue 4. P. 157–161. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19727 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав*

11. Puzyr V., Datsun, Y., Obozny O., Pyvo V. Development of a repair technology for locomotive units on the basis of the theory of decision. *International Journal of Engineering & Technology*. 2019. Vol. 664. DOI: 10.1088/1757-899X/664/1/012029 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

12. Крашенінін О.С., Жалкін С.Г., Крамчанін І.Г., Обозний О.М. Методика розрахунку системи технічного обслуговування локомотивів при

подовженні терміну їх експлуатації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 107. С. 217–221.

13. Крашенінін О.С., Обозний О.М. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 122. С. 134–140.

14. Крашенінін О.С., Обозний О.М. Визначення періодичності діагностування ТРС в післяремонтний термін експлуатації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 123. С. 173–175.

Праці апробаційного характеру:

15. Обозний О.М. Удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів на основі розробки електронного паспорту. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції*. (Лозова, 4–8 травня 2015 р.). Сєверодонецьк: ПП «Поліграф-Сервіс», 2015. С. 74–75.

16. 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 міжнародної конференції*. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 2–4 червня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 54. С. 72–73.

17. 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: тези доповідей 29-ої міжнародної науково-практичної конференції* (Черноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. №. 4 (додаток). С. 6.

18. 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.

19. 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 доп. III Всеукр. науково-практ. конф. молодих вчених, фахівців, аспірантів (Маріуполь, 11–12 травня 2017 р.) / ДВНЗ «ПДТУ»*. Маріуполь, 2017. С. 125–126.

20. Обозний О.М., Крамчанін І.Г. Вплив взаємодії двох факторів на коефіцієнт можливості виконання рейсу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, 22–24 травня 2019 р.)*. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 85–87.

21. Puzyr V., Obozny O. Getting interpolation formula for determining the coefficient of route execution possibility. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects. Theses of international scientific and practical conference. (Spain, 4-11 may 2019)*

22. 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 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 94–96.

Відомості про апробацію результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

70-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка транспорту», м. Харків, 15-17 квітня 2008 р., УкрДУЗТ (очна участь);

71-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту», м. Харків, 19-21 травня 2009 р., УкрДУЗТ (очна участь);

Міжнародній науково-практичній конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», м. Лозова, 4–8 травня 2015 р. (заочна участь);

Дванадцятій науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика», м. Харків, 2–4 червня 2016 р., УкрДУЗТ (очна участь);

29-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Черноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р., УкрДУЗТ (очна участь);

79-й міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 25 – 27 квітня 2017 р., УкрДУЗТ (очна участь);

III Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика», м. Маріуполь, 11–12 травня 2017 р., ДВНЗ «ПДТУ» (заочна участь);

Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення», м. Одеса, 22–24 травня 2019 р. (заочна участь);

International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects», Spain, 4-11 may 2019 (заочна участь);

9th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems (IRMES 2019), Kragujevac, Serbia, 5–7 September 2019 (заочна участь);

11th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies, Sozopol, Bulgaria, 10 - 12 September, 2019, (очна участь);

1-й міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології», м. Трускавець, 24–30 січня 2020 р., УкрДУЗТ (очна участь).

Додаток Б

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з науково-педагогічної роботи
Українського державного університету
залізничного транспорту

_____ Д.І. Мікрігичян

“ 01 ”

2021 р.



А К Т

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Обозного Олександра Миколайовича

на тему «Удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на
основі електронного паспорту» у навчальний процес

Українського державного університету залізничного транспорту

До основних результатів дисертації Обозного О.М., які використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, належать:

- критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом, який враховує вплив експлуатаційних факторів на зміну технічних параметрів вузлів локомотива;

- математична модель технічного стану локомотива, яка у реальному часі враховує зміни технічних параметрів його вузлів та їх взаємозв'язок в процесі експлуатації, та дозволяє сформувати структурну схему його електронного паспорту.

- метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, запропонований на основі теорії мереж Петрі, який забезпечує визначення їх фактичного технічного стану перед виходом в рейс;

- удосконалена модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними

потоками, яка, на відміну від існуючих, дозволяє зробити вибір рейсу, в процесі виконання якого не станеться відмови локомотива.

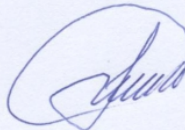
Розробки та рекомендації, запропоновані автором, впроваджені у навчальний процес з 2020/2021 навчального року:

1) при підготовці бакалаврів усіх освітніх програм спеціальності «Залізничний транспорт» з дисциплін «АСУ і САПР в локомотивному господарстві»;


2) при підготовці магістрів усіх освітніх програм спеціальності «Залізничний транспорт» з дисциплін «Інформаційні технології в управлінській, науковій та викладацькій діяльності», «Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство», «Технологія ремонту локомотивів»;

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Заступник директора Департаменту
локомотивного господарства
АТ «Укрзалізниця»

С.В. Ткаченко
17.02 2021 р.

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи
Обозного Олександра Миколайовича
«Удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на основі
електронного паспорту»

Комісія у складі: голова Ткаченко С.В., члени комісії:
Прокопенко В.О. та Лазько О.І. склали цей акт про те, що результати
дисертаційного дослідження Обозного О.М. щодо удосконалення процесів
передрейсової підготовки локомотивів на основі електронного паспорту
впроваджені Департаментом локомотивного господарства для удосконалення
організації передрейсової підготовки тягового рухомого складу.

Основні результати, що були використані:

- метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, запропонований на основі теорії мереж Петрі, який забезпечує визначення їх фактичного технічного стану перед виходом в рейс;
- математична модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропонований критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом, який враховує вплив експлуатаційних факторів на зміну технічних параметрів вузлів локомотива.

Впровадження зазначених результатів надає можливість зменшити кількість відмов обладнання локомотивів на шляху прямування на 9% за рахунок того, що перед відправленням локомотива на лінію визначається можливість виконання рейсу із заданими параметрами конкретним локомотивом шляхом аналізу його фактичного технічного стану і впливу на зміну цього стану експлуатаційних параметрів.

Члени комісії:

Головний фахівець з безпеки руху
Департаменту локомотивного
господарства АТ «Укрзалізниця»

В.О. Прокопенко

Головний фахівець
відділу експлуатації
Департаменту локомотивного
господарства АТ «Укрзалізниця»

О.І. Лазько

Додаток В

Фрагмент программного кода электронного паспорта локомотива

Модуль вставки данных про рейс

```

unit AddRoute;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
  Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, Mask;

type
  TNewRouteForm = class(TForm)
    LabeledEdit1: TLabeledEdit;
    ComboBox1: TComboBox;
    Label1: TLabel;
    DateTimePicker1: TDateTimePicker;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    ComboBox2: TComboBox;
    LabeledEdit2: TLabeledEdit;
    Memo1: TMemo;
    Label4: TLabel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Label5: TLabel;
    DisComboBox: TComboBox;
    Label6: TLabel;
    VydZanComboBox: TComboBox;
    MaskEdit1: TMaskEdit;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  NewRouteForm: TNewRouteForm;
  a: integer;
implementation

uses Route, DBTables, Main;

{$R *.dfm}

procedure TNewRouteForm.Button2Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    Close;
end;

procedure TNewRouteForm.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    with RouteForm.RouteQuery do
        begin
            if Active then Close;

            SQL.Strings[0] := 'Insert into Data values' ;
            SQL.Strings[1] := '(''''+LabeledEdit1.Text+''',
'''+ComboBox1.Text+''', '
+chr(39)+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+chr(39)+
'''+ComboBox2.Text+''', ' ;
            SQL.Strings[2] := '''+Memo1.Text+''',
'''+LabeledEdit2.Text+''', '''+DisComboBox.Text+''',
'''+VydZanComboBox.Text+''')' ;
            SQL.Strings[3] := ' ' ;
            SQL.Strings[4] := ' ' ;
            RouteForm.RouteQuery.ExecSQL;
            RouteForm.RouteQuery.Close;
            SQL.Strings[0] := 'Select RouteDate as Дата, ' ;
            SQL.Strings[1] := 'RouteGroup as Вага поїзда, ' ;
            SQL.Strings[2] := 'Theme as Номер поїзда, ' ;
            SQL.Strings[3] := 'Hours as Довжина плеча ' ;
            SQL.Strings[4] := 'from Data' ;
            Open;
        end;
        RouteForm.RouteDataSource.DataSet := RouteForm.RouteQuery;
        Close;
    end;

procedure TNewRouteForm.FormShow(Sender: TObject);
begin
    a := 1;
    RouteForm.RouteTable.Close;
    RouteForm.RouteTable.Open;
    if RouteForm.RouteTable.IsEmpty then
        LabeledEdit1.Text := IntToStr(a)
    else
        begin
            RouteForm.RouteTable.Last;
            a := a + RouteForm.RouteTable.Fields.Fields[0].Value;
            LabeledEdit1.Text := IntToStr(a);
        end;
    MaskEdit1.Text := FormatDateTime('dd.mm.yyyy', Date);
    DateTimePicker1.Date := StrToDate(MaskEdit1.Text);
end;

end.

```

Модуль пошуку рейсу

```

unit FindRoute;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
  Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, Mask;

type
  TFindRouteForm = class(TForm)
    DateTimePicker1: TDateTimePicker;
    DateTimePicker2: TDateTimePicker;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Label3: TLabel;
    ComboBox1: TComboBox;
    Button3: TButton;
    MaskEdit1: TMaskEdit;
    Label4: TLabel;
    DisComboBox: TComboBox;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FindRouteForm: TFindRouteForm;

implementation

uses Route;

{$R *.dfm}

procedure TFindRouteForm.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  RouteForm.RouteQuery.Close;
  RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[0] := 'Select Discyplina as
Дисципліна, RouteDate as Дата, RouteGroup as Вага поїзда,' ;
  RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[1] := 'Theme as Номер
поїзда,' ;
  RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[2] := 'Hours as Довжина
плеча';

```



```

RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[3] := 'from Data where
RouteDate >= ' +chr(39)+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+chr(39)+
'
and
RouteDate
<='
+chr(39)+DateToStr(DateTimePicker2.Date)+chr(39)+ ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[4] := 'and RouteGroup = '
+chr(39)+ComboBox1.Text+chr(39)+ ' ' and Discyplina = '
+chr(39)+DisComboBox.Text+chr(39)+ ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.Open;
RouteForm.RouteDataSource.DataSet := RouteForm.RouteQuery;
Close;
end;

```

```

procedure TFindRouteForm.FormShow(Sender: TObject);
begin

```

```

RouteForm.RouteQuery.Close;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[0] := 'Select distinct
RouteGroup from Data' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[1] := ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[2] := ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[3] := ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[4] := ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.Open;
RouteForm.DataSource1.DataSet := RouteForm.RouteQuery;
RouteForm.DataSource1.DataSet.First;
ComboBox1.Items.Clear;
while not RouteForm.DataSource1.DataSet.Eof do
begin

```

```

ComboBox1.Items.Add(RouteForm.DataSource1.DataSet.FieldValues['R
outeGroup']);

```

```

RouteForm.DataSource1.DataSet.Next;
end;
MaskEdit1.Text := FormatDateTime('dd.mm.yyyy', Date);
DateTimePicker1.Date := StrToDate(MaskEdit1.Text);
DateTimePicker2.Date := StrToDate(MaskEdit1.Text);
end;

```

```

procedure TFindRouteForm.Button3Click(Sender: TObject);
begin

```

```

RouteForm.RouteQuery.Close;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[0] := 'Select RouteGroup as
Група, ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[1] := 'Discyplina as
Дисципліна, sum(Hours) as Кть_годин ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[2] := ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.SQL.Strings[3] := 'from Data where
RouteDate >= ' +chr(39)+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+chr(39)+
'
and
RouteDate
<='
+chr(39)+DateToStr(DateTimePicker2.Date)+chr(39)+ ' ' ;
RouteForm.RouteQuery.Open;
RouteForm.RouteDataSource.DataSet := RouteForm.RouteQuery;
Close;
end.

```

Модуль відображення результатів

```

unit Route;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs, DB, DBTables, Grids, DBGrids,
StdCtrls, XPMAN, ExtCtrls, DBCtrls;
Type
TRouteForm = class(TForm)
RouteTable: TTable;
RouteDataSource: TDataSource;
RouteQuery: TQuery;
DBGrid1: TDBGrid;
AllButton: TButton;
InsertButton: TButton;
procedure AllButtonClick(Sender: TObject);
procedure InsertButtonClick(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
procedure TRouteForm.AllButtonClick(Sender: TObject);
begin
with RouteQuery do
begin
if Active then Close;
SQL.Strings[0] := 'Select RouteDate as Дата,' ;SQL.Strings[1] :=
'RouteGroup as Вага поїзда,' ;
SQL.Strings[2] := 'Theme as Номер поїзда,' ;
SQL.Strings[3] := 'Hours as Довжина плеча' ;
SQL.Strings[4] := 'from Data' ;
end;
RouteDataSource.DataSet := RouteQuery;
end;
procedure TRouteForm.InsertButtonClick(Sender: TObject);
begin
NewRouteForm.ShowModal;
end;
procedure TRouteForm.Button1Click(Sender: TObject);
begin
FindRouteForm.ShowModal;
end;
procedure TRouteForm.FormShow(Sender: TObject);
begin
RouteDataSource.DataSet := RouteTable;
RouteTable.Close;
RouteTable.Open;
end;
end.

```